

APLIKASI POLIMER BIODEGRADABLE DAN DAMPAKNYA PADA EKONOMI DAN LINGKUNGAN

R. Hari Setyanto¹

¹Staf Pengajar – Jurusan Teknik Industri – Universitas Sebelas Maret

Keywords :

*Biodegradable
Material
Polymers
Economic impact
Environmental impact*

Abstract :

Increased need for biodegradable materials marked with the user's interests in agriculture, medicine, and environment-friendly packaging. In particular, biodegradable polymeric materials (better known as biocomposites) are very interesting to discuss in this paper, because it's the backbone polymer plastic materials. Many scientists and industry practitioners take the time to develop biodegradable polymers on the basis of cheap raw materials from renewable resources and more environmentally friendly. A number of biological materials can be used as biodegradable polymeric materials, such as starch and fiber are extracted from various plants. High level of confidence that the biodegradable polymer materials will reduce the need for synthetic polymer production (thus reducing pollution) with a low cost, so it will've a positive impact, both for the economy and the environment.

PENDAHULUAN

Pengembangan bahan biopolimer yang inovatif telah berlangsung selama beberapa tahun, dan merupakan bidang yang menarik bagi banyak para ilmuwan mengembangkannya. Pada tahun 1996, pengiriman plastik sintetis dari industri plastik Kanada meningkat sebesar 10,6% (Charron, 2001). Fomin (2001) melaporkan bahwa pada akhir abad ke-20 produksi plastik sintetis di seluruh dunia mencapai 130 juta ton/tahun, sementara permintaan untuk plastik *biodegradable* dilaporkan akan tumbuh sebesar 30% setiap tahun (Leaversuch, 2002). Pada saat itu negara-negara Eropa dalam laporannya bahwa rata-rata penggunaan plastik diperkirakan 100 kg per orang setiap tahunnya (Mulder, 1998), sementara Ahvenainen (2003) menyampaikan bahwa saat ini penggunaan material plastik di negara-negara Eropa Barat mencapai 60kg/orang/tahun, di Amerika Serikat mencapai 80kg/orang/tahun, sedangkan di India hanya 2kg/orang/tahun.

Akibat dari penggunaan plastik sintetis yang tidak terurai ini memicu para ilmuwan internasional untuk mengembangkan polimer *biodegradable* dari bahan-bahan alami, dan pada akhirnya industri dapat mengaplikasikan polimer baru yang terdegradasi ini. Cara penggunaan akhir (pembuangan) dari polimer biodegradasi tergantung pada komposisi dan metode pengolahan yang digunakan. Sebuah sistem manajemen sampah terpadu mungkin diperlukan dalam rangka untuk efisiensi dalam penggunaan pada daur-ulangan, dan pembuangan bahan polimer (Subramanian, 2000). Pengurangan konsumsi sumber daya, penggunaan kembali bahan

yang ada, dan daur ulang bahan yang dibuang, kesemuanya harus dipertimbangkan.

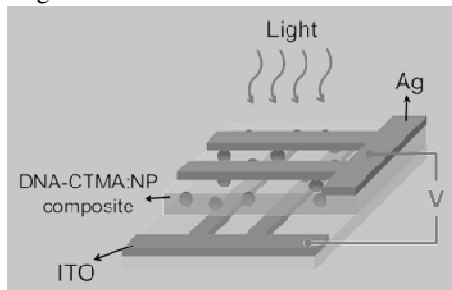
POLIMER BIODEGRADASI

The American Society for Testing of Materials (ASTM) dan the International Standards Organization (ISO) mendefinisikan bahwa plastik degradable sebagai material yang mengalami perubahan signifikan dalam struktur kimia pada kondisi lingkungan tertentu. Perubahan ini mengakibatkan hilangnya sifat fisis dan mekanis, yang diukur dengan metode standar. Plastik biodegradable mengalami degradasi dari aksi mikroorganisme yang terjadi secara alami, seperti bakteri, jamur, dan ganggang. Plastik juga dapat didesain sebagai photodegradable, oksidatif terdegradasi, hydrolytically terdegradasi, dan lain-lain (Kolybaba dkk, 2003).

Bahan biodegradasi terjadi dalam berbagai tahap (Aminabhavi dkk, 1990). Awalnya, makromolekul dicerna, yang kemudian membentuk rantai, dan mengalami pemotongan langsung enzimatis. Ini diikuti dengan metabolisme bagian *split*, mengarah ke disimilasi enzimatis progresif makromolekul dari ujung rantai. Pembelahan oksidatif dari makromolekul dapat terjadi sebaliknya, mengarah ke metabolisme fragmen, dan akhirnya fragmen rantai menjadi cukup pendek untuk dapat diubah oleh mikroorganisme (Stevens, 2003).

