

POTENSI PENGEMBANGAN PLASTIK *BIODEGRADABLE* BERBASIS PATI SAGU DAN UBIKAYU DI INDONESIA

The Development Potential of Sago and Cassava Starch-Based Biodegradable Plastic in Indonesia

Elmi Kamsiati, Heny Herawati dan Endang Yuli Purwani

Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian

Jalan Tentara Pelajar No. 12, Bogor 16114

Telp. (0341) 801465; (0341) 801468

E-mail: elmikamsiati@gmail.com; bbpascapanen@litbang.pertanian.go.id

Diterima: 2 Maret 2017; Direvisi: 10 Oktober 2017; Disetujui: 27 Oktober 2017

ABSTRAK

Plastik merupakan bahan pengemas yang banyak digunakan namun berdampak buruk bagi lingkungan karena sulit terdegradasi di alam. Teknologi produksi plastik *biodegradable* atau bioplastik yang dibuat dari bahan alami dan ramah lingkungan sudah mulai dikembangkan. Plastik *biodegradable* berbahan dasar pati relatif lebih mudah diproduksi dan bahan baku mudah diperoleh. Pati ubi kayu dan sago memiliki potensi sebagai bahan baku plastik *biodegradable* ditinjau dari ketersediaan dan karakteristiknya. Selain pati sebagai bahan utama, diperlukan pula *plastisizer* atau bahan pemlastis dan bahan penguat struktur untuk menghasilkan plastik *biodegradable* dengan karakteristik yang baik. Tahapan produksinya meliputi pencampuran, pemanasan, dan pencetakan. Plastik *biodegradable* berbahan dasar pati dapat digunakan sebagai bahan pengemas yang ramah lingkungan dan berpeluang besar dikembangkan.

Kata kunci: Pati, sago, ubi kayu, bioplastik, teknologi produksi

ABSTRACT

Plastic is a packaging materials that are widely used but has an adverse impact on the environment because it is difficult to degrade in nature. Production technology of biodegradable plastics from natural resources that have characteristic environmentally friendly has developed. Starch-based biodegradable plastic is a widely developed type because the production process is simple and the raw materials more readily available. The starch of cassava and sago has potential as a raw material of biodegradable plastic because of the availability and its characteristic. Also, to make starch as the main ingredient, plasticizers and structural strengthening materials are required to produce biodegradable plastic with excellent characteristics. The production stages of biodegradable plastics include mixing, heating, and casting. The starch-based biodegradable plastic that can apply to an environmentally friendly packaging material has an excellent opportunity developed in Indonesia.

Keywords: Starch, sago, cassava, biodegradable plastics, production technology

PENDAHULUAN

Plastik merupakan bahan pengemas yang banyak digunakan dan berkembang luas di seantero negeri. Sebagian besar barang yang dibutuhkan, mulai dari peralatan elektronik, perlengkapan rumah tangga, perlengkapan kantor sampai makanan dan minuman menggunakan plastik sebagai pengemas karena ringan, kuat, mudah dibentuk, dan harganya terjangkau (Mahalik and Nambiar 2010). Tidak hanya di bidang industri, kemasan plastik juga banyak digunakan oleh retail, pedagang tradisional, dan rumah tangga. Menurut Asosiasi Industri Olefin Aromatik dan Plastik Indonesia (INAPLAS), konsumsi plastik di Indonesia pada tahun 2015 mencapai 17 kg/kapita/tahun. Jika jumlah penduduk Indonesia pada semester pertama tahun 2017 sekitar 261 juta jiwa, maka penggunaan plastik secara nasional mencapai 4,44 juta ton.

Penggunaan plastik yang cukup tinggi berdampak negatif terhadap kelestarian lingkungan (Tokiwana *et al.* 2009), karena sulit terdegradasi sehingga terjadi penumpukan sampah plastik yang mencemari lingkungan. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2016), permasalahan sampah plastik di Indonesia sudah meresahkan. Selain Tiongkok, Indonesia adalah negara pembuang sampah plastik terbesar ke laut. Sampah plastik yang dibuang sembarangan menyumbat saluran air dan bahkan menumpuk di pintu-pintu sungai sehingga mengakibatkan banjir. Plastik yang ditimbun di tanah juga sulit terdegradasi. Polimer sintesis yang merupakan bagian utama dari plastik akan terdegradasi dalam waktu puluhan bahkan ratusan tahun. Jika dibakar, plastik akan menghasilkan emisi karbon yang mencemari lingkungan (Gironi and Piemonte 2011).

Para peneliti dan ilmuwan terus berupaya menghasilkan bahan kemasan plastik yang ramah lingkungan. Beberapa penelitian telah menghasilkan teknologi pembuatan plastik dari bahan alami yang dapat terdegradasi dalam waktu singkat yang disebut sebagai

plastik *biodegradable* atau bioplastik. Plastik *biodegradable* terbuat dari bahan polimer alami seperti pati, selulosa, dan lemak. Bahan utama yang sering digunakan dalam pembuatan plastik *biodegradable* adalah pati dan *Poly Lactic Acid* (PLA). (Coniwanti *et al.* 2014; Yuniarti *et al.* 2014; Susanti *et al.* 2015).

Pati merupakan bahan baku yang banyak tersedia di Indonesia. Pati diperoleh dengan cara mengekstrak bahan nabati yang mengandung karbohidrat, seperti sereal dan aneka umbi. Sumber karbohidrat yang banyak mengandung pati di antaranya jagung, sagu, ubi kayu, beras, ubi jalar, sorgum, talas, dan garut. Karakteristik fungsional pati yang unik memungkinkan pati digunakan untuk berbagai keperluan, baik sebagai bahan pangan maupun nonpangan (Koswara 2009).

Pati juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan *biodegradable* plastik (bioplastik). Industri di beberapa negara sudah mengembangkan pati sebagai bahan bioplastik. Jenis pati yang banyak digunakan adalah pati jagung dan pati kentang. Jenis pati dari kedua komoditas ini banyak digunakan oleh industri bioplastik di beberapa negara Eropa dan Australia. Di Thailand, bahan baku yang digunakan untuk bioplastik adalah pati ubi kayu. Pati komoditas pertanian lebih kompetitif dan tersedia cukup melimpah sebagai bahan baku plastik *biodegradable*. Menurut Swamy dan Singh (2010), permintaan bioplastik terbesar adalah yang berbahan dasar pati.

Teknologi pembuatan plastik *biodegradable* berbahan dasar pati sudah mulai dikembangkan di Indonesia sejak beberapa waktu yang lalu. Bahan baku yang diteliti untuk pembuatan plastik *biodegradable* antara lain pati tapioka dengan campuran kitosan dan pemlastis gliserol (Lazuardi dan Cahyaningrum 2013), pati sagu dengan campuran pemlastis gliserol (Yuniarti *et al.* 2014), pati sorgum dan kitosan (Darni dan Utami 2014), pati kulit ubi kayu (Anita *et al.* 2013), dan pati jagung (Coniwanti *et al.* 2014). Namun secara komersial, industri yang memproduksi bioplastik masih terbatas karena permintaan di dalam negeri masih rendah. Industri bioplastik di Indonesia antara lain PT. Inter Aneka Lestari yang memproduksi Enviplast, PT. Harapan Interaksi Swadaya menghasilkan Ecoplast, dan perusahaan Avani Eco memproduksi eco bag, ketiganya menggunakan bahan baku pati ubi kayu.

