

BIO-DEGRADABLE BIOPLASTICS SEBAGAI PLASTIK RAMAH LINGKUNGAN

Kim Poppy Wijayanti¹, Nathanael Dermawan¹, Sabila Nur Faisah¹, Vincent Prayogi¹, William Judiawan¹, Tutun Nugraha², Niken Taufiqurrahmi Listyorini²

Department of Chemical and Green Process Engineering, Surya University

kim.poppy.w@gmail.com, nathanaeldermawan_11@yahoo.com, faisabila45@gmail.com, fdswat@yahoo.co.id, williamjudiawan@gmail.com, tutun.nugraha@surya.ac.id, niken.taufiqurrahmi@surya.ac.id

Abstrak

Penggunaan plastik konvensional secara besar-besaran oleh manusia telah membawa dampak negatif pada aspek *sustainability* dan keramahan lingkungan dalam kehidupan manusia karena masalah bahan baku dan sampahnya. Salah satu solusi dari masalah tersebut adalah menggunakan plastik yang dapat terdegradasi dan berasal dari biomassa yang dapat diperbaharui yang disebut juga dengan *bio-degradeable bioplastics*. Setidaknya terdapat 4 jenis plastik yang memenuhi kriteria sebagai *bio-degradeable bioplastics*, yaitu *starch-based plastic*, *cellulose-based plastics*, PLA (*polylactic acid*), dan PHA (*polyhydroxylalkanoates*). Keempat jenis plastik tersebut memiliki karakteristik, aplikasi, kelebihan, serta kekurangan yang berbeda-beda. Meskipun terdapat berbagai halangan dalam penggunaan *bio-degradeable bioplastic*, perkembangan teknologi dan peningkatan kesadaran akan dibutuhkannya kehidupan yang lebih *sustainable* dan ramah lingkungan akan menjadi faktor pendorong yang akan meningkatkan penggunaan dan urgensi dari *bio-degradeable bioplastics*.

Kata kunci: Plastik, *bio-degradeable*, *bioplastics*, keberlanjutan, lingkungan

Massive uses of conventional plastics have brought negative consequences to the aspects of sustainability and environmental friendliness of human activities, due to the problems concerning the availability of its raw materials and eventual wastes. One of the solutions to face these problems is by producing and using plastics that can degrade and be derived from renewable biomasses which are now known as bio-degradeable bioplastics. At least, there are 4 kinds of plastics that can fulfill the criteria as being bio-degradeable bioplastics, namely starch-based plastic, cellulose-based plastics, PLA (polylactic acid), and PHA (polyhydroxylalkanoates). These four kinds of plastics have different characteristics, applications, strengths, and also weaknesses. In spite of the many challenges in the uses of bio-degradeable bioplastics to replace conventional plastics, newest technological development and the birth of stronger public awareness towards a more sustainable and more environmentally-friendly life style have given stronger stronger forces to increase the uses and urgency of bio-degradeable bioplastics.

Keywords: Plastics, bio-degradeable, bioplastics, sustainability, environment

Pendahuluan

Plastik dapat didefinisikan sebagai suatu material yang tersusun atas makromolekul-makromolekul yang umumnya adalah polimer (Brydson, 1999, h.20). Selain itu, dapat juga dikatakan bahwa plastik adalah suatu istilah umum yang merujuk kepada suatu material polimer yang mengandung zat-zat lain untuk meningkatkan performanya atau mengurangi biaya pembuatannya (Vert, et al., 2012, h.394). Pada umumnya, plastik berasal dari minyak bumi dan dibuat dengan proses yang dikendalikan oleh manusia (sintetik).

Plastik memiliki sifat-sifat umum seperti tahan terhadap bahan kimia, isolator terhadap panas dan listrik, ringan, mudah dibentuk, elastis, dan serbaguna karena karakteristiknya dapat diatur dan dimodifikasi sesuai kebutuhan dengan penambahan zat-zat aditif pada proses pembuatannya. Berbagai macam sifat inilah yang membuat plastik banyak diproduksi dan dimanfaatkan oleh manusia baik dalam rumah tangga, industri, maupun dalam bidang-bidang lainnya seperti konstruksi, otomotif, penerbangan, telekomunikasi, dan elektronik (PRWEB, 2012).

Walaupun pemakaian plastik dalam kehidupan manusia dapat menghemat biaya, bahan mentah, dan energi karena sifatnya yang ringan dan mudah diproduksi; sampah plastik dapat membawa dampak negatif bagi lingkungan. Permasalahan utama dari plastik adalah sifatnya yang tahan terhadap degradasi, sehingga sampah plastik akan sulit untuk hilang dari lingkungan. Sampah plastik juga kurang efisien untuk didaur ulang karena memiliki titik leleh yang rendah sehingga sulit untuk dibersihkan dari pengotornya. Akibatnya, kualitas plastik hasil daur ulang cenderung lebih rendah daripada kualitasnya sebelum didaur ulang (Moore & Curley, 2009). Selain itu, pembakaran plastik untuk menghasilkan energi cenderung kurang efisien, membutuhkan pengawasan emisi, dan menghasilkan sisa pembakaran yang berbahaya bagi kehidupan (UNEP, 2014, h.17). Berdasarkan survey yang dilakukan oleh *United Nations Environmental Programme*, sekitar 22-43% sampah plastik di dunia ditangani dengan cara ditimbun (UNEP, 2014, h.17). Padahal, penimbunan plastik dapat merusak estetika lingkungan, melepas bahan-bahan kimia berbahaya ke lingkungan (Ren, 2003, h.29), dan membuat sampah plastik terbangun sia-sia tanpa adanya usaha pemanfaatan kembali.

Selain itu, plastik juga berasal dari sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui, yaitu minyak bumi. Berdasarkan data yang diperoleh oleh UNEP, sekitar 8% konsumsi minyak dunia digunakan untuk memproduksi plastik (UNEP, 2014, h.16). Menurut data dari *British Plastics Federation*, hampir 99% plastik di dunia ini berbahan baku dari minyak bumi (BPF, 2008). Pada tahun 2013, *British Petroleum* memperkirakan jika tingkat konsumsi minyak dunia cenderung konstan setiap tahunnya, maka cadangan minyak dunia akan habis dalam 53 tahun (Tully, 2014).

Untuk mengatasi masalah sampah plastik yang tidak dapat terdegradasi dan bahan baku plastik yang tidak dapat diperbaharui, perlu adanya plastik dari bahan baku yang dapat diperbaharui (*bioplastic*) dan dapat terdegradasi (*bio-degradeable*) sehingga sampahnya mudah untuk diatasi. Plastik yang dapat memenuhi kedua syarat tersebut disebut dengan *bio-degradeable bioplastic*. Prinsip *bio-degradeable bioplastic* adalah jenis plastik yang dapat digunakan seperti layaknya plastik biasa namun dapat terurai oleh aktivitas mikroorganisme menjadi air dan gas karbon dioksida atau gas metana (Doi & Fukuda, 1994), serta berasal dari bahan baku biomassa (umumnya biomassa nabati) yang dapat diperbaharui (*renewable*) (Waryat, 2013, h.7). Kedua sifat ini menjadi penting karena suatu jenis *bioplastic* belum tentu *bio-degradeable* (seperti *polyamide*), dan suatu jenis plastik yang *bio-degradeable* belum tentu termasuk ke dalam jenis *bioplastic* (seperti *polyvinyl alcohol*) (Kaeb, 2009, h.8).

Bioplastik sebenarnya sudah mulai ada dan dikomersialisasikan sejak abad ke-19, tepatnya pada tahun 1869 ketika seorang penemu dari Amerika bernama John Wesley Hyatt, Jr. berhasil mensintesis suatu turunan selulosa yang kemudian diberi nama *celluloid* (Green Plastics, 2010). Pada tahun 1924, bioplastik dan biopolimer sudah mulai dimanfaatkan oleh Henry Ford untuk membuat komponen-komponen mobil seperti *steering wheel* dan *dashboard* (Green Plastics, 2010). Sayangnya, perkembangan bioplastik cukup terhambat pada tahun 1900-an karena penggunaan minyak bumi secara besar-besaran sebagai bahan baku dari plastik (Green Plastics, 2010). Perkembangan bioplastik baru kembali diintensifkan pada tahun 1980-an setelah masyarakat dunia mulai menyadari bahwa plastik dan polimer berbasis minyak bumi (*petroleum*) membawa dampak negatif bagi lingkungan (Green Plastics, 2010).

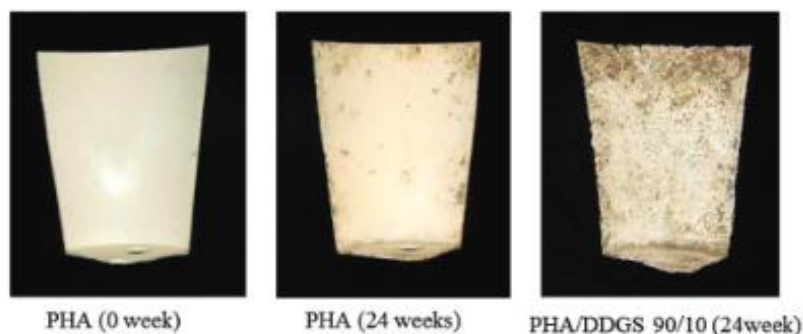
Menurut Srikanth Pilla, bioplastik dapat dibagi menjadi 3 kategori berdasarkan bahan baku dan garis besar proses pembuatannya, yaitu Kategori I yang didapatkan melalui ekstraksi atau isolasi langsung dari biomassa, Kategori II yang didapatkan dari sintesis kimia monomer-monomer yang terbarukan (*renewable*) dan berasal dari biomassa (*bio-based*), serta Kategori III yang diproduksi dari proses hidup mikroorganisme alami maupun mikroorganisme yang telah dimanipulasi secara genetik (Pilla, 2011, h.123). Penelitian dari *University of Pittsburgh* membuktikan bahwa hampir semua jenis dan kategori *bioplastic* lebih unggul daripada plastik konvensional dalam sisi *bio-degradability*, toksisitas, dan penggunaan sumber daya terbarukan (University of Pittsburgh, 2010).