Pada Gambar 1 memperlihatkan bahwa polimer *biodegradable* (yang berasal dari sumber tanaman) sebagai sumber daya terbarukan, dan biasanya dalam

bentuk pati atau selulosa (www.kurzweilai.net). Seperti dilaporkan oleh Lorcks (1998), penelitian polimer dan pengembangan yang inovatif sudah mengarah ke produksi dalam skala besar dengan konverter plastik. Biopolimer yang dibentuk menjadi produk akhir akan dapat dimanfaatkan oleh konsumen. Produk biopolimer yang sudah tidak terpakai, idealnya dibuang dalam bak pengumpulan sampah bio, hal ini dimaksudkan agar tidak tercampur dengan produk polimer sintetis, sehingga terikut dalam proses pengomposan. Proses ini pada akhirnya akan meninggalkan karbon dioksida dan air, yang merupakan produk sampingan yang ramah lingkungan.



Gambar 1. DNA biopolimer (www.kurzweilai.net)

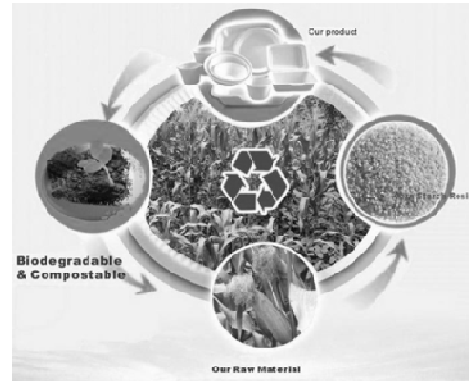
METODE BIODEGRADASI

Sama pentingnya dengan cara di mana materi terbentuk adalah bagaimana cara materi tersebut terdegradasi. Sebuah pernyataan umum mengenai terurainya bahan polimer adalah hal yang mungkin terjadi oleh aksi mikroba, fotodegradasi, atau degradasi kimia. Ketiga metode tersebut kesemuanya diklasifikasikan dalam biodegradasi sebagai produk akhir yang stabil dan ditemukan di alam, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2 (Kolybaba dkk, 2003 dan www.chinaecogreen.com).

Banyak biopolimer dirancang untuk dibuang di tempat pembuangan sampah, tanah atau pengomposan. Materi akan rusak, asalkan materi tersebut dibutuhkan oleh mikroorganisme. Semua bakteri tanah dan air umumnya diperlukan untuk menambah daya tarik mikroba dalam bioplastik (Selin, 2002 dalam Kolybaba dkk, 2003). Polimer yang didasarkan pada bahan-bahan alami tumbuhan (seperti pati atau serat rami) rentan terhadap degradasi oleh mikroorganisme. Materi yang tidak mungkin atau mungkin terurai lebih cepat dalam kondisi aerobik, tergantung pada perumusan yang digunakan, dan mikroorganisme yang diperlukan.

Pada kasus dimana bahan pati digunakan sebagai aditif untuk matriks plastik konvensional, polimer yang kontak dengan tanah dan/atau air, akan diserang oleh mikroba. Mikroba mencerna pati, meninggalkan struktur, busa berpori dengan luas antarmuka tinggi, dan kekuatan struktural rendah.

Ketika komponen pati telah habis, matriks polimer mulai dapat terdegradasi oleh serangan enzimatik. Setiap hasil reaksi dalam pemotongan molekul, perlahan-lahan mengurangi berat matriks sampai seluruh bahan telah dicerna (Shetty dkk, 1990 dalam Kolybaba dkk, 2003).



Gambar 2. Biodegradasi dan Pengomposan (www.chinaecogreen.com)

Pendekatan lain untuk degradasi mikroba dari biopolimer akan melibatkan pertumbuhan mikroorganisme untuk tujuan tertentu dalam mencerna bahan polimer. Ini adalah proses yang lebih intensif yang pada akhirnya memberikan biaya yang lebih, dan *circumvents* penggunaan sumber daya terbarukan sebagai bahan baku biopolimer. Pertimbangan dalam penggunaan mikroorganisme dirancang untuk target dan menguraikan plastik berbasis minyak bumi (Andreopoulos et al. 1994). Meskipun metode ini mengurangi volume sampah, akan tetapi hal ini tidak membantu dalam mempertahankan sumber daya tak terbarukan