Di Indonesia, plastik *biodegradable* sebagai bahan pengemas mulai digunakan oleh beberapa industri waralaba jasa boga, sedangkan industri pangan belum banyak menggunakan (Enviplast 2016). Harga plastik *biodegradable* lebih mahal dari plastik konvensional diantaranya karena kapasitas produksinya belum optimal dan teknologi proses belum berkembang luas. Selain itu, belum adanya aturan pembatasan penggunaan plastik konvensional juga membuat bioplastik belum banyak digunakan.

Tulisan ini membahas manfaat plastik *biodegradable* sebagai pengemas, potensi pati sagu dan pati ubi kayu

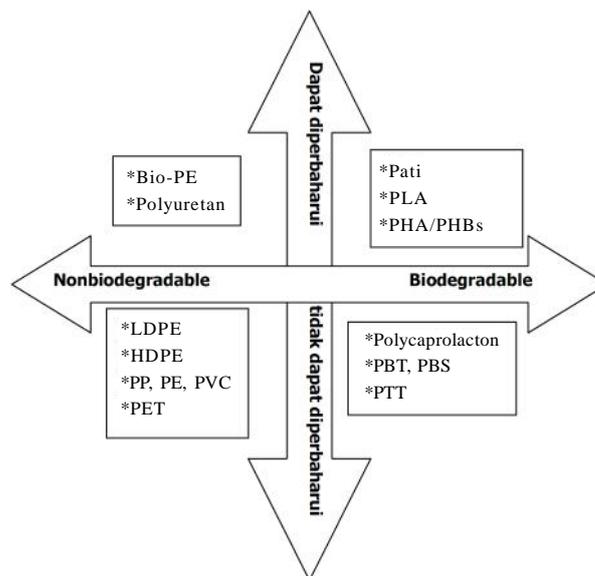
sebagai bahan baku, teknologi dan proses produksi, serta peluang pengembangan bioplastik di Indonesia.

PLASTIK *BIODEGRADABLE* VS PLASTIK KONVENSIONAL

Plastik didefinisikan sebagai bahan sintetik atau semi sintetik yang diproses dalam bentuk polimer termoplastik atau termoset dengan berat molekul yang tinggi dan dibentuk menjadi produk berupa film dan filamen. Polimer plastik tersusun dari monomer melalui reaksi polimerisasi. Sebagian besar plastik terdiri atas 500–20.000 monomer, misalnya polietilen yang dibuat dari etilen. (PlasticEurope 2017; Nkwachukwu *et al.* 2013).

Berdasarkan bahan bakunya, plastik dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu plastik dari bahan yang tidak dapat diperbaharui dan dapat diperbaharui. Dari segi kemudahan terdegradasi oleh alam, plastik dibedakan menjadi dua, yaitu mudah terdegradasi (*biodegradable*) atau bioplastik dan sulit terdegradasi (*non biodegradable*) atau plastik konvensional (Gambar 1).

Plastik *biodegradable* dibuat dari bahan nabati yang merupakan produk pertanian yang dapat diperbaharui. Oleh karena itu, produksi bahan nabati dapat berkelanjutan dan bioplastik dapat terdegradasi lebih cepat karena bersifat ramah lingkungan. Namun harga plastik *biodegradable* lebih mahal daripada plastik konvensional karena teknologinya belum berkembang luas. Keterbatasan bahan baku plastik konvensional berupa minyak bumi dan meningkatnya tuntutan terhadap produk



Gambar 1. Sifat bahan baku plastik konvensional dibandingkan dengan degradabilitas plastik. Bio-PE (Bio-Poli Etilen); PLA (Poli Lactic Acid); PHA (Poli Hidroksi Alkanoat); PHB (Poli Hidroksi Butirat); LDPE (Low Density Poli Etilen); HDPE (High Density Poli Etilen); PP (Poli Propilen); PBT (Poli Butilen Terephthalat); PBS (Poli Butilen Suksinat).

Sumber: Thielen (2014); Swamy and Singh (2010).

Tabel 1. Perbandingan antara plastik konvensional dengan plastik *biodegradable* pada beberapa aspek.

Aspek	Plastik konvensional/non <i>biodegradable</i>	Plastik <i>Biodegradable</i> /Bioplastik
Bahan baku	Sebagian besar dibuat dari bahan yang tidak dapat diperbaharui (minyak bumi)	Dibuat dari bahan yang dapat diperbaharui (bahan nabati)
Teknologi	Sudah mapan	Sudah ada produsen yang mengembangkan. Namun masih banyak yang dalam tahap penelitian.
Sosial	Sudah banyak dikenal dan digunakan masyarakat.	Belum banyak dikenal masyarakat.
Ekonomi	Harga lebih murah	Harga sedikit lebih mahal
Lingkungan	Tidak ramah lingkungan (perlu ratusan tahun untuk dapat terdegradasi oleh alam). menghasilkan emisi karbon yang tinggi	ramah lingkungan (dapat terdegradasi oleh alam dalam waktu yang singkat (sekitar 3-6 bulan).emisi karbon yang lebih rendah

ramah lingkungan menjadi peluang bagi pengembangan plastik *biodegradable*. Tabel 1 menampilkan perbandingan plastik konvensional dan plastik *biodegradable* ditinjau dari aspek ketersediaan bahan baku, teknologi, sosial, ekonomi, dan lingkungan.

Polimer alami seperti makromolekul yang secara alami terdapat pada beberapa tanaman yang dapat digunakan sebagai bahan baku plastik *biodegradable*. Demikian juga molekul yang lebih kecil seperti gula, disakarida, dan asam lemak dari tanaman yang dapat digunakan sebagai bahan dasar plastik *biodegradable*. Semua sumber daya yang dapat diperbaharui dapat digunakan, dimodifikasi, dan diproses menjadi plastik berbahan dasar alami (*biobased* plastik) (Mooney 2009; Lu *et al.* 2009).

Bahan baku yang dapat digunakan untuk pembuatan plastik *biodegradable* adalah pati, selulosa, dan *Poly Lactic Acid* (PLA) (Pulungan *et al.* 2014; Yuniarti *et al.* 2014; Darni dan Utami 2014; Paramawati *et al.* 2007). Pati diperoleh dari tanaman sumber karbohidrat seperti sagu, jagung, ubi kayu, ubi jalar, dan umbi-umbian lainnya. Selulosa dapat diperoleh dari limbah pertanian seperti jerami, tongkol jagung, dan pelepah nenas. PLA merupakan hasil fermentasi bakteri asam laktat terhadap substrat yang mengandung gula. Berbagai jenis bahan baku tersebut masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Menurut Pulungan *et al.* (2014) dan Tsou *et al.* (2014), PLA memiliki sifat mekanis yang bagus, sehingga potensial digunakan sebagai bahan baku bioplastik namun harganya mahal. Kelebihan selulosa antara lain mudah diperoleh, biasanya digunakan sebagai bahan penguat dalam pembuatan plastik *biodegradable*. Menurut Lazuardi dan Cahyaningrum (2013) serta Darni dan Utami (2010), pati tanaman lebih mudah diperoleh dan jumlahnya cukup banyak.