European Bioplastics memperkirakan bahwa produksi bioplastik dunia akan meningkat pesat dari 1,58 juta ton menjadi 7,85 juta ton dalam kurun tahun 2013-2019 (European Bioplastics, 2015). Pada sisi permintaan, data dari *Freedonia Group* menunjukkan permintaan dunia terhadap bioplastik meningkat dari 130.000 ton pada tahun 2005 menjadi 1 juta ton pada tahun 2015 (Mohan, 2011). Peningkatan produksi dan permintaan bioplastik terjadi karena berbagai faktor, seperti preferensi konsumen terhadap material yang lebih ramah lingkungan, peningkatan performa bioplastik akibat kemajuan teknologi, peningkatan harga minyak bumi, serta insentif dari pemerintah dari berbagai negara yang memotivasi industri untuk memproduksi produk yang ramah lingkungan (Mohan, 2011).

Jika dibandingkan dengan sumber plastik konvensional, yaitu minyak bumi; biomassa sebagai bahan baku bioplastik memiliki beberapa kelebihan, yaitu ketersediaan dalam jumlah yang besar dan biaya yang relatif murah (Waryat, 2013, h.1). Ada banyak jenis biomassa yang dapat dijadikan sebagai bahan baku bioplastik, contohnya adalah tebu, jagung, beras, selulosa, minyak sayur, dan limbah-limbah yang termasuk biomassa seperti lignin dan dadih (*whey*) (Pathak, et al., 2014, h.87).

Plastik dapat terdegradasi secara alami melalui 4 cara, yaitu fotodegradasi (dengan paparan sinar UV dari matahari), degradasi kimiawi (dengan air atau oksigen), biodegradasi (dengan enzim, bakteri, jamur, atau alga), dan degradasi mekanik (dengan angin atau abrasi) (Waryat, 2013, h.17). Umumnya, bioplastik dapat terdegradasi dengan mudah karena struktur molekul bahan bakunya yang berbentuk kristal sehingga lebih rapuh dan lebih mudah terdegradasi dari plastik konvensional. Bioplastik umumnya dapat terdegradasi dalam kurun waktu 4-5 bulan jika ditimbun dengan tanah

(Mostafa, et al., 2010, h.18), sedangkan plastik-plastik konvensional umumnya membutuhkan waktu ratusan hingga ribuan tahun untuk terdegradasi.



Gambar 1. Proses degradasi potongan pot tanaman dari PHA (*polyhydroxylalkanoates*) (Madbouly, et al., 2013, h.1914)

Menurut Harald Kaeb, Sekretaris Jendral dari *European Bioplastics*; ada sekurang-kurangnya 4 jenis plastik yang memenuhi kriteria sebagai *bio-degradeable bioplastic*, yaitu *starch-based plastics/thermoplastic starch*, *cellulose-based plastics*, PLA (*polylactic acid*), dan PHA (*polyhydroxylalkanoates*) (Kaeb, 2009, h.8). Jika keempat jenis plastik tersebut diklasifikasikan ke dalam klasifikasi yang dibuat oleh Srikanth Pilla, maka *starch based-plastics* dan *cellulose-based plastics* termasuk ke dalam Kategori I, PLA termasuk ke dalam Kategori II, dan PHA termasuk ke dalam Kategori III.

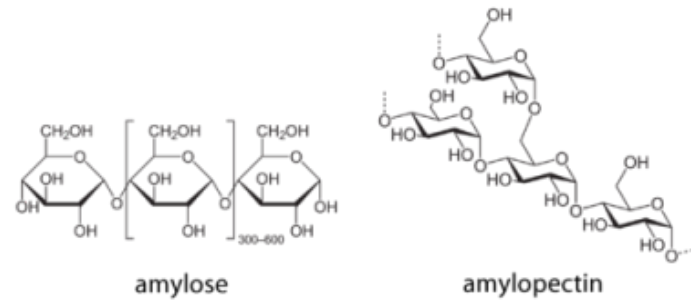
Hasil Penelitian dan Pembahasan

Starch-Based Plastics

Starch (pati) adalah suatu senyawa organik berjenis karbohidrat yang memiliki rumus molekul $(C_6H_{10}O_5)_n$. Jika ditinjau dari struktur molekulnya, pati sebenarnya adalah polimer yang tersusun dari monomer-monomer amilosa dan amilopektin. Perbandingan antara amilosa dan amilopektin yang terkandung dalam zat pati bergantung kepada tanaman yang merupakan sumber dari pati itu sendiri (Pilla, 2011, h.81).

Tabel 2. Kandungan Amilosa dan Amilopektin pada tanaman yang berbeda (Wulan, et al., 2006, h.4)

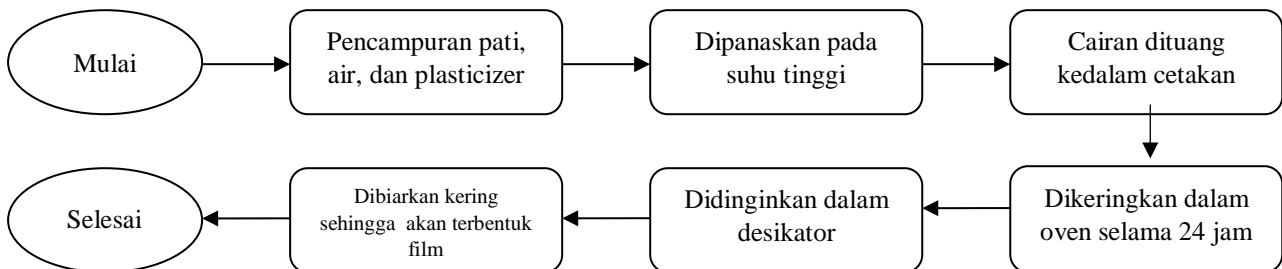
Tanaman	Pati (%)	Amilosa (%)	Amilopektin (%)	Rasio Amilosa:Amilopektin
Jagung	66,55	19,57	46,98	29 : 71
Kentang	20,63	7,05	13,58	34 : 66
Ubi Kayu	30,79	7,02	23,77	23 : 77



Gambar 2. Struktur Amilosa dan Amilopektin (Putri, 2015)

Plastik yang berbahan dasar pati umumnya dikenal dengan istilah BPS (*Bio-plastic Starch*). *Bio-plastic Starch* didefinisikan sebagai suatu bahan polimer amorf (tak berbentuk) atau semi-kristal yang terdiri dari monomer-monomer pati yang telah tergelatinisasi atau terdestruktirisasi dan telah ditambahkan satu atau beberapa jenis *plasticizer* (bahan tambahan untuk mendukung sifat plastis dari plastik) (Metha, et al., 2014, h. 681). Ada berbagai variasi bahan *plasticizer* yang digunakan dalam BPS, seperti air (paling umum digunakan), glikol, gliserol, urea, gula, dan sorbitol (Zuraida, et al., 2012, h. 715).

Plastik berbasis pati dapat dibuat dari berbagai macam jenis tanaman yang mengandung pati, seperti gandum, jagung, kentang, dan kacang kapri (Vilpoux & Averous, 2004, h.542). Selain itu, limbah yang mengandung pati juga dapat dijadikan sebagai bahan baku dalam proses pembuatan plastik berbasis pati, seperti air bekas cucian beras (Arisa, 2012, h.4) dan kulit pisang raja (Utami, et al., 2014, h.164). Sebelum dijadikan plastik, pati harus terlebih dahulu diekstraksi dari sumbernya. Umumnya metode ekstraksi pati dapat dibagi menjadi 4 tahap, yaitu pencucian, penghancuran, dan pemisahan pati dari zat-zat lainnya yang terkandung dalam sumber pati.

Gambar 3. Flowchart proses pembuatan *bio plastic starch*

Pembuatan plastik berbasis pati pada skala laboratorium dimulai dengan pencampuran pati, air, dan bahan *plasticizer* (seperti gliserol dan sorbitol) pada suhu tinggi (80-200°C) hingga campuran homogen dan pati larut (Metha, et al., 2014, h. 682) (Utami, et al., 2014, h.165) (Vilpoux & Averous, 2004, h.528). Pencampuran pati dengan *plasticizer* dilakukan dengan tujuan untuk memecah struktur kristal dari pati sehingga membentuk sifat plastis/elastis (Shi, et al., 2007, h.748). Kemudian, campuran dituang ke dalam cetakan/cawan petri dan didiamkan selama 1 malam agar kering (Metha, et al., 2014, h.682) atau dikeringkan di dalam oven selama 24 jam lalu didinginkan di dalam desikator

selama 24 jam (Utami, et al., 2014, h.165). Setelah kering, campuran akan membentuk lembaran (film) yang sudah dapat disebut sebagai BPS (*Bioplastic Starch*).