Polimer *Photodegradable* mengalami degradasi dari aksi sinar matahari (ASTM D883-96). Dalam banyak kasus, polimer dipecah oleh fotokimia, dan menjadi potongan-potongan kecil, selanjutnya terjadi degradasi mikroba agar biodegradasi benar-benar tercapai. Poliolefin (sejenis plastik konvensional berbasis minyak bumi) adalah polimer yang ditemukan paling rentan terhadap fotodegradasi. Pendekatan ini dimaksudkan untuk pengembangan lebih lanjut biopolymer *photodegradable* termasuk menggabungkan aditif untuk mempercepat reaksi fotokimia (misalnya benzofenon), memodifikasi komposisi polimer dengan memasukkan kelompok-kelompok penyerap UV (misalnya karbonil), dan sintesis polimer baru dengan kelompok yang sensitive terhadap cahaya (Andreopoulos dkk, 1994).

Beberapa bahan polimer mengalami perubahan cepat bila terkena bahan tertentu (berdasarkan kimiawi). Seperti disebutkan sebelumnya, berangkat dari produk polimer ramah lingkungan yang akan larut dalam air panas. Setelah polimer larut, larutan

sisanya terdiri dari polivinil alkohol dan gliserol. Mirip dengan berbagai plastik *photodegradable*, biodegradasi dari larutan encer terjadi kemudian, melalui pencernaan mikroba. Mikroorganisme yang tepat dan mudah ditemukan di pengolahan air limbah (Blanco, 2002). Procter & Gamble telah mengembangkan produk yang mirip dengan "Depart", bernama Nodax PBHB. Nodax bersifat basa, yang berarti bahwa paparan tersebut harus menggunakan pH yang tinggi yang akan menyebabkan kerusakan struktural yang cepat dari bahan (Leaversuch, 2002). Bahan biopolimer yang hancur setelah terpapar larutan yang diinginkan untuk selanjutnya dilakukan transportasi dan pembuangan limbah *biohazards* dan medis.

APLIKASI POLIMER BIODEGRADASI

Penelitian dan pengembangan hanya sebagian dari pekerjaan yang dilakukan dalam rangka untuk memperkenalkan penggunaan bahan polimer *biodegradable*. Desain bahan-bahan tersebut biasanya dimulai dengan aplikasi konseptual. Ini mungkin diharapkan untuk menggantikan bahan yang ada, atau untuk melengkapi salah satunya. Biopolimer telah diperkenalkan dan dapat diaplikasikan antara lain pada sektor kedokteran, kemasan, pertanian, dan industri otomotif. Banyak bahan yang telah dikembangkan dan dikomersialisasikan dan kemudian diterapkan pada lebih dari satu sektor/kategori ini (Kolybaba dkk, 2003).

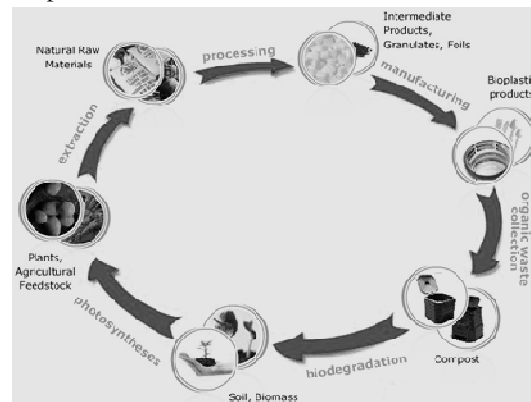
Biopolimer yang dapat tidak hanya digunakan pada produk kemasan, akan tetapi kemudian terus dikembangkan karena mendapatkan perhatian lebih dari para pengguna yang ditujukan untuk aplikasi pada sektor lainnya. Semua tingkatan pemerintahan, khususnya di Cina (Chau dan Yu, 1996) dan Jerman (Bastioli, 1998), sangat mendukung aplikasi yang luas dari bahan kemasan *biodegradable* dalam rangka untuk mengurangi volume bahan *inert* yang dibuang di TPA, yang merupakan bahan yang menempati ketersediaan ruang yang terbatas. Diperkirakan 41% dari plastik yang digunakan dalam kemasan, hampir setengah dari volume digunakan untuk produk makanan paket.

BASF, merupakan salah perusahaan industri kimia dan plastik terkemuka, telah mengembangkan lebih lanjut plastik *biodegradable* yang berasal dari poliester dan pati (Fomin, 2001). Ecoflex adalah bahan plastik sepenuhnya *biodegradable* yang diperkenalkan pada konsumen oleh BASF pada tahun 2001. Bahan ini tahan terhadap air dan lemak, sehingga cocok untuk digunakan sebagai pembungkus sekali pakai yang higienis, dan dapat terurai dalam sistem pengomposan yang normal.