PATI SEBAGAI BAHAN BAKU PLASTIK *BIODEGRADABLE*

Dalam menghasilkan plastik *biodegradable* lebih banyak menggunakan pati tanaman sebagai bahan baku. Pati

merupakan polimer alami, dihasilkan dari pemanfaatan karbon dioksida dan air melalui proses fotosintesis, dapat terdegradasi sempurna dan harganya relatif murah. Secara ekonomi, pati lebih kompetitif dibandingkan dengan minyak bumi karena berasal dari bahan nabati yang dapat diperbaharui. Proses produksi plastik *biodegradable* dari pati lebih sederhana dibandingkan dengan bahan baku lain. Pati dapat diproses menggunakan beberapa metode menjadi plastik *biodegradable*. Jenis pati yang banyak digunakan adalah pati jagung dan pati ubi kayu (Sriroth *et al.* 2000; Lu *et al.* 2009). Plastik *biodegradable* berbahan dasar pati merupakan jenis bioplastik yang paling banyak diproduksi (Swamy and Sigh 2010).

Di Indonesia, pati menjadi pilihan sebagai bahan baku plastik *biodegradable* karena ketersediaannya cukup melimpah. Jenis pati yang dapat digunakan sebagai bahan baku plastik *biodegradable* di antaranya pati ubi kayu, pati sagu, dan pati jagung. Pati dari sumber karbohidrat lain maupun limbah pertanian yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku plastik *biodegradable* di antaranya pati umbi porang, pati biji durian, dan pati dari kulit ubi kayu (Pradipta dan Mawarni 2012; Akbar *et al.* 2013; Anita *et al.* 2013; Lazuardi dan Cahyaningrum 2013; Wicaksono 2013; Yuniarti *et al.* 2014; Conitawati *et al.* 2014; Radhiyatullah *et al.* 2015). Sagu dan ubi kayu merupakan sumber pati yang ketersediaannya yang cukup melimpah di Indonesia.

Tanaman Sagu

Sagu merupakan komoditas penghasil karbohidrat potensial, khususnya pati. Indonesia merupakan negara yang memiliki areal pertanaman sagu terluas di dunia. Areal pertanaman terluas terdapat di Papua dan areal semi budi daya sagu berada di Maluku, Sulawesi, Kalimantan, dan Sumatera (Maherawati *et al.* 2011; Syakir dan Karmawati 2013). Menurut Badan Litbang Kehutanan dalam Syakir dan Karmawati (2013), luas hutan sagu di Indonesia mencapai 1,25 juta ha, sedangkan luas areal semi budi daya 134 ribu ha dan masih terdapat lahan yang

sesuai untuk pengembangan sagu di Sumatera, Papua, Maluku, Sulawesi, dan Kalimantan. Di beberapa daerah, sagu telah dibudidayakan. Data Ditjen Perkebunan (2017) menunjukkan daerah produksi sagu yang cukup besar adalah Riau, Papua, Maluku, Sulawesi Tenggara, dan Kalimantan Selatan (Tabel 2).

Produktivitas tepung sagu beragam, bergantung pada jenisnya. Satu batang sagu unggul dapat menghasilkan 200–400 kg tepung. Sagu asal Sentani, Papua, memiliki kandungan karbohidrat 56–87% dan pati 81–84%. Produktivitas pati sagu kering dapat mencapai 25 t/ha/tahun, lebih tinggi dibanding pati ubi kayu 1,5 t/ha/tahun dan jagung 5,5 t/ha/tahun (Limbongan 2007; Muhidin *et al.* 2012).

Pati sagu dapat dimanfaatkan untuk pangan dan nonpangan. Sebagai bahan pangan, sagu dimanfaatkan sebagai bahan baku mi (Purwani *et al.* 2006, Prayoga *et al.* 2016) dan bahan tambahan fungsional pati resisten (Purwani *et al.* 2012). Selain sebagai bahan pangan, pati sagu juga prospektif dikembangkan sebagai bahan baku industri substrat fermentasi butanol-etanol, plastik *biodegradable*, gula cair, penyedap makanan, dan

bioetanol (Yuniarti *et al.* 2014; Fitriani *et al.* 2010; Muhidin *et al.* 2012).

Pati sagu terdiri atas fraksi amilosa dengan kadar 28,84% dan amilopektin dengan kadar 71,16%. Kadar amilosa dan amilopektin mempengaruhi sifat fungsional pati sagu. Pati sagu berbentuk oval dengan ukuran 7,5–55 μm . Ukuran pati juga berpengaruh terhadap sifat fungsionalnya. Sifat fisikokimia pati sagu dapat dilihat pada Tabel 3.

Kandungan amilosa dan amilopektin berpengaruh pada sifat fisiko kimianya, di antaranya daya serap air, kelarutan, derajat gelatinisasi pati, dan *swelling power*. Semakin tinggi kandungan amilopektin, pati cenderung lebih sedikit menyerap air, lebih basah dan lengket. Sebaliknya, pati dengan kadar amilosa tinggi cenderung lebih banyak menyerap air, lebih kering, dan kurang melekat (Jading *et al.* 2011; Koswara 2009).

Semakin tinggi kandungan amilosa semakin tidak mudah pembentukan gel karena suhu gelatinisasi lebih tinggi. Gelatinisasi adalah proses pembengkakan granula pati karena adanya panas dan air, sehingga granula pati tidak dapat kembali ke bentuk semula. Ukuran granula pati

Tabel 2. Data luas area dan produksi budidaya sagu di daerah sentra produksi.

Provinsi	Luas (Ha)		Produksi (ton/tahun)	
	2015	2016	2015	2016
Riau	83.691	89.611	366.032	377.914
Papua	35.260	38.548	28.298	29.834
Maluku	36.723	40.147	9.683	10.209
Sulawesi Tenggara	4.572	4.963	4.759	6.278
Kalimantan Selatan	6.579	7.511	3.836	4.405

Sumber: Ditjenbun (2017).

Tabel 3. Karakteristik fisikokimia pati sagu asal Papua.