Gambar 4. Lembaran BPS yang dibuat dalam skala laboratorium (telah diberi pewarna) (Metha, et al., 2014)

Pada skala industri, plastik berbasis pati umumnya dibuat dengan pati yang sudah dimodifikasi. Ini dilakukan karena pati asli memiliki struktur kristal yang akan menghambat pembentukan plastik. Ada 2 jenis modifikasi yang dilakukan, yaitu *destructurization* (yang membentuk TPS atau *thermoplastic starch*) dan *chemical modification*. *Destructurization* dilakukan dengan cara memproses pati dalam keadaan tekanan dan suhu tinggi serta kadar air yang rendah di dalam sebuah alat *extruder* (Piemonte, et al., 2013) sehingga struktur kristal dari pati akan hancur dan zat *plasticizer* akan masuk ke dalam pati dan membuat pati menjadi plastis. *Chemical modification* dilakukan dengan mensubstitusi gugus hidroksil pada pati dengan gugus eter atau ester (Piemonte, et al., 2013) untuk mengurangi sifat hidrofilik dari pati, sehingga plastik yang nantinya akan dibuat tidak akan mudah terdegradasi oleh air. Lalu, TPS, *chemically modified starch*, dan pati asli (*native starch*) dicampurkan dengan polimer lainnya seperti PCL (*polycaprolactone*) atau PVOH (*polyvinyl alcohol*) dalam proses *reactive blending* untuk mengikat pati dengan polimer lain dengan ikatan Van Der Waals (Piemonte, et al., 2013).

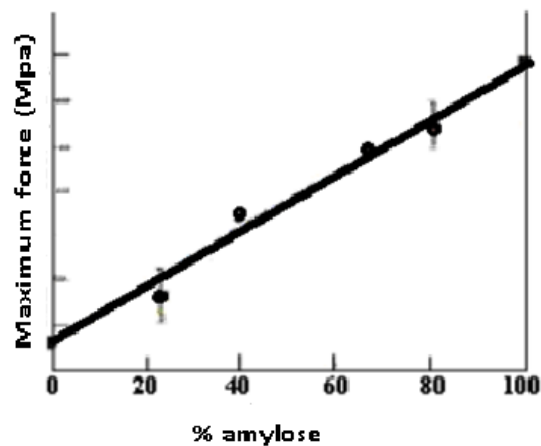
Pati asli tanpa modifikasi (*native starch*) memiliki beberapa sifat yang khas, antara lain: (1) rapuh (*brittle*) dan tidak termoplastis karena berstruktur seperti kristal; (2) memiliki titik dekomposisi yang lebih rendah dibanding titik lelehnya, dan (3) hidrofilik karena memiliki banyak gugus hidroksil yang membentuk ikatan hidrogen dengan air.

Plastik berbasis pati umumnya memiliki sifat yang tidak jauh berbeda dengan bahan dasarnya. Sifat plastik berbasis pati biasanya dibuat berbeda dari sifat bahan dasarnya dengan cara dimodifikasi melalui metode-metode tertentu, misalnya dengan penambahan *plasticizer* (untuk menghilangkan sifat nomor 1), pemrosesan di dalam *extruder* untuk mengubah pati menjadi *thermoplastic starch* (untuk menghilangkan sifat nomor 2), atau modifikasi kimia untuk menghilangkan sifat nomor 3). Umumnya, plastik berbasis pati memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

- Dapat terdekomposisi secara alami,
- Memiliki permeabilitas yang tinggi terhadap uap air,

- Penghalang oksigen yang baik, dan
- Tidak dapat bermuatan secara elektrostatis (isolator) (Lorcks, 1997, h.247)

Pada umumnya, ketahanan mekanis dari plastik berbasis pati cukup rendah. Ini disebabkan oleh *amylopectin* yang terkandung dalam pati. Keberadaan *amylopectin* cenderung menghambat pembentukan lembaran plastik sehingga akan membuatnya lebih rapuh. Namun hal tersebut dapat diimbangi dengan polimer yang juga terkandung di dalam *starch* seperti *amylose* yang akan memberikan kekuatan pada plastik lewat rantai panjang polimernya (Vilpoux & Averous, 2004, h.527). Pada grafik di bawah ini (Gambar 5), dapat dilihat bahwa jumlah *amylose* berbanding lurus dengan kekuatan gaya tarik maksimal dari plastik berbahan dasar *starch*.



Gambar 5. Grafik pengaruh jumlah *amylose* terhadap kekuatan gaya tarik (Vilpoux & Averous, 2004)

Plastik berbahan dasar *starch* banyak ditemukan pada supermarket untuk membungkus buah yang sudah dibeli (Iflah, 2013, h.3). Selain sebagai pembungkus buah, jenis plastik ini juga sering digunakan dalam sektor farmasi untuk produksi kapsul obat dikarenakan sifatnya yang dapat menyerap kelembaban.

Plastik berbahan dasar *starch* sendiri memiliki kelebihan dan kekurangan jika dibandingkan dengan plastik konvensional. Kelebihan dari plastik berbahan dasar *starch* jika dibandingkan dengan plastik konvensional antara lain:

- Memiliki kecepatan terdegradasi yang lebih dibandingkan dengan plastik konvensional setelah 72 jam diinkubasi (Metha, et al., 2014).
- Mengurangi *green house gas emission* hingga 30-80 %
- Memiliki biaya produksi yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan bioplastik jenis lainnya
- Bahan baku plastik berbahan dasar *starch* mudah untuk didapatkan.
- *Barrier* oksigen yang baik (Iflah, 2013, h.2)

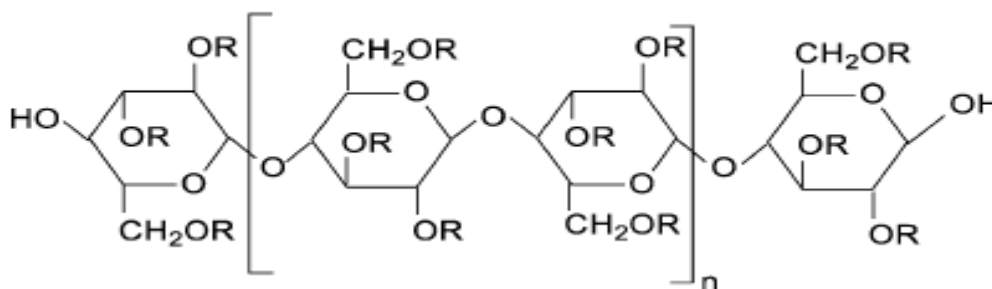
Namun, di samping berbagai kelebihan yang dimiliki oleh plastik berbahan dasar *starch*, terdapat juga kekurangan yang dimiliki oleh jenis plastik ini, antara lain adalah:

- Memiliki sifat yang kaku dan rapuh jika berbahan dasar *starch* murni (Vilpoux & Averous, 2004, h.525)
- Memiliki sifat higroskopis sehingga tidak cocok untuk mengemas makanan yang memiliki kadar air dan kelembaban yang tinggi (Iflah, 2013, h.2)
- Kurang cocok untuk diaplikasikan dalam menggantikan plastik konvensional dikarenakan bahan dasarnya yang berasal dari bahan pangan
- Memiliki kekuatan dan daya tahan yang lebih rendah dibanding jenis-jenis bioplastik lainnya.

Cellulose-Based Plastics

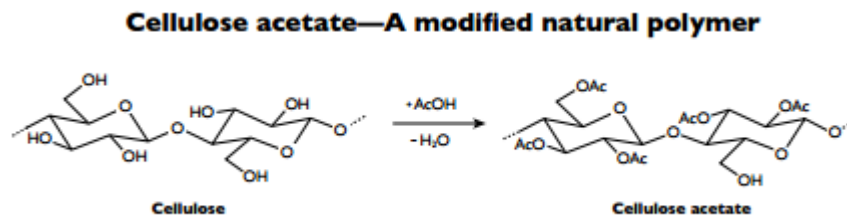
Selulosa yang berasal dari kayu dapat menggantikan minyak bumi dalam hal bahan baku untuk membuat plastik (Misra, et al., 2004, h.3). Selulosa asetat (SA), selulosa asetat propionat (SAP) dan selulosa asetat butirat (SAB) adalah termoplastik yang diproduksi dari esterifikasi selulosa dan dianggap bermanfaat dalam aplikasi *biodegradable plastics* (Misra, et al., 2004, h.3). Kertas bekas, selulosa dari kayu, kacang kedelai, dan tanaman ganja dapat digunakan dalam esterifikasi selulosa untuk membentuk biopolimer dalam bentuk serbuk atau bubuk. Pada umumnya, jenis selulosa yang biasa digunakan untuk dijadikan bioplastik adalah selulosa asetat.

Cellulose esters



Gambar 6. Struktur ester selulosa (Selulosa Asetat, Selulosa Asetat Propionat, Selulosa Asetat butirat) (Mohanty, et al., 2003, h.364)

Meskipun selulosa asetat (SA) dapat diproduksi dengan derajat substitusi (DS) yang bervariasi, tingkat DS yang paling banyak diproduksi adalah 2,5 karena sifat solubilitas dalam pelarut, berat molekul dan titik didihnya yang baik (J.Plus, et al., 2010, h.152). Berdasarkan derajat substitusinya, awalnya SA dianggap merupakan polimer yang tidak mampu terdegradasi sempurna sampai akhirnya ditemukan mekanisme *deacetylation* dan enzim asetil esterase pada mikroorganisme (J.Plus, et al., 2010, h.153).