Hasilnya, Ecoflex telah menemukan sejumlah aplikasi sebagai pembungkus kemasan.

Environment Polymer (Woolston, Warrington, Inggris) juga telah mengembangkan bahan plastik *biodegradable* yang dikenal sebagai "depart", produk alkohol polivinil ini dirancang untuk penggunaan pada teknologi ekstrusi, *injection molding*, dan *blow molding*. Penguraian pada suhu tertentu, memungkinkan penggunaan "depart" untuk berbagai aplikasi, antara lain produk pertanian, kemasan makanan sekali pakai, dan lain-lain (Blanco, 2002).

Biodegradasi dan karakteristik terbarukan dari biopolimer ini sangat menarik untuk diaplikasikan pada produk kemasan yang inovatif. Gambar 3 memperlihatkan siklus penggunaan akhir dari produk tersebut bervariasi secara luas, sebagai contoh, plastik film biodegradasi dapat digunakan sebagai kantong sampah, piring dan sendok garpu sekali pakai, kemasan makanan, dan bahan pengiriman (www.bioplastics24.com). Guan dan Hanna (2002) mendokumentasikan bagaimana *biodegradable* dapat digunakan secara luas untuk mengisi bahan kemasan yang dapat dikembangkan dari biopolimer terbarukan seperti pati. Bahan pati diperlakukan dengan proses asetilasi, perlakuan kimia, dan pasca-ekstrusi panas. Sifat mekanik dari material yang memadai, dan biodegradasi benar-benar dapat dicapai.



Gambar 3. Siklus sistem manufaktur material terbarukan (www.bioplastics24.com)

Bahan biopolimer yang cocok untuk kemasan sering digunakan dalam produk pertanian. Ecoflex, khususnya, melihat peluang tersebut, tanaman muda yang sangat rentan terhadap embun beku dapat dilindungi dengan film tipis Ecoflex. Pada akhir musim tanam, film dapat terurai kembali ke tanah, di mana ia akan dipecah oleh mikroorganisme yang sesuai (Fomin, 2001).

Aplikasi pertanian untuk biopolimer tidak terbatas pada plastik film penutup. Wadah seperti

pot-pot tanaman dan wadah pengomposan biodegradable sekali pakai (Huang dkk, 1990). Tas penyimpanan pupuk dan bahan kimia yang *biodegradable* juga dapat diaplikasikan.

Pada sektor dunia medis, Mukhopadhyay (2002) melaporkan bahwa para peneliti yang bekerja dalam rekayasa jaringan sedang berusaha untuk mengembangkan organ dari bahan polimer, yang cocok untuk transplantasi ke tubuh manusia. Plastik akan memerlukan penyesuaian dengan faktor pertumbuhan dalam rangka mendorong pertumbuhan sel dan pembuluh darah di organ baru. Pekerjaan yang telah diselesaikan pada sektor ini mencakup pengembangan biopolimer dengan situs adhesi yang bertindak sebagai tuan rumah sel dalam memberikan bentuk yang menyerupai organ yang berbeda.

Tidak semua aplikasi biopolimer dalam bidang kedokteran terlibat sebagai organ buatan, tetapi klasifikasi bahan bioaktif mencakup semua biopolimer dapat digunakan untuk aplikasi medis, salah satu contoh adalah bahan tulang buatan yang melekat ke tulang dan diintegrasikan dalam tubuh manusia. Zat yang paling umum yang digunakan pada sektor ini disebut biogelas (Kokubo dkk, 2003).

Sektor otomotif megakomodir tuntutan masyarakat dan pemerintah dalam tanggung-jawabnya terhadap lingkungan. Mobil berbasis bio menjadi lebih ringan, sehingga menjadi pilihan yang lebih ekonomis bagi konsumen, hal ini dikarenakan biaya bahan bakar menjadi berkurang. Serat alami dapat menggantikan serat kaca sebagai bahan penguat pada plastik untuk dijadikan komponen mobil dan kendaraan komersial (Lammers dan Kromer, 2002). Manfaat tambahan dari menggunakan bahan polimer *biodegradable* adalah limbah produk dapat dikomposkan. Serat alami (jute atau hemp) biasanya diterapkan dalam bagian interior, yaitu komponen yang tidak memerlukan kapasitas beban bantalan, tetapi lebih mementingkan pada stabilitas dimensi. Penelitian dan pengembangan pada sektor ini menjadikan antusiasme para ilmuwan, terutama di negara-negara Eropa.