Karakteristik	Pati sagu basah	Pati sagu kering
Kadar air (b/b)	42,51	13,69
Kadar abu (% bk)	0,20	0,20
Kadar lemak (% bk)	0,63	0,76
Kadar protein (% bk)	0,45	0,46
Kadar karbohidrat (% bk)	56,22	84,89
Ukuran granula (μm)	5,0–57,5	7,5–55,0
Kadar amilosa (%)	27,45	28,84
Kadar amilopektin (%)	72,45	71,16
Suhu gelatinisasi ($^{\circ}\text{C}$)	66,0–73,0	65,0–71,5
Daya serap pati terhadap air (%)	11,10	51,34
Swelling power (pati 10%)		
55 $^{\circ}\text{C}$	2,89	3,39
75 $^{\circ}\text{C}$	30,11	35,62
90 $^{\circ}\text{C}$	40,60	42,05
Kelarutan pati ($^{\circ}\text{Brix}$)		
55 $^{\circ}\text{C}$	0,00	0,20
75 $^{\circ}\text{C}$	0,00	0,60
90 $^{\circ}\text{C}$	0,60	0,90

Sumber: Jading *et al.* (2011).

berkaitan dengan suhu gelatinisasi. Pati dengan ukuran granula kecil cenderung memiliki suhu gelatinisasi yang tinggi karena ikatan molekulnya lebih kuat sehingga energi yang diperlukan untuk proses lebih tinggi. (Jading *et al.* 2011; Koswara 2009).

Menurut Westling *et al.* (1997) dan Thuwall *et al.* (2006), amilosa dan amilopektin menghasilkan bioplastik dengan karakteristik yang berbeda. Amilosa yang tinggi cenderung membentuk kristal yang menghasilkan sifat mekanis yang lebih kuat dibanding amilopektin yang berbentuk amorf. Namun penambahan *plastisizer* dan proses pada kelembaban tinggi meningkatkan kristalinitas bioplastik dengan bahan baku pati beramilopektin tinggi dan meningkatkan sifat mekanisnya. Penambahan *plastisizer* tidak mempengaruhi kristalinitas pati beramilosa tinggi.

Ubi Kayu

Budi daya yang relatif mudah membuat komoditas ini banyak diusahakan oleh petani. Menurut BPS (2016), produksi ubi kayu nasional pada tahun 2015 mencapai 22,9 juta ton. Sentra produksi ubi kayu di Indonesia adalah Lampung, Jawa Tengah, Jawa Timur, Jawa Barat, dan Sumatera Utara. Produksi ubi kayu dalam beberapa tahun terakhir di sentra produksi dapat dilihat pada Tabel 4.

Ubi kayu mengandung karbohidrat cukup tinggi, berkisar antara 34,7–37,9%. Sebagai bahan industri ubi kayu umumnya diproses menjadi tapioka. Tapioka

merupakan pati yang diambil dari ubikayu. Tapioka dapat dimanfaatkan untuk bahan pangan maupun industri non pangan. Sebagai bahan pangan, tapioka setelah melalui proses modifikasi dapat digunakan sebagai *food ingredient* (Herawati 2008; Herawati *et al.* 2010, Herawati 2012). Tapioka juga dapat digunakan sebagai bahan baku plastik *biodegradable*. Selain tapioka, limbah kulit ubi kayu dapat juga dimanfaatkan sebagai bahan baku plastik *biodegradable*. Rendemen tapioka ubi kayu berkisar antara 15–25%.

Tapioka sering digunakan sebagai pengganti tepung sagu karena sifat keduanya yang hampir sama. Tapioka juga digunakan sebagai pengental makanan karena memiliki sifat kental dan bening ketika dipanaskan. Sifat kimia dan fisik tapioka dapat dilihat pada Tabel 5.

Komponen utama penyusun tapioka adalah pati dengan kandungan amilopektin sedikit lebih tinggi daripada amilosa. Sebagaimana dijelaskan sebelumnya, kandungan amilosa dan amilopektin mempengaruhi kristalinitas dan kekuatan mekanis bioplastik yang dihasilkan. Pati dengan kandungan amilopektin tinggi dengan penambahan *plasticizer* dapat meningkatkan kekuatan mekanisnya.

TEKNOLOGI PRODUKSI PLASTIK BIODEGRADABLE

Pati alami yang digunakan sebagai bahan baku plastik *biodegradable* memiliki stabilitas termal yang rendah dan

Tabel 4. Data produksi ubikayu di sentra produksi ubikayu.

Provinsi	Produksi (ton/tahun)					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Lampung	8,637,594	9,193,676	8,387,351	8,329,201	8,034,016	8,038,963
Jawa Tengah	3,876,242	3,501,458	3,848,462	4,089,635	3,977,810	3,758,552
Jawa Timur	3,667,058	4,032,081	4,246,028	3,601,074	3,635,454	3,458,614
Jawa Barat	2,014,402	2,058,785	2,131,123	2,138,532	2,250,024	2,020,214
Sumatera Utara	905,571	1,091,711	1,171,520	1,518,221	1,383,346	1,495,169

Sumber: BPS (2016).

Tabel 5. Sifat kimia dan fisik tapioka.

Sifat kimia	Kadar	Sifat fisik	Kadar
Air (% bb)	12–14	Kristalinitas (%)	25,96–27,60
Abu (% bk)	0,11–0,19	Kekerasan (g)	196,43–227,74
Lemak (% bk)	0,33–0,76	Kepaduan	0,66–0,69
Protein (% bk)	0,10–0,15	Kelengketan (g.s)	19,66–66,73
Pati (% bk)	80,16–83,55	Elastisitas	0,91–0,97
Amilosa (% bk)	30,88–33,13	Kapasitas pembengkakan (g/g bk)	10,12–15,01
Amilopektin (% bk)	48,85–50,42	Solubilitas (%)	4,89–13,15

Sumber: Syamsir *et al.* (2011).

memerlukan modifikasi kimia untuk meningkatkan sifat mekanis. Oleh karena itu, dalam pembuatan bioplastik dengan bahan dasar pati memerlukan tambahan *plasticizer* (bahan pemlastis) untuk meningkatkan sifat mekanis. Bahan tambahan lain yang banyak digunakan adalah kitosan, gelatin, dan selulosa yang berfungsi memperkuat sifat mekanis. Modifikasi pati juga dapat dilakukan untuk mengubah sifat mekanis dari pati alami. Jenis bahan yang berbeda akan menghasilkan plastik *biodegradable* dengan karakteristik yang berbeda (Coniwanti *et al.* 2014; Yuliasih dan Sunarti *et al.* 2014; Radhiyatullah *et al.* 2015).

Plasticizer

Plasticizer berfungsi meningkatkan elastisitas polimer plastik *biodegradable*. Anita *et al.* (2013) menyatakan *plasticizer* merupakan bahan organik dengan berat molekul rendah yang dapat menurunkan kekakuan dan meningkatkan fleksibilitas polimer. Semakin banyak *plasticizer* yang digunakan semakin meningkatkan fleksibilitas polimer. Namun, menurut Kumoro dan Purbasari (2014), penambahan *plasticizer* terlalu banyak menyebabkan interaksi antara *plasticizer* dengan molekul pati yang dapat menurunkan mobilitas molekuler. Hal senada juga dinyatakan Saputro *et al.* (2015) bahwa penambahan bahan pemlastis yang terlalu banyak akan menyebabkan plastik *biodegradable* bersifat *soft and weak*.