Gambar 7. Reaksi asetilasi untuk membentuk selulosa asetat
(Global Acetate Manufacturers Association, 2007)

Titik didih selulosa asetat berbanding lurus dengan derajat substitusinya (Gaol, et al., 2013, h.35). Berdasarkan derajat substitusinya, klasifikasi SA dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu (Gaol, et al., 2013, h.35):

1. Derajat substitusi antara 0 sampai 2 yang dikelompokkan menjadi selulosa monoasetat yang larut dalam aseton.
2. Derajat substitusi antara 2,0 – 2,8 dengan kandungan asetil mencapai 35% – 43,5 % yang dikelompokkan menjadi selulosa diasetat.
3. Derajat substitusi antara 2,8 – 3,5 mempunyai kandungan asetil 43,5 – 44,8% yang dikelompokkan menjadi selulosa triasetat.

Secara komersil, plastik yang berbasis selulosa asetat dibuat dari jenis tumbuhan atau limbah yang mengandung selulosa, seperti limbah tandan kosong kelapa sawit (Gaol, et al., 2013, h.33), limbah kertas (Dena, et al., 2013, h.1), dan limbah pulp kenaf (Widyaningsih & Radiman, 2007, h.13). Proses pembentukan SA sendiri bergantung pada sumber selulosa yang digunakan, namun ada tiga proses yang umumnya digunakan (Carolina, 2010, h.7-8), yaitu:

1. Proses larutan (*Solution process*)

Proses yang paling umum dan banyak digunakan. Proses ini menggunakan asetat anhidrida sebagai *solvent* pada prosedur asetilasi, asam asetat glasial sebagai *diluent*, serta katalis asam (Carolina, 2010, h.7).

2. Proses dengan pelarut (*Solvent process*)

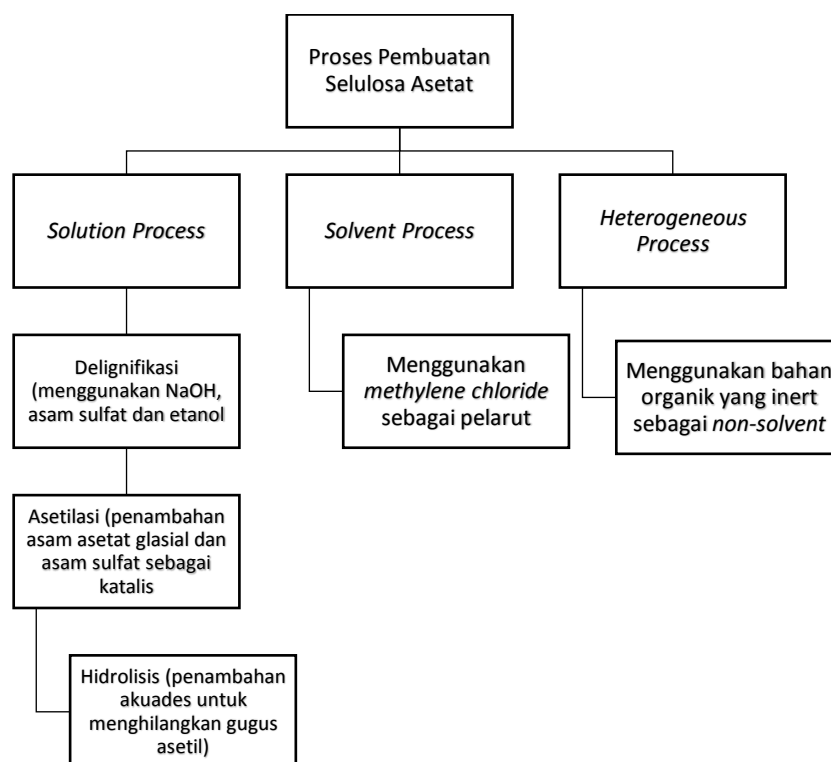
Menggunakan *methylene chloride* sebagai pelarut untuk menggantikan sebagian asam asetat (Carolina, 2010, h.7).

3. Proses Heterogen (*Heterogeneous process*)

Menggunakan cairan organik yang *inert* seperti *benzene ligroin* sebagai *non-solvent* untuk menjaga selulosa yang terasetilasi (Carolina, 2010, h.7).

Seiring dengan berkembangnya teknologi, modifikasi proses pembuatan selulosa asetat bertambah, salah satunya adalah metode pembuatan selulosa asetat dari selulosa mikrobial (Desiyarni, 2006). Akan tetapi, pada skala industri proses yang paling banyak digunakan adalah *Solution Process* (Carolina, 2010, h.8). *Solution Process* sendiri terbagi menjadi tiga tahapan, yaitu tahap delignifikasi, asetilasi dan hidrolisis.

Tahap delignifikasi dilakukan untuk menghilangkan lignin dan komponen – komponen pengotor selain selulosa. Proses ini biasanya menggunakan NaOH untuk merusak struktur lignin (Dena, et al., 2013). Dengan metode refluks, campuran tersebut kemudian akan direaksikan dengan campuran asam sulfat dan etanol (Dena, et al., 2013, h. 7). Etanol berfungsi mempercepat proses reaksi dan menurunkan tegangan permukaan pelarut pada suhu tinggi (Heradewi, 2007, h. 13). Serpihan hasil refluks kemudian dicuci dengan akuades dan dikeringkan di oven dengan suhu 45°C untuk menjaga kestabilan serat selulosa agar tidak putus (Dena, et al., 2013, h. 7).



Gambar 8. Tiga macam proses pembuatan Selulosa Asetat

Tahap asetilasi diawali dengan proses aktivasi yang bertujuan untuk menarik air dan mengembangkan struktur dari selulosa sehingga proses asetilasi dapat berjalan dengan cepat dan maksimal (Dena, et al., 2013, h. 7). Proses aktivasi dilakukan dengan cara menambahkan asam asetat glasial. Selanjutnya, tahap asetilasi dilakukan dan biasanya menggunakan katalis seperti H₂SO₄ (Syamsu & Kuryani, 2014, h. 129). Kemudian, anhidrida asetat ditambahkan ke dalam campuran lalu diaduk (Dena, et al., 2013, h. 7).

Tahap terakhir adalah tahap hidrolisis, yaitu tahap dimana campuran pada tahap asetilasi ditambahkan akuades kemudian dicuci sampai filtrat tidak berwarna. Tahapan ini bertujuan untuk menghilangkan gugus asetil pada selulosa sehingga menyebabkan selulosa asetat mengalami penggumpalan. Selanjutnya, selulosa dikeringkan pada suhu yang tidak terlalu tinggi (45°C) untuk menjaga serat selulosa agar tidak mudah terdegradasi (Dena, et al., 2013, h. 7).

Selulosa asetat mempunyai rumus molekul [C₆H₇O₂(OCOCH₃)₃]_x dan berbentuk padatan yang berwarna putih. Selulosa asetat bersifat hidrofobik dan mudah dibentuk; cepat kering (*quick drying*);

tidak mudah berkerut; larut dalam aseton; memiliki stabilitas yang tinggi sehingga banyak dipakai sebagai lembaran plastik, film dan tekstil (Carolina, 2010, h. 10); serta sensitif terhadap air dan mudah disobek. Umumnya, plastik yang memakai bahan baku SA memiliki sifat yang tidak jauh berbeda dengan bahan baku dasarnya. Akan tetapi, sifat fisik dari selulosa asetat sendiri dipengaruhi oleh derajat substitusinya. Polimer selulosa asetat sendiri telah digunakan untuk beberapa produk seperti tekstil, plastik film, dan filter rokok (J.Plus, et al., 2010, h. 152). Ada beberapa kelebihan bioplastik apabila menggunakan selulosa asetat sebagai bahan baku antara lain:

- Bahan baku yang mudah ditemukan di berbagai jenis tumbuhan dan juga limbah seperti limbah kertas (Dena, et al., 2013, h. 1) dan limbah pulp kenaf (Widyaningsih & Radiman, 2007, h. 1).
- Memiliki daya kekuatan tarik yang cukup tinggi apabila kadar asetilnya meningkat (Syamsu & Kuryani, 2014, h. 131).
- Dapat terdegradasi karena berbahan baku selulosa (Misra, et al., 2004, h. 3).
- Dapat digunakan untuk *food packaging* (Liu, 2006, h. 7).

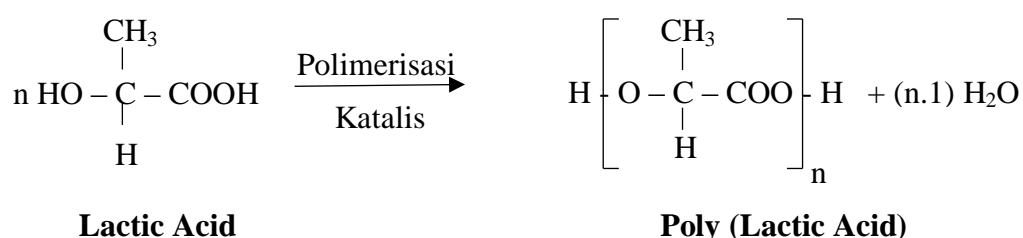
Sedangkan, kekurangan bioplastik apabila menggunakan Selulosa Asetat sebagai bahan baku antara lain:

- Membutuhkan penambahan *plasticizers* untuk pembuatan selaput film (Liu, 2006, h. 7).
- Film selulosa asetat mudah rusak apabila terjadi kontak langsung dengan oksigen dan juga melepaskan senyawa asam asetat. Fenomena ini disebut 'sindrom cuka' (Liu, 2006, h. 7).
- Bioplastik berbahan baku selulosa asetat belum mampu menyaingi plastik berbahan baku minyak bumi dari segi daya tahan dan kekuatannya.