DAMPAK EKONOMI DARI BIOPOLIMER

Dari sudut pandang industri, keuntungan terbesar dari menggunakan biopolimer yang berasal dari bahan baku terbarukan adalah biaya yang rendah. Pada pandangan pertama, biopolimer tampaknya menjadi kesempatan *win-win solution* bagi perekonomian dan lingkungan. Namun, situasi sekarang ini terhadap isu lingkungan, rasio biaya-kinerja biopolimer harus diambil dalam rangka untuk

membuat keputusan ekonomi yang sehat (Swift, 1998).

Menurut Leaversuch (2002), biaya merupakan kendala bagi bahan sintetis yang berasal dari plastik *biodegradable* ketika secara langsung dibandingkan dengan dengan bahan konvensional. Seperti halnya dalam penemuan bahan baru, produsen berharap minimal mengalami kerugian selama dua tahun sebelum mendapatkan keuntungan dari bahan tersebut. Leaversuch juga menunjukkan bahwa faktor kunci yang membatasi pertumbuhan industri biopolimer ini adalah bahwa infrastruktur dalam penyortiran dan pengomposan sampah organik akan berkembang lebih lambat dari yang diharapkan sebelumnya.

Salmoral dkk (2000) menyampaikan bahwa sejumlah perusahaan-perusahaan besar dalam bidang kimia telah mendapatkan keuntungan dalam mengembangkan teknologi biopolimer yang digunakan untuk pembuatan produk dari sumber daya terbarukan. Tharanathan (2003) mengemukakan bahwa plastik sintetis masih sulit untuk dapat tergantikan secara total oleh bahan *biodegradable*, namun, ia percaya bahwa ada kesempatan bagi produsen untuk mendapatkan keuntungan besar pada celah pasar yang ada.

Salah satu sektor di mana manfaat ekonomi dari penggunaan bahan biopolimer adalah pada industri otomotif, hal ini sehubungan dengan penguat serat, yaitu banyak digunakannya serat kaca tradisional yang abrasif, sehingga peralatan pengolahan cepat mengalami keausan. Lain halnya tekstur serat rami yang mana tidak begitu kasar, sehingga hal ini akan memperpanjang umur peralatan pengolahan (Stamboulis dkk, 2000). Williams dan Pool (2000) mengidentifikasi bahwa serat alami akan memberikan keuntungan karena harga lebih murah dan mudah tersedia dibandingkan dengan serat sintetis. Perluasan penggunaan serat rami menjadi bagian dari komponen-komponen mobil memberikan dampak positif bagi industri pertanian Kanada, terutama dalam upaya diversifikasi.

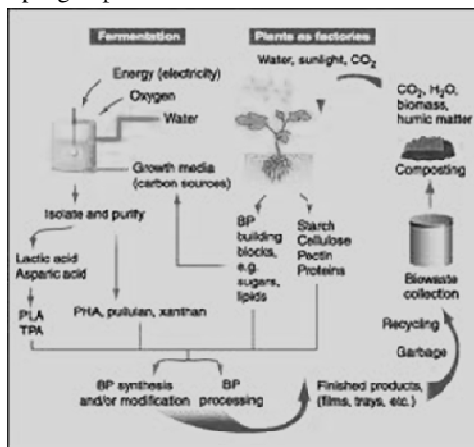
Aplikasi lain dari penguatan serat alami, di China telah dikembangkan serat alang-alang untuk memperkuat *pallet* transportasi. Ini adalah merupakan keputusan ekonomis, sebab *pallet* serat alang-alang memiliki sifat mekanis yang stabil seperti halnya *pallet* konvensional, akan tetapi dalam pengembalian investasi, *pallet* alang-alang membutuhkan jangka umur lebih pendek untuk pengembalian biaya dan sedikit lebih mahal dalam pembuatannya. Logistik, *pallet* alang-alang China juga lebih ekonomis dibandingkan dengan jenis konvensional karena *pallet* ini memiliki bobot yang lebih ringan sehingga memerlukan bahan bakar lebih

sedikit untuk transportasi (Corbiere-Nicollier dkk, 2001.).

Pengembangan industri biopolimer dilakukan terus-menerus sampai ke titik di mana itu benar-benar kompetitif secara ekonomi terhadap industri plastik konvensional. Plastik sintetis diproduksi dalam skala besar, sedangkan untuk biopolimer sebagian besar diproduksi dalam skala kecil. Sifat murah dari bahan baku sumber daya terbarukan mendorong peneliti dan praktisi industri untuk menyisihkan sedikit waktu yang diperlukan dalam mengembangkan proses ini (Kolybaba dkk, 2003).