Bahan yang biasa digunakan sebagai *plasticizer* adalah gliserol, gliserin, dan sorbitol. Kumoro dan Purbasari (2014) menyatakan kelebihan gliserol sebagai *plasticizer* akan memberikan fleksibilitas pada struktur pati sehingga bisa dibentuk. Penambahan gliserol akan meningkatkan elastisitas polimer yang dihasilkan. Demikian juga menurut Darni dan Utami (2010), sorbitol yang ditambahkan pada pembuatan bioplastik meningkatkan elastisitasnya. Hidayati *et al.* (2015) menyatakan penambahan *plasticizer* akan meningkatkan fleksibilitas dan mengurangi kerapuhan dari *biodegradable* film. Selain itu, asam laurat ada juga digunakan sebagai *plasticizer* (Wafiroh *et al.* 2010).

Kitosan

Kitosan biasanya digunakan sebagai bahan campuran pati dalam pembuatan plastik *biodegradable* dengan tujuan meningkatkan sifat mekanik bioplastik yang dihasilkan. Kitosan merupakan biopolimer yang diperoleh dari limbah produk *crustacea*. (Lazuardi dan Cahyaningrum 2013).

Menurut Darni dan Utami (2010), kelemahan bioplastik berbahan baku pati tidak tahan air (hidrofilik). Penambahan bahan yang bersifat hidrofobik seperti

selulosa, kitosan, dan protein dapat dilakukan untuk memperbaiki kelemahan ini. Setiani *et al.* (2013) menyatakan penambahan kitosan bertujuan meningkatkan sifat mekanik pati.

Proses Produksi

Ada tiga cara efektif dalam menggunakan pati sebagai bahan dasar pembuatan plastik *biodegradable*. Pertama, pati digunakan sebagai bahan pengisi plastik berbasis minyak bumi, jumlahnya relatif sedikit, berkisar antara 6–15% dan hanya patinya yang bersifat *biodegradable*. Kedua, pati dicampur dengan polimer *biodegradable* seperti PLA. Jumlah pati yang digunakan mencapai 85%. Ketiga, membuat pati termoplastik. Dengan adanya *plasticizer* (air, gliserin, dan sorbitol), temperatur tinggi (90-160°C), dan *shearing* dapat melelehkan pati dan kemudian dialirkan seperti termoplastik (Sriroth *et al.* 2000; Mooney 2009; Cornelia *et al.* 2013; Coniwanti *et al.* 2014).

Tahapan pembuatan plastik *biodegradable* berbahan dasar pati adalah mengintegrasikan teknik pencampuran, pemanasan, dan pencetakan. Plastik *biodegradable* yang dihasilkan berupa lembaran film (Coniwanti *et al.* 2014; Radhiyatullah *et al.* 2015; Lazuardi dan Cahyaningrum 2013). Beberapa hasil penelitian pembuatan bioplastik dengan bahan dasar pati dapat dilihat pada Tabel. 6.

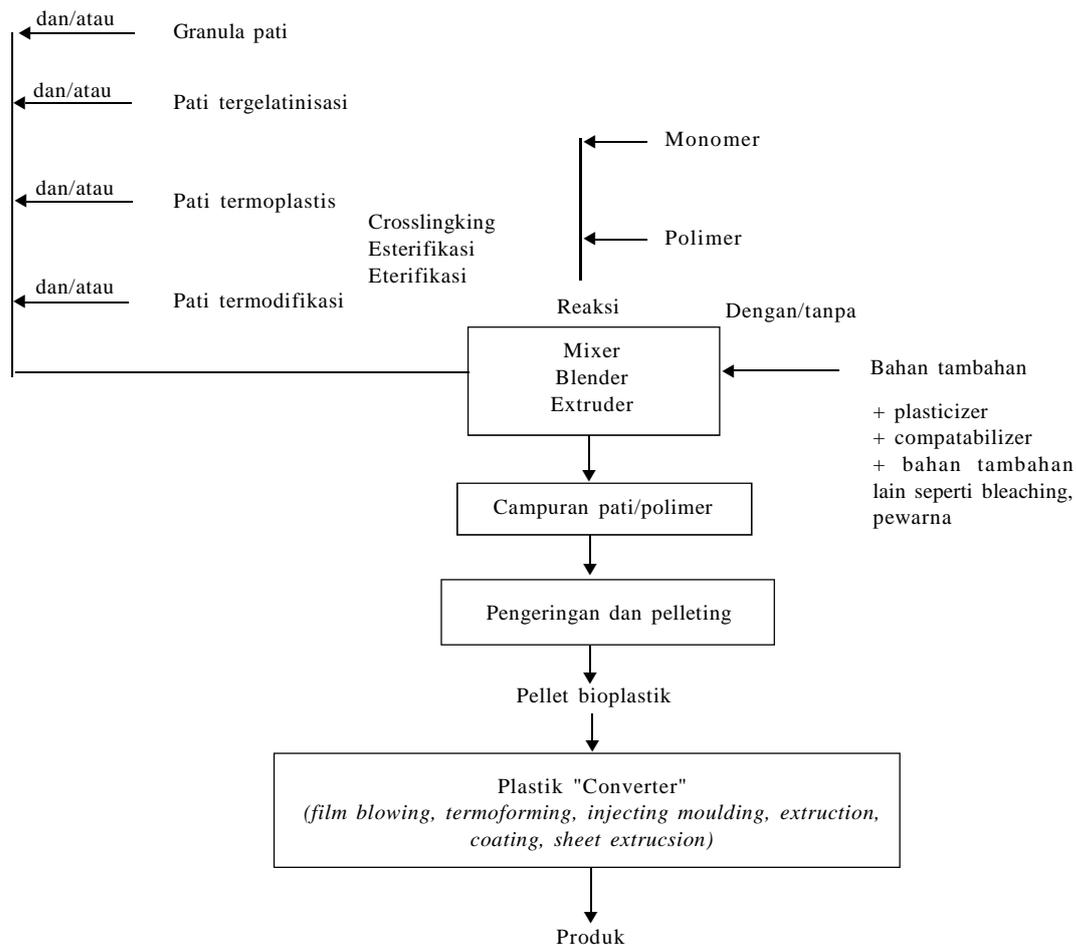
Pembuatan plastik *biodegradable* dengan teknik *blending* cukup sederhana. Namun implementasi teknologi produksi dalam skala lebih besar belum banyak dilaporkan. Di beberapa negara, teknologi produksi plastik *biodegradable* dalam skala besar tidak hanya menghasilkan lembaran film tapi juga dalam bentuk lainnya.

Plastik *biodegradable* dengan berbagai bentuk dapat dibuat dari pati dengan bahan tambahan. Campuran pati alami, pati tergelatinisasi, pati termoplastis, dan pati termodifikasi, polimer atau monomer (asam laktat, hidroksi alkanoat) dapat ditambah dengan *plasticizer*, *bleaching* maupun pewarna dilakukan melalui proses ekstrusi menggunakan ekstruder pada suhu 100–160°C. Hasil ekstrusi setelah melalui proses pengeringan dan pelleting menghasilkan pellet plastik *biodegradable* (Gambar 2).