Polylactic Acid (PLA)

PLA atau *poly-lactic acid* merupakan kategori plastik yang *bio-based* dan *bio-degradeable*. PLA pertama kali ditemukan oleh Carothers pada tahun 1932 dan dapat dibentuk melalui sintesis kimia dari monomer yang *bio-based*. Biomassa yang berpotensi untuk digunakan sebagai bahan baku PLA antara lain pati singkong, biji kapas, jagung, gula bit, gandum, sorgum, tebu, selulosa, dan pati kentang (Jamshidian, et al., 2010, h. 555).

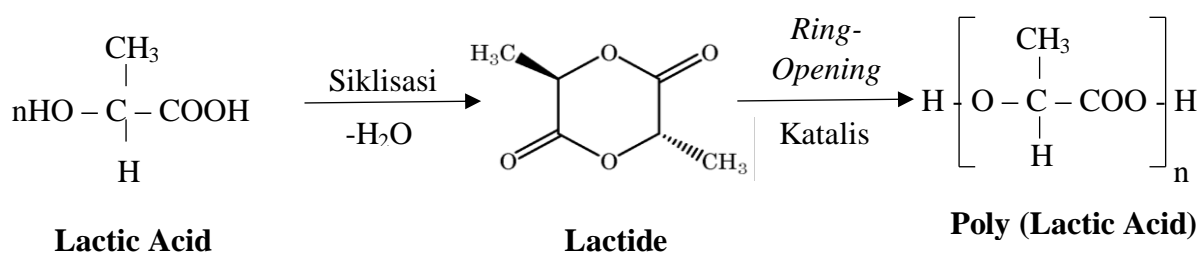
PLA yang digunakan untuk bioplastik hanya PLA yang memiliki berat molekul yang tinggi dengan nilai di atas 100,000 gr/mol. Peningkatan berat molekul PLA dilakukan dengan cara polimerisasi yang dapat dilakukan melalui 3 cara. Cara pertama adalah polimerisasi kondensasi langsung yang berdasarkan pada esterifikasi monomer dengan penambahan pelarut dan pengurangan air melalui proses vakum dan temperatur yang tinggi.



Gambar 9. Reaksi asam laktat menjadi PLA melalui polimerisasi langsung

Cara kedua adalah polikondensasi langsung di dalam larutan azeotropik. Cara ini juga menggunakan beberapa aplikasi dari katalis yang membuat proses ini menjadi lebih praktis. Larutan azeotropik membantu mengurangi tekanan distilasi dan membiarkan PLA terpisah dari pelarutnya dengan aplikasi dari penyaring molekular.

Cara ketiga adalah polimerisasi melalui pembentukan *lactide*. Cara ini cukup banyak digunakan dalam industri karena terbukti menghasilkan berat molekul PLA yang tinggi. *Lactide* adalah dimer siklik yang dibentuk dari pengurangan air pada kondisi yang sejuk dan tanpa pelarut. Pemurnian *lactide* terbentuk melalui distilasi vakum pada suhu yang tinggi. Setelah distilasi vakum dari *L-lactide*, PLA dengan berat molekul yang tinggi dibentuk dengan *ring-opening polymerization*.



Gambar 10. Reaksi asam laktat menjadi PLA melalui polimerisasi *ring-opening*

Awalnya, metode pemanasan *lactic acid* dalam vakum untuk mengkondensasi air hanya dapat menghasilkan PLA dengan berat molekul yang rendah (Jamshidian, et al., 2010, h. 553). Oleh karena itu, metode *ring-opening polymerization* pada *lactide* muncul sebagai solusi untuk meningkatkan berat molekul PLA pada produksinya.

Produksi PLA diawali dengan pembentukan monomer *lactic acid* (*2-hydroxy-propionic-acid*) melalui fermentasi atau sintesis kimia. Industri PLA cenderung menggunakan metode fermentasi daripada sintesis kimia karena sintesis kimia membutuhkan biaya produksi yang tidak murah dan dapat menghasilkan produk samping (Datta & Henry, 2006, h. 1123). Bakteri fermentasi karbohidrat (*homofermentative*, *heterofermentative*) digunakan dalam metode fermentasi untuk menghasilkan 2 konfigurasi stereoisomer L(+) dan D(-) dari *lactic acid*. Namun di antara kedua metode fermentasi, *homofermentative* lebih disarankan dalam memproduksi PLA karena mempunyai *yield lactic acid* yang lebih banyak dan produk samping yang lebih rendah. Bakteri yang digunakan dalam proses fermentasi adalah bakteri dengan genus *Lactobacillus* seperti *Lactobacillus delbrueckii* dan *Lactobacillus amylophilus*. Kondisi operasi yang dibutuhkan antara lain pH berkisar 5.4 - 6.4, suhu 38°C - 42°C, dan konsentrasi oksigen yang rendah. Umumnya, *L-lactic acid* murni lebih sering digunakan untuk memproduksi PLA (Mehta, et al., 2005, h. 329).

PLA dengan berat molekul yang tinggi memiliki kemiripan dengan *polystyrene* dalam kasus *thermoplastic material*-nya, tidak berwarna, mengkilap, dan kaku (Xiao, et al., 2012, h. 249). Sifat fisik lain dari PLA dijelaskan dalam tabel berikut :

Tabel 3. Sifat-sifat Fisik dari PLA

Sifat Fisik	Satuan	Nilai	Sumber
<i>Specific Gravity</i>	-	1.27	(Jamshidian, et al., 2010)
Densitas Padat	g/cm ³	1.2515	(Jamshidian, et al., 2010)
Titik Didih	°C	165	(Jamshidian, et al., 2010)
Daya Tarik	MPa	59	(Jamshidian, et al., 2010)
Modulus Elastis	MPa	3500	(Jamshidian, et al., 2010)
Modulus Young	MPa	1280	(Jamshidian, et al., 2010)
Persen Pemanjangan	%	11.3	(Jamshidian, et al., 2010)

PLA sendiri telah banyak digunakan dalam bidang pertanian seperti untuk pot tanaman, pelapis tanah (*mulch films*), dan wadah penanaman (*plantation tray*) (Plastice, 2013, h. 47).

PLA mempunyai beberapa kelebihan dibanding dengan biopolimer lainnya seperti (Dorgan, et al., 2000, h. 1):

- bahan baku produksi monomernya berasal dari fermentasi biomassa (jagung);
- fiksasi CO₂ yang signifikan melalui produksi jagung;
- penghematan energi yang efisien;
- kemampuan untuk daur ulang melalui hidrolisis atau alkoholisis;
- kemampuan untuk memproduksi plastik yang bisa menjadi kompos;
- mengurangi pemakaian *landfill* untuk limbah plastik;
- kemampuan penyesuaian sifat fisik melalui modifikasi materialnya

Selain kelebihan, PLA juga memiliki kekurangan, yaitu pengomposan PLA dalam jumlah yang banyak akan merusak pengomposan konvensional karena polimer yang kandungannya berbasis jagung akan membuat kompos biasa menjadi lebih asam (Kushner, 2011). Selain itu, PLA juga cenderung rentan terhadap deformasi ketika terpapar temperatur yang tinggi (Rogers, 2015).

Polyhydroxylalkanoates (PHA)

Poly-Hydroxyalkanoates (PHA) adalah poliester yang paling memiliki kekuatan dan kekerasan yang dapat divariasikan untuk berbagai penggunaan dengan mengubah komposisinya serta resisten terhadap kelembaban dan memiliki permeabilitas oksigen (Van & Ling, 1998, p. 1). Berdasarkan panjang rantai ikatannya, PHA dapat dibedakan menjadi Scl-PHA dan Mcl-PHA. Scl-PHA atau PHA rantai pendek seperti P(3HB) bersifat sangat keras dan memiliki titik leleh yang tinggi, sedangkan Mcl-PHA atau PHA rantai panjang memiliki elastisitas tinggi dan titik leleh yang lebih rendah dibandingkan dengan

Scl-PHA. Jenis dari PHA yang paling umum digunakan karena memiliki sifat termoplastik yang baik dan ketahanan terhadap UV adalah *poly-hydroxy butirate* (PHB) (Thakor, et al., 2005, p. 1847).