DAMPAK LINGKUNGAN DARI BIOPOLIMER

Para rekayasawan sedang berusaha untuk mengintegrasikan antara pertimbangan lingkungan secara langsung dengan proses pemilihan bahan, dalam rangka untuk meningkatkan kesadaran akan kebutuhan dalam melindungi kelestarian lingkungan (Thurston dkk, 1994). Untuk mencapai penggunaan sumber daya terbarukan dalam produksi bahan polimer, ada dua cara yaitu; pertama-tama, bahan baku yang digunakan harus dapat diganti, baik melalui siklus alami atau melalui intervensi yang disengaja oleh manusia, kedua berkenaan dengan lingkungan, penggunaan bahan baku terbarukan untuk pengembangan biopolimer adalah merupakan sifat biodegradasi dari produk akhir, sehingga mencegah polusi potensial dari pembuangan volume yang setara dengan plastik konvensional, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4 (www.news.mongabay.com). Pada akhir masa pemanfaatan (penggunaan), bahan biopolimer umumnya dikirim ke tempat pembuangan sampah atau pengomposan.



Gambar 4. Dampak biopolimer terhadap lingkungan (www.news.mongabay.com)

Daur ulang bahan plastik didorong atas dasar propaganda akibat dari limbah plastik terhadap lingkungan hidup, akan tetapi upaya ini kurang efektif. Di Amerika Serikat, saat ini produk plastik (masa akhir penggunaan) yang didaur-ulang kurang dari 10% (Chiellini dkk, 2001). Harus diakui bahwa daur ulang hanya sebagai teknik pembuangan, bukan merupakan tujuan akhir untuk pengembangan material. Penelitian Mulder (1998) menemukan bahwa di negara-negara berkembang, hampir semua plastik sepenuhnya di daur ulang, sebagai pengembalian atas investasi yang ditanamkan, hal ini merupakan langkah positif dalam situasi ekonominya, akan tetapi pada posisi lain, pendaur-ulangan plastik akan merugikan lingkungan akibat dari emisi gas beracun yang ditimbulkannya.

Ketika pertama kali diperkenalkan sebagai teknik pengurangan limbah, maka daur-ulang nampaknya merupakan cara yang layak untuk mengurangi pencemaran dan kerusakan lingkungan. Namun, karena keterbatasan bahan baku sintetis dan juga karena faktor dampak lingkungan yang ditimbulkannya, maka penggunaan plastik yang didasarkan pada bahan baku biodegradasi dan terbarukan menjadi pilihan yang lebih masuk akal daripada pendaur-ulangan plastik konvensional. Bioplastik sebagai produk akhir yang berasal bahan biopolimer (bahan organik), maka emisi beracun dapat dihindari, oleh karena itu, pengembangan plastik yang mudah terdegradasi (pengomposan), harus didorong perkembangannya (Kolybaba dkk, 2003).

Pada beberapa tahun terakhir, kekhawatiran tentang krisis sampah dirasakan begitu mengkhawatirkan, dikarenakan tempat pembuangan sampah (TPA) telah mencapai kapasitas yang berlebih, akan tetapi situs TPA pengganti sulit untuk ditemukan karena keterbatasan lahan. Oleh sebab itu salah satu cara untuk dapat mengendalikan penumpukan sampah di TPA, diperlukan biopolimer untuk menggantikan polimer sintetis. Ketika biopolimer dibuang di lingkungan TPA, harapannya adalah bahwa mikroorganisme yang diperlukan akan mendatangi tempat pembuangan sampah tersebut, sehingga mikroorganisme akan mencerna bahan biopolimer dan volume sampah akan dapat dikurangi melalui proses biodegradasi (Simon dkk, 1998).

Plastik kompos menjalani degradasi biologis selama pengomposan untuk menghasilkan karbon dioksida, air, senyawa anorganik, dan biomassa pada tingkat yang konsisten dengan bahan-bahan kompos yang dikenal, dan tidak meninggalkan residu beracun (ASTM 1996). Banyak dari bahan plastik biodegradable yang dibahas sejauh ini dirancang untuk menjadi kompos. Sebagai contoh, tujuan dari

merancang piring dan alat makan plastik sekali pakai adalah untuk dapat dibuang ke tumpukan kompos dengan sisa-sisa makanan yang lainnya. Persyaratan biopolimer untuk dimasukkan dalam industri pengomposan adalah biodegradasi dan disintegrasi, dan tidak ada efek pada kualitas kompos sebagai hasil degradasi biopolimer (Wilde dan Boelens, 1998 dalam Kolybaba dkk, 2003).

Sebagai manfaat tambahan, Nakasaki dkk (2000) menyimpulkan bahwa bau emisi dari tumpukan kompos dapat berkurang ketika plastik *biodegradable* dimasukkan ke dalam campuran. Proses degradasi plastik biopolimer akan menghasilkan *acidic intermediates*, yang mana zat ini menetralkan kandungan ammonia dan gas beracun, sehingga mengurangi masalah bau yang dapat mengganggu lingkungan.