Pellet atau biji bioplastik selanjutnya dapat diproses menjadi berbagai bentuk plastik menggunakan plastik konverter berupa *film blowing* untuk menghasilkan kantong plastik. Penggunaan *thermoforming* dan *injection moulding* akan menghasilkan produk seperti keyboard dan pesawat telepon. *Blow moulding* digunakan untuk menghasilkan produk berupa botol plastik, dan *extrusion coating* menghasilkan film laminasi untuk kemasan makanan ringan, *retort pouch*.

Tabel 6. Hasil-hasil penelitian dalam pembuatan plastik *biodegradable* dari pati.

Bahan baku	Pemlastis	Bahan tambahan	Sumber
Pati ubikayu: kitosan	Gliserol	Asam asetat glasial,	Lazuardi dan Cahyaningrum 2013
Pati sagu	Gliserol.	Asam asetat	Yuniarti <i>et al.</i> 2014
Pati sagu + kitosan	Gelatin		Pulungan <i>et al.</i> 2015
Pati sorgum + kitosan	Sorbitol		Darni dan Utami 2010
Tapioka + selulosa serat bambu	Gliserin		Susanti <i>et al.</i> 2015
Tepung nasi aking + tapioka	Ggliserol		Kumoro dan Purbasari, 2014
Pati kulit singkong	Gliserol		Anita <i>et al.</i> 2013
Pati tapioka + nano serat selulosa			Wicaksono <i>et al.</i> 2013



Gambar 2. Tahapan proses produksi plastik *biodegradable* (Sriroth 2000; Patel 2005).

Peluang dan tantangan Pengembangan Plastik *biodegradable*

Plastik *biodegradable*, sama halnya dengan plastik konvensional, dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Sifatnya yang ringan dan *fleksibel* dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, tidak hanya sebagai bahan pengemas, bergantung pada karakteristik

plastik *biodegradable* itu sendiri. Plastik *biodegradable* dengan bahan dasar pati umumnya memiliki karakteristik seperti plastik dengan bahan dasar Low Density Polietilen (LDPE), HDPE (High Density Polietilen), dan Polypropilen (PP). Sifat mekanik plastik *biodegradable* dari beberapa bahan baku dibandingkan dengan LDPE, HDPE dan PP dapat dilihat pada Tabel 7.

Jenis plastik *biodegradable* dapat digunakan sebagai kantong belanja dan kantong buah dan sayur

Tabel 7. Sifat mekanis plastik *Biodegradable* dari berbagai bahan baku dibandingkan dengan plastik LDPE, HDPE, dan PP.

Bahan baku	Kuat tarik/tensile strength (MPa)	Elastisitas (modulus young) (MPa)	Sumber
Pati ubi kayu: kitosan (2:1), gliserol 20%.	-	4,81	Lazuardi dan Cahyaningrum (2013)
Pati sagu, gliserol 6,1%.	3,72	-	Yuniarti <i>et al.</i> (2014)
Pati sagu + kitosan 2%, gelatin 1,5%.	9,75	-	Pulungan <i>et al.</i> (2015)
Tapioka + serat bamboo, gliserin.	0,068	960	Susanti <i>et al.</i> (2015)
Tepung nasi aking: tapioka (30:70), gliserol 15%.	20,65	1138	Kumoro dan Purbasari (2014)
Pati kulit ubi kayu, gliserol.	0,021	-	Anita <i>et al.</i> (2013)
Pati tapioka + nano dan selulosa dari ampas tapioka.	22,41	-	Wicaksono <i>et al.</i> (2013)
LDPE	12,4–15,2	166	Darni dan Utami (2010)
PP	24,7–302	1430	Darni <i>et al.</i> (2014)
HDPE	31,72	800	Darni dan Utami (2010)

yang juga memiliki fungsi sekunder sebagai kantung sampah yang bersifat *compostable*. Selain itu, jenis plastik *biodegradable* juga dapat dibuat menjadi sarung tangan, jas hujan, dan apron. Menurut Iflah *et al.* (2012), plastik *biodegradable* dapat digunakan sebagai bahan pengemas paprika, tomat, dan meningkatkan kesegaran buah dibanding menggunakan kantong PE. Plastik *biodegradable* paling banyak digunakan sebagai pengemas (Swamy and Singh 2010; Platt 2005).

Peluang pengembangan plastik *biodegradable* masih terbuka seiring dengan semakin tingginya tuntutan terhadap upaya pelestarian lingkungan. Bahan baku plastik *biodegradable* yang berasal dari bahan nabati juga memiliki peluang keberlanjutan dibandingkan dengan plastik konvensional yang dihasilkan dari minyak bumi yang semakin berkurang.

Plastik *biodegradable* menjadi salah satu alternatif mengurangi dan mensubstitusi penggunaan plastik konvensional. Bahan baku plastik *biodegradable* berupa pati mudah diperoleh di Indonesia. Kelebihan bioplastik berbahan dasar pati bersifat *compostable* tanpa memerlukan ruang pengomposan bersama. Penelitian di Indonesia sudah cukup banyak menggali potensi bahan baku pati dalam pembuatan plastik *biodegradable*, demikian juga peluang penggunaan limbah pertanian. Namun belum banyak penelitian yang melaporkan *scale up* produksi plastik *biodegradable* secara komersial.

Di Indonesia sudah ada industri yang memproduksi plastik *biodegradable* berbasis pati ubi kayu (tapioka), yaitu Enviplast yang memproduksi kantung plastik, apron, dan sarung tangan. Avani Eco memproduksi kantung plastik dan jas hujan dari pati ubi kayu. Namun justru produk ini lebih banyak diekspor. Menurut SWA (2014), harga plastik *biodegradable* lebih mahal 2–2,5 kali harga plastik konvensional. Harga kantong plastik produk Avani Eco, Rp 200–300,- per lembar lebih mahal daripada kantong plastik konvensional. Hal ini disebabkan antara lain oleh kapasitas produksi yang belum optimal. Menurut

Platt (2006), harga plastik *biodegradable* berbahan dasar pati turun dengan meningkatnya efisiensi proses produksi dan ditemukannya bahan baku dengan harga yang lebih murah. Pada tahun 2003, rata-rata harga bioplastik berbahan dasar pati berkisar antara 3,0–5,0 Euro/kg, kemudian turun menjadi 1,5–3,5 Euro atau rata-rata 1,75 Euro/kg.

Dari sisi bahan baku, produsen bioplastik di Indonesia memanfaatkan pati ubi kayu yang banyak tersedia. Produk utama yang dihasilkan adalah kantung plastik yang volume penggunaannya cukup besar. Dari sisi teknologi, produksi plastik *biodegradable* dari pati lebih sederhana dibandingkan dengan jenis plastik *biodegradable* lain (misalnya PLA, perlu proses fermentasi). Dari segi teknologi, produksi plastik *biodegradable* baru dapat dikembangkan oleh industri skala menengah dan besar.