PHA biasanya diproses dari enzim bakteri melalui molekul inorganik seperti karbon dioksida dan air dalam keadaan aerobik atau metana dan air dalam keadaan anaerobik. Untuk mendaur ulang PHA dibutuhkan bakteri dan jamur dengan pergerakan PHA intraselular dan ekstraselular. PHA intraselular mengandung polimer dengan lapisan protein dan fosfolipid yang sensitif dengan reaksi kimia sedangkan PHA ekstraselular akan terdegradasi menjadi kristal (Dawes & Senior, 1973, p. 250). Berikut ini adalah macam-macam *strain* bakteri yang dapat digunakan untuk memproduksi PHA:

Tabel 4. Macam-macam *strain* bakteri yang dapat digunakan untuk produksi PHA

Jenis Strain	Tipe PHA	Substrat	PHA (wt %)	Referensi
<i>Alcaligenes latus</i>	P(3HB)	kacang kedelai	34	(Ojumu, et al., 2004, p. 19)
<i>Comamonas testosteroni</i>	MCL- PHA	gliserol	79-88	(Thakor, et al., 2005, p. 1845)
<i>Cupriavidus necator</i>	P(3HB)	Minyak kelapa sawit	40-80	(Rao, et al., 2010, p. 16)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	MCL- PHA	Minyak sayur	75	(Fernández, et al., 2005, p. 161)

Bahan-bahan baku yang dapat digunakan untuk menghasilkan PHA antara lain:

1. Minyak tanaman

Minyak seperti minyak kacang kedelai, minyak kelapa sawit, dan minyak jagung memiliki sumber karbon yang cocok untuk produksi PHA karena harganya yang murah dan banyak mengandung gula. Produksi PHA dengan gula dapat meningkatkan produktivitas. Namun, pembuatan PHA menggunakan gula lebih mahal dan menghasilkan *yield* yang sedikit. Umumnya 0.3 sampai 0.4 gram P(3HB) per gram glukosa adalah *yield* terbesar dari produksi PHA. Di sisi lain, minyak tanaman diprediksi dapat memberikan *yield* yang lebih besar untuk produksi PHA yaitu sekitar 0.6 sampai 0.8 gr PHA per gr minyak

2. Gliserol

Gliserol adalah produk dari proses pemurnian minyak kelapa sawit yang biasanya digunakan untuk kosmetik, makanan, dan produk kesehatan yang berhubungan dengan mulut. P(3HB) dapat dihasilkan dari gliserol melalui proses hidup bakteri *Burkholderia sp.*

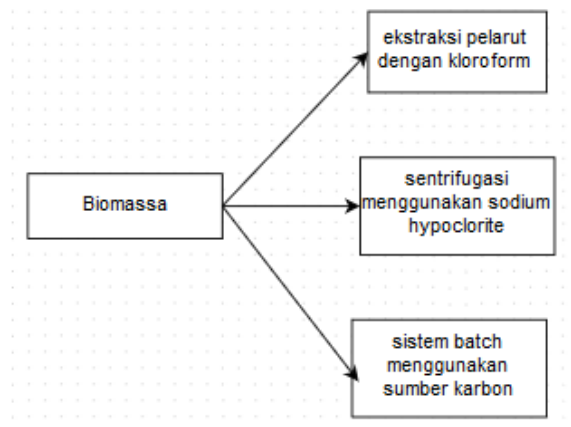
3. Karbon dioksida (CO₂)

Cyanobacteria yang menyerap CO₂ dan menghasilkan oksigen dapat memproduksi PHA seperti P(3HB) (Sudesh, et al., 2001, p. 75).

Untuk menghasilkan PHA dari biomassa, metode yang dilakukan adalah ekstraksi antara pelarut dengan kloroform. Ekstraksi kloroform sangat simpel dan efektif untuk memisahkan PHA dari biomassa karena kandungan PHA tetap utuh dan molekulnya tidak rusak. Golongan pelarut haloalkana seperti dikloroetana dan kloropropana juga bisa digunakan untuk ekstraksi PHA, namun metode ini tidak cocok untuk produksi PHA dalam skala besar karena berbahaya bagi lingkungan (Ramsay 1994, p 589).

Selain ekstraksi menggunakan pelarut, cara lain yang bisa digunakan adalah dengan proses sentrifugasi dengan *sodium hypochlorite* dengan cara biomassa dikondisikan dengan *sodium hypochlorite* untuk mempertahankan *yield* PHA agar tidak lebih rendah daripada berat molekulnya (Berger, et al., 1989, p. 230).

Sedangkan untuk mengoptimalisasi produksi PHA digunakan sistem *batch* menggunakan sumber karbon dan menggunakan pelarut sodium hipoklorit untuk mengisolasi PHA. Akumulasi PHA tertinggi diperoleh melalui pembatasan nutrisi setelah tercapai produksi biomassa maksimum.



Gambar 11. Metode produksi PHA dari biomassa

Struktur kimia PHA yang diproduksi dari bakteri dapat dimodifikasi dengan mengubah spesies bakteri dan kondisi pertumbuhannya. Modifikasi dilakukan untuk menghasilkan produk dengan fungsi yang berbeda mulai dari implan medis hingga pengemas makanan. Selain itu PHA juga bersifat *biocompatible*, *bio-degradeable*, hidrofobik, dan bersifat termoplastik (Chen, 2010, p. 18).

PHA dapat dimanfaatkan di berbagai aspek kehidupan seperti kemasan, peralatan kesehatan, dan material pelapis. PHA telah diproduksi untuk film, jahitan, produk farmasi, dan sel yang dapat tumbuh dalam tubuh manusia. Studi terbaru yang ditemukan adalah PHA dapat digunakan untuk produk kosmetik dan kertas minyak wajah (Sudesh, et al., 2001, p. 75). Dalam bidang medis, PHA dapat dijadikan bahan untuk membuat organ tubuh buatan, seperti daun telinga, ginjal, hati, dan jari tangan maupun kaki. Cacat di bagian tubuh akibat kecelakaan maupun faktor keturunan bisa diperbaiki menggunakan PHA untuk tujuan medis maupun estetika.

PHA dapat menjadi bahan pengganti plastik konvensional karena PHA tidak menghasilkan racun dari proses degradasinya. Untuk fermentasi PHA, bakteri yang digunakan terbagi dalam 2 jenis,

pertama adalah bakteri yang membutuhkan nutrisi seperti nitrogen, oksigen, dan karbon, dan yang kedua adalah bakteri yang tidak memerlukan nutrisi.

PHA yang *bio-degradeable* dan *biocompatible* membuatnya berpotensi menjadi bahan di bidang medis, namun produksi PHA yang mahal masih menjadi kendala. Maka dari itu, peneliti sedang mencari pengganti bibit bakteri yang dapat menghasilkan PHA untuk mengurangi biaya produksi.

Berikut ini adalah tabel perbedaan-perbedaan pada bioplastik *starch-based plastics*, *cellulose-based plastics*, PLA, dan PHA dalam berbagai aspek adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Perbandingan Jenis-Jenis *Bio-degradeable Bioplastic*

	<i>Starch-based plastic</i>	<i>Cellulose-based plastics (cellulose acetate)</i>	PLA (<i>polylactic acid</i>)	PHA (<i>polyhydroxylalkanoates</i>)
Bahan Baku	Sumber pati dari tanaman atau limbah seperti jagung, kacang kapri, dan air cucian beras	Sumber selulosa dari tanaman atau limbah seperti tanaman ganja, limbah kertas, dan limbah kelapa sawit	Singkong, biji kapas, jagung, gula bit, gandum, sorgum, atau tebu	Minyak tanaman, gliserol, dan karbon dioksida (CO ₂)
Proses Pembuatan	Ekstraksi pati dari sumber pati → Modifikasi molekul pati → Pencampuran pati dengan <i>plasticizer</i> atau campuran polimer → Pencetakan	1. <i>Solution process</i> (penambahan asetat anhidrida, asam asetat glasial, dan katalis asam) 2. <i>Solvent process</i> (pelarutan dengan <i>methylene chloride</i>) 3. <i>Heterogenous process</i> (pelarutan dengan pelarut non-organik)	Pembentukan monomer <i>lactic acid</i> dari fermentasi atau sintesis kimia → Polimersasi <i>lactic acid</i> dengan <i>ring-opening polymerization</i>	1. Ekstraksi pelarut dengan kloroform 2. Sentrifugasi dengan <i>sodium hypochlorite</i> 3. Metode <i>batch</i> dengan sumber karbon dan <i>sodium hypochlorite</i>
Sifat	Rapuh, mudah terdekomposisi, hidrofilik, serta penghalang oksigen dan listrik yang baik	Hidrofobik, mudah dibentuk, dan memiliki stabilitas yang tinggi	Kaku, mengkilap, tidak berwarna, memiliki ketahanan mekanis yang relatif kuat	Hidrofobik, <i>bio-compatible</i> , dan termoplastik

Kegunaan	Pembungkus buah (<i>fruit bag</i>) dan bahan kapsul obat	Bahan tekstil, plastik film, dan filter rokok	Pot tanaman, <i>mulch films</i> , dan <i>plantation tray</i>	Kemasan, peralatan kesehatan & farmasi, material pelapis, dan produk kosmetik
Kelebihan	Bahan baku mudah ditemui, biaya produksi relatif murah, cepat terdegradasi	Bahan baku mudah ditemui, hidrofobik dan cepat kering (tahan air)	Dapat didaur ulang melalui hidrolisis atau alkoholisis, dapat terdekomposisi menjadi kompos	Tidak menghasilkan racun dari degradasinya, <i>compatible</i> terhadap tubuh manusia
Kekurangan	Rapuh, kekuatan dan ketahanan mekanis rendah, higroskopis sehingga tidak tahan air	Kekuatan mekanisnya masih relatif lebih rendah dari plastik konvensional, mudah rusak apabila kontak langsung dengan oksigen	Hasil komposnya bersifat asam, mudah terdeformasi pada suhu tinggi, masih berasal dari bahan pangan	Biaya produksi masih relatif tinggi