Tahun 1970 dimulainya era peningkatan proses berpikir faktual oleh para peneliti dan praktisi industri, sehingga dari sini pula muncul teknik analisis siklus hidup (*Life-Cycle Assessment/LCA*). Latihan pemodelan didasarkan pada ide yang sederhana, yang diperlukan untuk melihat siklus hidup lengkap pada proses produksi, penggunaan, dan pembuangan produk dalam rangka untuk memperoleh gambaran yang jelas tentang implikasi perkembangan lingkungan yang sebenarnya (Boustead 1998). Melakukan suatu LCA menunjukkan apakah perkembangan lebih lanjut dari produk merupakan pilihan yang layak atau tidak. Ada tiga langkah LCA, pertama, dimulai dengan persediaan, di mana input dan output dari sistem yang dijelaskan secara kuantitatif. Langkah kedua, interpretasi, yang menghubungkan input dan output dengan efek lingkungan yang diamati. Akhirnya langkah ketiga merupakan langkah untuk melakukan perbaikan, yaitu mendesain ulang sistem agar tetap fungsional, sambil menunjukkan bahwa kesadaran lingkungan mulai meningkat. Siklus ini berulang terus sampai pada suatu keputusan yang obyektif dapat dibuat untuk efisiensi lingkungan sistem.

Teknik analisis siklus hidup adalah cara yang terbaik untuk menguji kepraktisan pengembangan lebih lanjut dari bahan biopolimer. Selama masyarakat menyadari pentingnya tentang masalah lingkungan, maka prosedur LCA akan lebih sering digunakan. Di sisi lain, penerimaan lebih lanjut teknik pengelolaan sampah terpadu untuk bahan plastik *biodegradable*, yang melibatkan penggunaan dan pembuangan material yang efisien, juga harus terus berlanjut (Subramanian, 2000).

KESIMPULAN

Sektor pertanian, otomotif, obat-obatan, dan kemasan kesemuanya memerlukan polimer yang

ramah lingkungan. Karena tingkat biodegradasi dapat disesuaikan dengan kebutuhan yang khusus, maka setiap industri harus mampu untuk menciptakan bahan yang ideal. Berbagai modus biodegradasi juga merupakan keunggulan utama dari bahan tersebut, karena metode pembuangan dapat disesuaikan dengan spesifikasi industri.

Pentingnya tanggung jawab konsumen dan industri terhadap lingkungan harus terus ditingkatkan. Bagi sektor industri yang memproduksi bahan plastik *biodegradable*, ini adalah kunci keuntungan, sebab biopolimer dapat mengurangi emisi karbon dioksida selama proses pembuatan, dan mengurangi/menurunkan bahan organik setelah pembuangan. Meskipun plastik sintesis adalah pilihan yang lebih layak secara ekonomis dibandingkan dengan plastik *biodegradable*, akan tetapi peningkatan ketersediaan plastik *biodegradable* akan memungkinkan banyak konsumen untuk memilihnya atas dasar plastik *biodegradable* memiliki bertanggung jawab terhadap lingkungan dan ramah lingkungan.

Proses bahan biopolimer dalam pengembangannya paling menjanjikan, karena bahan tersebut menggunakan sumber daya terbarukan. Plastik *biodegradable* yang mengandung pati dan/atau serat selulosa tampaknya yang paling mungkin akan mengalami pertumbuhan yang positif dalam penggunaannya, namun infrastruktur yang diperlukan untuk memperluas pasar komersial masih diperlukan proses waktu yang panjang dan biaya yang mahal.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM Standards, Vol. 08.01, 1998. *D883-96: Standard Terminology Relating To Plastics*. New York, NY.: ASTM.
- Ahvenainen, Raija, 2003. *Modern Plastics Handbook* (ed. 1st). Woodhead Publishing Limited. P. 24.1.
- Aminabhavi, T.M.; Balundgi, R.H. and Cassidy, P.E., 1990. *Review on biodegradable plastics*, Polymer Plastics Technology and Engineering. 29(3): 235-262.
- Andreopoulos, A.G., 1994. *Degradable plastics: A smart approach to various applications*, Journal of Elastomers and Plastics, 24(4): 308-326.
- Bastioli, C., 1998. *Bak 1095 and Bak 2195: Completely biodegradable synthetic Thermoplastics*, 59(1-3): 263-272.
- Blanco, A., 2002. *Just add water*, Plastics Engineering, 58(10): 6
- Boustead, I. 1998. *Plastics and the environment*, Radiation and Physical Chemistry, 51(1): 23-30.