Menurut Bastioli (2003) dalam Patel (2005), pati bukan penentu utama harga plastik *biodegradable*. Biaya utama yang menentukan adalah komponen modifikasi pati dan proses yang masih memungkinkan untuk diefisienkan. Pengembangan plastik *biodegradable* dapat dimulai dari pengembangan teknologi proses dan formulasi bahan baku untuk menghasilkan produk dengan harga yang lebih bersaing. Pengkajian kelayakan ekonomi dan sosial pengembangan bioplastik diperlukan, termasuk kebijakan penggunaan plastik *biodegradable* untuk mempercepat pengembangan industri bioplastik. Dalam hal ini, peran berbagai pihak perlu disinergikan dalam pengembangan plastik *biodegradable*.

KESIMPULAN

Plastik *biodegradable* ramah lingkungan telah dikembangkan sebagai substitusi penggunaan plastik konvensional. Plastik *biodegradable* dapat diproduksi dari bahan dasar pati yang banyak tersedia di Indonesia,

di antaranya pati sago dan pati ubi kayu. Teknologi produksi plastik *biodegradable* relatif sederhana dan produk yang dihasilkan memiliki karakteristik yang menyerupai jenis kemasan plastik yang banyak digunakan, seperti LPDE, HDPE, dan PP.

Penelitian untuk memproduksi plastik *biodegradable* berbasis pati telah banyak dilakukan di Indonesia, namun kebanyakan dalam skala laboratorium. Teknologi produksi *biodegradable* plastik dalam skala yang lebih besar masih perlu dikembangkan untuk menghasilkan produk yang secara ekonomi menguntungkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, F. A. Zulisma, H. Harahap., 2013. Pengaruh waktu simpan film plastik biodegradasi dari pati kulit singkong terhadap sifat mekanikalnya. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 2(2): 11–15.
- Anita, Z., F. Akbar, H. Harahap., 2013. Pengaruh penambahan gliserol terhadap sifat mekanik film plastik biodegradasi dari pati kulit singkong. *Jurnal Teknik Kimia USU* 2(2): 37–41.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2016. Produksi Ubi Kayu Menurut Provinsi (ton), 1993–2015. <https://www.bps.go.id/dynamic/table/2015/09/09/880/produksi-ubi-kayu-menurut-provinsi-ton-1993-2015.html> [28 September 2017].
- Coniwanti, P., L. Laila, M.R. Alfira., 2014. Pembuatan film plastik biodegradabel dari pati jagung dengan penambahan kitosan dan plastisizer gliserol. *Jurnal Teknik Kimia* 20(4): 22–30.
- Cornelia, M., R. Syarief, H. Effendi, dan B. Nurtama. 2013. Pemanfaatan pati biji durian (*Durio zibethinus* Murr.) dan pati Sagu (*Metroxylon* sp.) dalam pembuatan bioplastik. *J. Kimia Kemasan* 35(1): 20–29.
- Darni, Y., dan H. Utami. 2010. Studi pembuatan dan karakteristik sifat mekanik dan hidrofobisitas bioplastik dari pati sorgum. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan* 7(4): 88–93.
- Darni, Y., T.M. Sitorus, M. Hanif. 2014. Produksi bioplastik dari sorgum dan selulosa secara termoplastik. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan* 10(2): 55–62.
- Dijten Perkebunan. 2017. Statistik Perkebunan Indonesia 2015-2017: Sagu. Sekretariat Jenderal Ditjen Perkebunan Kementerian Pertanian. <http://ditjenbun.pertanian.go.id/tinymce/gambar/file/statistik/2017/Sagu-2015-2017.pdf>. [27 Juli 2017]
- Fitriani, S., E. Sribudiani, Rahmayuni. 2010. Karakteristik mutu pati sago dari provinsi Riau dengan perlakuan Heat Moisture Treatment (HMT). *Sagu*. 9(1): 38–44.
- Gironi, F and V. Piemonte. 2011. Bioplastics and Petroleum-based Plastics: Strengths and Weaknesses. *Energy Source, Part A* 33: 1949–1959.
- Herawati, H. 2008. Peluang pengembangan alternatif produk “modified starch” dari tapioka. Naskah disampaikan pada Seminar Nasional Pengembangan Kacang-Kacangan dan Umbi-Umbian, 7 Agustus 2008, Surakarta.
- Herawati, H., I.N. Widiasta, Kendriyanto. 2010. Modifikasi asam suksinat-gelombang pendek untuk produksi tapioka suksinat. *AGRITECH*. 30(4): 223–230.
- Herawati, H. 2012. Teknologi proses produksi food ingredient dari tapioka termodifikasi. *Jurnal Litbang Pertanian*. 31(2): 68–76.
- Hidayati, S., A.S., Zuidar, A. Ardiani., 2015. Aplikasi sorbitol pada produksi *biodegradable* film dari nata de cassava. *Reaktor* 15 (3): 196–204.
- Iflah, T. Sutrisno, dan T.C. Sunarti. 2012. Pengaruh kemasan starch-based plastics (Bioplastik) terhadap mutu tomat dan paprika selama penyimpanan dingin. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 22(3): 189–197.
- Jading, A., E. Tethool, P. Payung, dan S. Gultom. 2011. Karakteristik fisikokimia pati sago hasil pengeringan secara fluidisasi menggunakan alat pengering cross flow fluidized bed bertena sarya dan biomassa. *Reaktor*. 13(3): 155–164.
- Koswara, S. 2009. Teknologi Modifikasi Pati. E-book Pangan.com. <http://tekpan.unimus.ac.id/wp-content/uploads/2013/07/TEKNOLOGI-MODIFIKASI-PATI.pdf>. [26 Februari 2016]
- Kumoro, A.C., dan A. Purbasari. 2014. Sifat mekanik dan morfologi plastik *biodegradable* dari limbah tepung nasi aking dan tepung tapioka menggunakan gliserol sebagai plasticizer. *Teknik*. 35(1): 8–16.
- Lazuardi., G.P. dan S.E. Cahyaningrum., 2013. Pembuatan dan karakterisasi bioplastik berbahan dasar kitosan dan pati singkong dengan plasticizer gliserol. *Unesa Journal of Chemistry*. 2 (3).
- Limbongan, J. 2007. Morfologi beberapa jenis sago potensial di Papua. *Jurnal Litbang Pertanian*. 26(1): 16–24.
- Lu, D.R., C.M. Xiao, and S.J. Xu. 2009. Starch-based completely *biodegradable* polymer materials. *eXPRESS.Polymer Letters*. 3(6): 366–375
- Mahalik, N.P., and A.N. Nambiar. 2010. Trends in food packaging and manufacturing systems and technology. *Trends in food science & technology*. 21: 117–128.
- Maherawati, R.B Lestari, dan Haryadi. 2011. Karakterisasi pati dari batang sago Kalimantan Barat pada tahap pertumbuhan yang berbeda. *AGRITECH*. 13(1): 9–13.
- Mooney, B.P. 2009. The second green revolution? production of plant-based *biodegradable* plastics. *Biochem. J*. 418: 219–232.
- Prayoga M, MHB Djoefrie, E.Y., Purwani, R.K., Dewi. 2016. Karakterisasi mi berbasis pati sago (*Metroxylon spp.*) asal Sorong Selatan (characterization of noodle based on sago starch (*Metroxylon spp.*) from South Sorong district). *Jurnal Metroxylon Indonesia*. 1(1): 43–49.
- Muhidin, S. Leomo, M.J. Arma, dan Sumarlin. 2012. Pengaruh perbedaan karakteristik iklim terhadap produksi sago. *Jurnal Agroteknos* 2(3): 190–194.
- Nkwachukwu, O.I. C.H. Chima, A.O. Ikenna and L.Albert. 2013. Focus on potential environmental issues on plastic world towards a sustainable plastic recycling in developing countries. *Intr. J of Industrial Chemistry*. 4(34): 1–13.
- Paramawati, R., C.H. Wijaya, S.S. Achmadi, dan Suliantari. 2007. Evaluasi ciri mekanis dan fisik bioplastik dari campuran poli (asam laktat) dengan polisakarida. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 12(2): 75–83.
- Patel, M., F.M. Weidemann., J. Schleich, B. Husing., G. Angerer. 2005. 2005. Tehno-economic Feasibility of Large-Scale Production of Bio-Based Polymers in Europe. European Commission.Joint Reaearch Centre (DG JRC). Institute for Prospective Technological Studies. p. 37–49.
- Praipta, IMD., L.J. Mawarni. 2012. Pembuatan dan karakterisasi polimer ramah lingkungan berbahan dasar Glukomanan Umbi Porang. *JURNAL SAINS DAN SENI POMITS* 1(1): 1–6.
- Platt, D.K. *Biodegradable Polymers: Market Report*. Smithers Rapra Limited. UK. p. 16–30.
- PlasticEurope. 2017. What is Plastic <http://www.plasticseurope.org/what-is-plastic.aspx>. [5 Juli 2017].
- Pulungan, M.H., V.S. Qushayyi, dan Wignyanto. 2015. Pembuatan plastik *biodegradable* pati sago (kajian penambahan kitosan dan gelatin). Prosiding Seminar Agroindustri dan Lokakarya Nasional FKPT-TPI Program Studi TIP-UTM, 2-3 September 2015.
- Purwani, E.Y., Widaningrum, R. Thahir and Muslich. 2006. Effect of heat moisture treatment of sago starch on its’s noodle quality. *Indonesian Journal of Agricultural Science*. 7(1): 8–14.
- Purwani, E.Y., T. Purwadaria., and M.T. Suhartono. 2012. Fermentation RS3 derived from sago and rice starch with