Contoh Gambar



Tusuk Gigi dari *starch-based plastics*
Sumber: (Vilpoux & Averous, 2004, h.530)



Roll film dari *cellulose-based plastics*
Sumber: (Clegg, 2013)



Pot tanaman dari PLA
Sumber: (Plastice, 2013, h.47)



Pot tanaman dari PHA
Sumber: (Madbouly, et al., 2013, h.1914)

Tantangan & Prospek Masa Depan *Bio-degradeable Bioplastics*

Meskipun *bio-degradeable bioplastic* dapat terdegradasi dan berasal dari sumber daya yang dapat diperbaharui (biomassa), ada berbagai tantangan yang dapat menghambat penggunaannya untuk menggantikan plastik konvensional. Salah satu tantangan untuk memproduksi *bio-degradeable bioplastic* adalah biaya produksi yang relatif tinggi. Bioplastik jenis PLA membutuhkan biaya produksi sekitar 20% lebih tinggi dari biaya produksi plastik konvensional, sedangkan biaya produksi bioplastik PHA dapat mencapai 2 kali lipat dari biaya produksi plastik konvensional (Dell, 2010). Selain itu, walaupun pembuatan bioplastik membutuhkan energi yang lebih sedikit dan menimbulkan

dampak yang lebih sedikit terhadap *global warming*, produksi bioplastik dapat membawa dampak-dampak negatif berupa eutrofikasi, *eco-toxicity*, dan lepasnya senyawa-senyawa karsinogenik ke lingkungan (Marshall, 2010). Dampak-dampak negatif tersebut timbul dari penggunaan pupuk & pestisida serta konversi lahan untuk menumbuhkan tanaman yang menjadi bahan baku bioplastik (Marshall, 2010). Tantangan terbesar yang dihadapi oleh bioplastik adalah proses produksi plastik konvensional yang sudah disempurnakan (termasuk dalam aspek dampak terhadap lingkungan) selama bertahun-tahun (Marshall, 2010).

Namun, meskipun dihadapkan dengan berbagai tantangan, laporan prediksi tren pasar yang disusun oleh *Freedonia Group* memperkirakan bahwa permintaan dunia akan *bio-degradeable bioplastic* akan meningkat sekitar 17% setiap tahunnya hingga mencapai 950.000 ton pada tahun 2017 (Freedonia Group, 2013). Perkembangan industri bioplastik dunia diperkirakan akan semakin pesat seiring dengan semakin banyaknya negara yang mendukung pemakaian bioplastik untuk menggantikan plastik konvensional dan semakin banyaknya penelitian untuk meningkatkan performa dan durabilitas dari bioplastik (Freedonia Group, 2013).

Aplikasi dari *bio-degradeable bioplastics* sendiri tidak hanya terbatas pada plastik untuk kehidupan sehari-hari seperti untuk pembungkus & kemasan, namun juga dapat digunakan untuk menggantikan penggunaan plastik konvensional pada berbagai macam bidang. Misalnya, bioplastik PLA dan PHA dapat digunakan dalam bidang medis untuk berbagai keperluan seperti sarung tangan, botol obat, penyuntik, masker, perban, hingga keperluan yang lebih kompleks seperti tulang dan pembuluh darah sintetik (Babu, et al., 2013, h.5). Polimer PHA juga dapat digunakan sebagai salah satu bahan pembuatan *smart material* yang memiliki sifat *superelasticity* dan *shape memory* (dapat dideformasi dalam suhu dingin, namun bentuknya akan kembali dalam suhu tinggi)



Gambar 12. (dari kiri ke kanan) Pot Tanaman, *mulch films*, dan *plantation trays* dari PLA
Sumber: (Plastice, 2013, h.47)

Menurut *PLASTiCE Consortium*, penelitian-penelitian (*research & development*) mengenai bioplastik yang dapat dilakukan antara lain (Plastice, 2013, h.57):

- Karakterisasi dari sifat-sifat mekanis dan termal bioplastik, serta struktur molekul dan komposisinya
- Modifikasi sifat bioplastik melalui manipulasi fisik maupun kimia

- Optimalisasi kualitas dan kuantitas dari produksi bioplastik pada skala industri
- Pengujian kemampuan bioplastik untuk terdegradasi ataupun terdekomposisi

Simpulan

Penggunaan *bio-degradeable bioplastic* yang berasal dari biomassa dan dapat terdegradasi bisa menjadi solusi untuk menggantikan plastik konvensional yang tidak *sustainable* karena berasal dari minyak bumi yang tidak dapat diperbaharui dan tidak dapat terdegradasi sehingga sampahnya cukup sulit untuk hilang dari lingkungan. Setidaknya terdapat 4 jenis plastik yang memenuhi kriteria sebagai *bio-degradeable bioplastic*, yaitu *starch-based plastic*, *cellulose-based plastic*, PLA (*polylactic acid*), dan PHA (*polyhydroxylalkanoates*). Keempat jenis plastik tersebut memiliki karakteristik, aplikasi, serta kelebihan dan kekurangan yang berbeda-beda. Dengan menggunakan *bio-degradeable bioplastic*, ketergantungan manusia terhadap minyak bumi dapat berkurang dan masalah sampah plastik yang sulit hilang dari lingkungan dapat terpecahkan sehingga kehidupan manusia yang lebih *sustainable* dan ramah lingkungan akan tercipta.

Meskipun begitu, penggunaan *bio-degradeable bioplastic* masih dihadapkan dengan berbagai tantangan, di antaranya adalah biaya produksi yang relatif tinggi, kekuatan mekanis dan durabilitas yang relatif lebih rendah dari plastik konvensional, potensi pencemaran lingkungan karena perubahan fungsi lahan dan penggunaan pupuk serta pestisida yang berlebihan, serta persaingan dengan plastik konvensional yang sudah mengalami pengembangan dan penyempurnaan selama bertahun-tahun. Namun, urgensi dan pemakaian dari *bio-degradeable bioplastic* diprediksi akan cenderung terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologinya dan peningkatan kesadaran akan pentingnya aspek keramahan terhadap lingkungan dan *sustainability*.

Endnotes

¹ Mahasiswa Department of Chemical and Green Process Engineering, Surya University.

² Dosen Department of Chemical and Green Process Engineering, Surya University.

Daftar Pustaka

- Arisa, A. A. 2012. *Preparasi dan karakterisasi bioplastik dari air cucian beras dengan penambahan kitosan*. Unpublished Bachelor's Thesis. Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- Babu, R. P., O'Connor, K. & Seeram, R. 2013. Current progress on bio-based polymers and their future trends. *Progress in Biomaterials*, 2 (8), 1-16.
- BPF. 2008. *Oil consumption*. Diperoleh 31 Oktober 2015 dari BPF (British Plastics Federation), http://www.bpf.co.uk/Press/Oil_Consumption.aspx.
- Brydson, J. A. 1999. *Plastics materials* (7th Ed.). Norfolk: Biddles Ltd, Guildford and King's Lynn.

- Carolina, A. 2010. *Prarancangan pabrik selulosa asetat dari selulosa dan asetat anhidrid dengan proses asetilasi kapasitas 31.500 ton per tahun*. Unpublished Bachelor's Thesis. Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Chen, G. 2010. "Plastics completely synthesized by bacteria: polyhydroxyalkanoates". Dalam: G. Chen, (Ed.), *Plastics from Bacteria* (h. 17-37). Berlin: Springer.
- Clegg, B. 2013. *Cellulose acetate*. Diperoleh 08 Desember 2015 dari Royal Society of Chemistry, <http://www.rsc.org/chemistryworld/2013/07/cellulose-acetate-film-rayon-podcast>.
- Datta, R. & Henry, M. 2006. Review lactic acid: recent advances in products, processes, and technologies - a review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 81 (7), 1119-1129.
- Dawes, E. & Senior, P. 1973. The role and regulation of energy reserve polymers in microorganisms. *Advances in Microbial Physiology*, 10, 135-266.
- Dell, K. 2010. *The promise and pitfalls of bioplastic*. Diperoleh 22 November 2015 dari TIME, <http://content.time.com/time/magazine/article/0,9171,1983894,00.html>.
- Dena, N., Mahmudi & Neena, Z. 2013. *Pengaruh perbandingan selulosa dan asam asetat glasial serta jenis pelarut pada pembuatan membran selulosa asetat dari limbah kertas*, Unpublished Bachelor's thesis. Universitas Negeri Malang, Malang.
- Desiyarni, 2006. *Perancangan proses pembuatan selulosa asetat dari selulosa mikrobial untuk membran ultrafiltrasi*. Unpublished Doctoral's Dissertation. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Doi, Y. & Fukuda, K. 1994. *Bio-degradable plastics and polymers* (1st Ed.). Amsterdam: Elsevier Science.
- Dorgan, J. R., Lehermeier, H. & Mang, M. 2000. Thermal and rheological properties of commercial-grade poly(lactic acid)s. *Journal of Polymers and the Environment*, 8 (1), 1-9.
- European Bioplastics. 2015. *Market*. Diperoleh 15 November 2015 dari European Bioplastics, <http://en.european-bioplastics.org/market>.
- Fernández, D., Rodríguez, E. & Bassas, M. 2005. Agro-industrial oily wastes as substrates for PHA production by the new strain *pseudomonas aeruginosa* NCIB 40045: effect of culture conditions. *Biochemical Engineering Journal*, 26 (2-3), 159-167.
- Freedonia Group. 2013. *World bioplastics market*. Cleveland: Freedonia Group.
- Gaol, M., et al. 2013. Pembuatan selulosa asetat dari α - selulosa tandan kosong kelapa sawit. *Jurnal Teknik Kimia*, 2 (3), 33 - 35.
- Global Acetate Manufacturers Association. 2007. *Environmentally degradable material made from a modified natural polymer (cellulose)*. Brussels: Global Acetate Manufacturers Association.
- Green Plastics. 2010. *History of bioplastics*. Diperoleh 15 November 2015 dari Green Plastics, http://greenplastics.com/wiki/History_of_bioplastics.