- Chau, H. and Yu, P., 1999. *Production of biodegradable plastics from chemical wastewater – A novel method to resolve excess activated sludge generates from industrial wastewater treatment*, Water Science and Technology, 39(10-11): 273-280.
- Charron, N., 2001. *Plastic Products and Industries*, Statistics Canada Ref. No. 33-250-XIE. Ottawa, Canada: Manufacturing, Construction, and Energy Division.
- Chiellini, E.; Cinelli, P.; Imam, S. and Mao, L., 2001. *Composite films based on biorelated agroindustrial waste and PVA. Preparation and mechanical properties characterization*, Biomacromolecules, 2: 1029-1037.
- Corbiere-Nicollier, T.; Gfeller Laban, G.; Lundquist, L.; Letterier, Y.; Manson, J. and Jolliet, O., 2001. *Life cycle assessment of biofibers replacing glass fibers as reinforcement in plastics*, Resources, Conservation, and Recycling, 33: 267-287.
- Fomin, V.A., 2001. *Biodegradable polymers, their present state and future prospects*, Progress In Rubber and Plastics Technology, 17(3): 186-204.
- Guan, J. and Hanna, M.A., 2002. *Modification of macrostructure of starch acetate extruded with natural fibers*, ASAE Paper No. 026148, Chicago, Illinois, ASAE.
- I. HARIAN TEMPO, 28 FEBRUARI 2013. *PLASTIK RAMAH LINGKUNGAN INDONESIA LAKU DI EROPA. WWW.KORAN.TEMPO.CO* [DIAKSES: 6 AGUSTUS 20013].
- Huang, J.C.; Shetty, A.S. and Wang, M.S., 1990. *Biodegradable plastics: A review*, Advances in Polymer Technology, 10(1): 23-30.
- Kokubo, T.; Kim, H. and Kawashita, M., 2003. *Novel bioactive materials with different mechanical properties*, Biomaterials, 24: 2161-2175.
- Kolybaba, M.; Tabil, L.G.; Panigrahi, S.; Crerar, W.J.; Powell, T. and Wang, B., 2003. *Biodegradable Polymers: Past, Present, and Future*, CSAE/ASAE Annual Intersectional Meeting, Fargo, North Dakota, USA
- Leaversuch, R., 2002. *Biodegradable polyesters: Packaging goes green*, Plastics Technology, 48(9): 66-73.
- Lorcks, J., 1998. *Properties and applications of mater-bi starch-based materials*, Polymer Degradation and Stabilit., 59(1-3): 245-249.
- Mukhopadhyay, P., 2002. *Emerging trends in plastic technology*, Plastics Engineering, 58(9): 28-35.
- Mulder, K.F., 1998. *Sustainable production and consumption of plastics?*, Technological Forecasting and Social Change, 58: 105-124.
- Nakasaki, K.; Ohtaki, A. and Takano, H., 2000. *Biodegradable plastic reduces ammonia emissions during composting*, Polymer Degradation and Stability, 70: 185-188.
- Salmoral, E.M.; Gonzalez, M.E. and Mariscal, M.P., 2000. *Biodegradable plastic made from bean products*, Industrial Crops and Product, 11: 217-225.
- Simon, J.; Muller, H.; Koch, R. and Muller, V., 1998. *Requirements for biodegradable water soluble polymers*, Polymer Degradation and Stability, 59(1-3): 107-115.
- Stamboulis, A.; Baille, C.; Garkhail, S.; Van Melick, H. and Peijs, T., 2000. *Environmental durability of flax fibers and their composites based on polypropylene matrix*, Applied Composite Materials, 7(5-6): 273-294.
- Stevens, E.S., 2003. *What makes green plastics green?*, Biocycle, 44(3): 24-27.
- Subramanian, P.M., 2000. *Plastics recycling and waste management in the US*, Resources, Conservation, and Recycling, 28: 253-263.
- Swift, G., 1998. *Prerequisites for biodegradable plastic materials for acceptance in real life composting plants and technical aspects*, Polymer Degradation and Stability, 59(1-3): 19-24.
- Thurston, D.; Lloyd, S. and Wallace, J., 1994. *Considering consumer preferences for environmental protection in material selection*, Materials & Design, 15(4): 203-209.
- Williams, G. and Pool, R., 2000. *Composites from natural fibers and soy oil resins*, Applied Composite Materials, 7(5-6): 421-432.
- www.kurzweilai.net
www.chinaecogreen.com
www.bioplastics24.com
www.news.mongabay.com