- Clostridium butyricum* BCC B2571 or *Eubacterium rectale* DSM 7629. *Anaerob.* 18(1): 55–61.
- Radhiyattullah, A., N. Indriani, dan M.H.S. Ginting. 2015. Pengaruh berat pati dan volume plasticizer gliserol terhadap karakteristik film bioplastik dari pati kentang. *Jurnal Teknik Kimia USU.* 4(3): 35–39.
- Saputra, A., M. Lutfi, dan E. Masruroh. 2015. Studi pembuatan dan karakteristik sifat mekanik plastik *biodegradable* berbahan dasar ubi suweg (*Amorphophallus campanulatus*). *J. Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem.* 3(1): 1–6.
- Setiani, W., T. Sudiarti, dan L. Rahmidar. 2013. Preparasi dan karakterisasi edible film dari poliblend pati sukun-kitosan. *Valensi.* 3(2): 100–109.
- Sriroth, K., R. Chollakup, K. Piyachomkwan, and C.G. Oates. 2000. *Biodegradable* Plastics From Cassava Starch in Thailand. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/asia/proceedings_workshop_00/538.pdf. [13 April 2016]
- Susanti, Jasruddin, dan Subaer. 2015. Sintesis komposit bioplastik berbahan dasar tepung tapioka dengan penguat serat bambu. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika.* 11(2): 179–184.
- SWA. 2014. Enviplast, Inovasi Kantong Ramah Lingkungan. <http://swa.co.id/swa/trends/marketing/enviplast-inovasi-kantong-ramah-lingkungan>. [7 Oktober 2016].
- Swamy, J.N. and B. Singh. 2010. Bioplastics and global sustainability. *Plastics Research Online.* Society of Plastics Engineers. 10.1002/spepro.003219.
- Syakir, M., dan E. Karmawati. 2013. Potensi tanaman sagu (*Metroxylon spp.*) sebagai bahan baku bioenergi. *Perspektif* 12(2): 57–64.
- Syamsir, E., P. Hariyadi, D. Fardias, N. Andarwulan, dan F. Kusnandar. 2011. Karakterisasi tapioka dari lima varietas ubikayu (*Manihot utilisima Crantz*) asal Lampung. *J Agrotek.* 5(1): 93–105.
- Thielen, M. 2014. Bioplastics: Plants and Crops Raw Materials Products. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) Agency for Renewable Resources. https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/b/r/brosch.biokunststoffe-web-v01_1.pdf. [27 Juli 2017]
- Thuwall, M., A. Boldizar, and M. Rigdahl. 2006. Extrusion processing of high amylose potato starch materials. *Carbohydrate Polymers.* 65: 441–446.
- Tokiwa, Y., B.P. Calabria, C.U. Ugwu, and S. Aiba. 2009. Biodegradability of plastics. *Int. J. Mol. Sci.* 10: 3722–3742.
- Wafiroh, S. T. Adiarto, dan E.T. Agustin. 2010. Pembuatan dan karakterisasi edible film dari komposit kitosan-pati garut (*Maranta Arundinaceae* L) dengan pemlastis asam laurat. *J. Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.* 13(1): 9–16.
- Westling, A.R., M. Stading, A.M. Hermanson, and P. Gatenholm. 1998. Structure, mechanical and barrier properties of amylose and amylopectin film. *Carbohydrate Polymers* 36: 217–224.
- Wicaksono, R., K. Syamsu, I. Yuliasih, dan M. Masir. 2013. Karakteristik nanoserat selulosa dari ampas tapioka dan aplikasinya sebagai penguat film tapioka. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 23(1): 38–45.
- Yuliasih, I dan T.C. Sunarti. 2014. Pati sagu termodifikasi sebagai bahan starch-based plastics. *Prosiding Seminar Kulit, Karet dan Plastik ke-3, 29 Oktober 2014.* Yogyakarta.
- Yuniarti, L.I., G.S. Hutomo, dan A. Rahim. 2014. Sintesis dan karakterisasi bioplastik berbasis pati sagu (*Metroxylon* sp). *e-J. Agrotekbis* 2(1): 38–46.