- Heradewi. 2007. *Isolasi lignin dari lindi hitam proses pemasakan organosolv serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS)*. Unpublished Bachelor's Thesis. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Iflah, T. 2013. *Application of starch-based plastics (bioplastics) as packaging material for horticultural products (tomato and bell pepper)*. Unpublished Master's Thesis. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- J.Plus, Wilson, S. & H. Dirk. 2011. Degradation of cellulose acetate-based material: a review. *Journal of Polymers and the Environment*, 19 (1), 152-165.
- Jamshidian, M. et al. 2010. Poly-lactic acid : production, applications, nanocomposites, and release studies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9 (5), 552-571.
- Kaeb, H. 2009. *Bioplastics: technology, markets, policies*. Berlin: European Bioplastics.
- Kushner, J. 2011. *Corn starch plastic – the 7 advantages and disadvantages of its use*. Diperoleh 28 November 2015 dari Bionomicfuel.com, <http://www.bionomicfuel.com/corn-starch-plastic-the-advantages-and-disadvantages/>.
- Liu, L. 2006. *Bioplastics in food packaging: innovative technologies for biodegradable packaging*. San Jose: San Jose State University.
- Lorcks, J. 1997. Properties and applications of compostable starch-based plastic material. *Polymer Degradation and Stability*, 59 (1-3), 245-249.
- Madbouly, S. A., Schrader, J. A., Srinivasan, G. & Liu, K. 2013. Biodegradation behavior of bacterial-based polyhydroxylalkanoates (PHA) and DDGS composites. *Green Chemistry*, 16 (4), 1911-1920.
- Marshall, J. 2010. *Bioplastics not so green*. Diperoleh 22 November 2015 dari Discovery News, <http://news.discovery.com/earth/plants/bioplastic-plant-plastic-environment.htm>.
- Mehta, R., Kumar, V., Bhunia, H. & Upadhyay, S. N. 2005. Synthesis of poly(lactic acid): a review. *Polymer Reviews*, 45 (4), 325-349.
- Metha, V., Darshan, M. & Nishith, D. 2014. Can a starch based plastic be an option of environmental friendly plastic?. *Journal of Global Biosciences*, 3 (3), 681-685.
- Misra, M., Park, H., Mohanty, A. & Drzal, L. 2004. *Injection molded 'green' nanocomposite materials from renewable resources*. Detroit: GPEC.
- Mohan, A. M., 2011. *World demand for bioplastics to exceed 1 million tons in 2015*. Diperoleh 15 November 2015 dari Greener Package, http://www.greenerpackage.com/bioplastics/world_demand_bioplastics_exceed_1_million_tons_2015.
- Mohanty, A., A.Wibowo, M.Misra & Drzal, L. 2003. Effect of process engineering on the performance of natural fiber reinforced cellulose acetate biocomposites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35 (3), 363-370.

- Moore, C. & Curley, R. 2009. *Plastic pollution*. Diperoleh 25 Oktober 2015 dari Encyclopedia Britannica, <http://www.britannica.com/science/plastic-pollution>.
- Mostafa, H. M., Sourell, H. & Bockisch, F. J. 2010. The mechanical properties of some bioplastics under different soil types for use as a bio-degradable drip tubes. *CIGR Ejournal*, 12 (1), 1-16.
- Ojumu, T., Yu, J. & Solomon, B. 2004. Production of polyhydroxyalkanoates-a bacterial biodegradable polymer. *African Journal of Biotechnology*, 3 (1), 18-24.
- Pathak, S., Sneha, C. & Mathew, B. B. 2014. Bioplastics: its timeline based scenario & challenges. *Journal of Polymer and Biopolymer Physics Chemistry*, 2 (4), 84-90.
- Piemonte, V., de Falco, M. & Basile, A. 2013. *Sustainable development in chemical engineering: innovative technologies*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Pilla, S. 2011. *Handbook of bioplastics and biocomposites engineering applications*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Plastice, 2013. *Bioplastics - opportunity for the future*. Ljubljana: National Institute of Chemistry Ljubljana.
- PRWEB. 2012. *Global plastics consumption to reach 297.5 million tons by 2015, according to new report by global industry analysts, inc*. Diperoleh 25 Oktober 2015 dari PRWEB, http://www.prweb.com/releases/plastics_bioplastics/engineered_plastics/prweb9194821.htm.
- Putri, A. 2015. *Pengertian polisakarida*. Diperoleh 14 Desember 2015 dari Ilmu Alam, <http://ilmualam.net/pengertian-polisakarida.html>.
- Rao, U., Sridhar, R. & Sehgal, P. K. 2010. Biosynthesis and biocompatibility of poly(3-hydroxybutyrate-co-4-hydroxybutyrate) produced by *Cupriavidus necator* from spent palm oil. *Biochemical Engineering Journal*, 49 (1), 13-20.
- Ren, X. 2003. Biodegradable plastics: a solution or a challenge?. *Journal of Cleaner Production*, 11 (1), 27-40.
- Rogers, T. 2015. *Everything you need to know about polylactic acid (PLA)*. Diperoleh 28 November 2015 dari Creative Mechanisms, <http://www.creativemechanisms.com/blog/learn-about-polylactic-acid-pla-prototypes>.
- Shi, R. et al. 2007. Characterization of citric acid/glycerol co-plasticized thermoplastic starch prepared by melt blending. *Carbohydrate Polymers*, 69 (4), 748-755.
- Sudesh, K., Taguchi, K. & Doi, Y. 2001. Can cyanobacteria be a potential PHA producer?. *RIKEN Review*, 42, 75-76.
- Syamsu, K. & Kuryani, T. 2014. Pembuatan biofilm selulosa asetat dari selulosa mikrobial nata de cassava. *Jurnal Agroindustri Indonesia*, 3 (1), 126-133.

- Thakor, N., Trivedi, U. & KC, P. 2005. Biosynthesis of medium chain length poly (3-hydroxylalkanoates) (mcl-PHAs) by *Comamonas tertosteroni* during cultivation on vegetable oils. *Bioresource Technology*, 96 (17), 1843-1850.
- Tully, A. 2014. *BP's latest estimate says world's oil will last 53.3 years*. Diperoleh 31 Oktober 2015 dari OilPrice.com, <http://oilprice.com/Energy/Energy-General/BPs-Latest-Estimate-Says-Worlds-Oil-Will-Last-53.3-Years.html>.
- UNEP. 2014. *Valuing plastics: the business case for measuring, managing and disclosing plastic use in the consumer goods industry*. Nairobi: United Nations Environment Programme.
- University of Pittsburgh. 2010. *Pitt researchers: plant-based plastics not necessarily greener than oil-based relatives*. Diperoleh 15 November 2015 dari University of Pittsburgh, http://www.news.pitt.edu/news/Landis_polymers_LCA.
- Utami, M. R., L. & Widiarti, N. 2014. Sintesis plastik bio-degradeable dari kulit pisang dengan penambahan kitosan dan plasticizer gliserol. *Indonesian Journal of Chemical Engineering*, 3 (2), 163-167.
- Vert, M. et al. 2012. Terminology for biorelated polymers and applications (IUPAC Recommendations 2012). *Pure Appl. Chemistry*, 377-410.
- Vilpoux, O. & Averous, L. 2004. Starch-based plastics. Dalam: M. P. Cereda & O. Vilpoux (Ed.). *Collection Latin American Starchy Tubers* (h. 521-553). Sao Paolo: Raizes and Cargill Foundation.
- Waryat, 2013. *Rekayasa proses produksi bioplastik berbahan baku pati termoplastik dan polietilen*, Unpublished Doctoral's Dissertation. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Widyaningsih, S. & Radiman, C. L. 2007. Pembuatan selulosa asetat dari pulp kenaf. *Molekul*, 2 (1), 13 - 16.
- Wulan, S. N., Saprianti, E., Widjanarko, S. B. & Kurnaeni, N. 2006. Modifikasi pati sederhana dengan metode fisik, kimia, dan kombinasi fisik-kimia untuk menghasilkan tepung pra-masak tinggi pati resisten yang dibuat dari jagung, kentang, dan ubi kayu. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 7 (1), 1-9.
- Xiao, L., Wang, B., Yang, G. & Gauthier, M., 2012. Poly(lactic acid)-based biomaterials: synthesis, modification and applications. *InTech*, 247-282.
- Zuraida, A., Yusliza, Y., Anuar, H. & Muhaiman, R. M., 2012. The effect of water and citric acid on sago starch bio-plastics. *International Food Research Journal*, 19 (2), 715-719.

This page is intentionally left blank.