

PEMANFAATAN PATI TERMOPLASTIK SEBAGAI BAHAN BAKU PLASTIK KEMASAN RAMAH LINGKUNGAN

Waryat¹, Muhammad Romli², Ani Suryani², Indah Yuliasih², S. Johan A. Nasiri³

¹Peneliti pada Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Jakarta,
Jln. Raya Ragunan No. 30 Pasar Minggu-Jakarta Selatan

²Staf Pengajar Teknologi Industri Pertanian, Fak. Teknologi Pertanian, IPB, Bogor

³Perekayasa pada Sentra Teknologi Polimer-BPPT, Serpong

Email : waryat21@yahoo.com

ABSTRAK

Plastik sebagai kemasan suatu produk sudah banyak dipakai dan digunakan dalam kurun waktu lama. Namun, limbah plastik tersebut dapat menimbulkan pencemaran lingkungan dikarenakan plastik sulit untuk terdegradasi oleh mikroorganisme. Usaha untuk mengurangi ketergantungan terhadap plastik salah satunya pada penggunaan plastik ramah lingkungan/plastik biodegradabel dari bahan baku yang dapat diperbarui dengan metode pencampuran / *blending*. Permasalahan yang dihadapi dalam pembuatan plastik biodegradabel berbahan baku campuran antara bahan alami dan sintesis adalah tidak kompatibel antara kedua bahan tersebut karena bahan alami bersifat hidrofilik/polar dan bahan sintesis bersifat hidrofobik/non polar. Untuk meningkatkan kompatibilitas antara kedua campuran itu perlu ditambahkan bahan seperti *compatibilizer*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik mekanik dan nilai tambah plastik biodegradabel berbahan baku campuran pati termoplastik-HDPE. Penelitian ini dibagi menjadi dua tahap yaitu pembuatan pati termoplastik dan pembuatan plastik biodegradabel. Karakteristik kekuatan tarik, perpanjangan putus dan ketahanan bentur plastik biodegradabel berbahan baku pati termoplastik-HDPE cenderung menurun dengan semakin meningkatnya kandungan pati termoplastik. Adanya *compatibilizer* HDPE-g-MA menghasilkan sifat mekanik lebih baik pada plastik biodegradabel.

Kata kunci: plastik biodegradabel, pati termoplastik, *compatibilizer* MA-g-HDPE.

ABSTRACT

Plastics have been used widely for packaging material since long time

ago. However, Plastic wastes can pollute environment because of its persistency to be biodegraded by microorganism. Efforts have been conducted to develop environmental friendly plastic from renewable resources. Problems encountered in the manufacture of biodegradable plastic are poor physical-mechanical properties and incompatibility between hydrophilic/polar and hydrophobic/non-polar materials. The modification of raw materials and use of compatibilizer were applied to improve the compatibility between the two material blends. The purpose of this study was characterization of mechanic and added value of biodegradable plastic from thermoplastic starch-HDPE Blends. This study consisted two steps, namely preparation of thermoplastic starch and manufacturing process of biodegradable plastic. The parameters observed included mechanical and added value. The results showed that increasing thermoplastic starch content decreased mechanical. The presence of MA-g-HDPE compatibilizer resulted in better physical and mechanical properties of biodegradable plastic.

Keywords: *biodegradable plastic, thermoplastic starch, compatibilizer MA-g-HDPE.*

PENDAHULUAN

Material plastik banyak digunakan karena sifatnya praktis, fleksibel, ringan, tahan air, dan harganya relatif murah serta terjangkau oleh semua kalangan masyarakat, selain itu plastik mudah diproduksi secara massal. Namun, plastik masih mempunyai sifat kurang menguntungkan. Limbah plastik dapat mencemari lingkungan karena plastik merupakan bahan yang sulit terdegradasi. Plastik tidak mudah hancur karena pengaruh

lingkungan antara lain oleh cuaca hujan dan panas matahari maupun mikroba yang hidup dalam tanah, sehingga sampah plastik merupakan persoalan lingkungan yang harus segera ditangani.

Rata-rata setiap tahunnya orang Indonesia membuang 700 lembar kantong plastik (BPS 2011). Tingginya konsumsi plastik mengakibatkan meningkatnya volume limbah yang dihasilkan dan menimbulkan permasalahan lingkungan. Berdasarkan laporan Dinas Kebersihan Provinsi DKI Jakarta pada tahun 2011 rata-rata limbah plastik mencapai 524 ton per hari atau 7,7% dari total produksi sampah harian Jakarta.

Usaha-usaha telah dilakukan untuk mengurangi limbah plastik seperti teknologi pengolahan sampah, daur ulang dan pembakaran. Namun usaha-usaha tersebut belum secara efektif menyelesaikan persoalan yang ada. Pembakaran plastik akan menghasilkan gas CO₂ yang akan semakin meningkatkan pemanasan global. Salah satu cara yang dikembangkan untuk mengatasi masalah sampah plastik adalah penggunaan plastik biodegradabel. Plastik biodegradabel adalah plastik yang dapat terdegradasi oleh mikroorganisme seperti bakteri, alga, jamur dan yang lain (Kumar *et al.*, 2010), sehingga penggunaannya tidak menimbulkan dampak bagi lingkungan. Plastik biodegradabel terbuat dari bahan yang dapat diperbaharui (*renewable*) atau campuran antara bahan sintetik (*non-renewable*) dan bahan alami.

Bahan alami seperti pati termoplastik sebagai bahan pembuat plastik biodegradabel mempunyai beberapa kelemahan antara lain sifat mekanik yang rendah, tidak tahan terhadap suhu tinggi, getas (Mbey, 2012), sifat alir yang sangat rendah dan bersifat hidrofilik (Mbey, 2012). Untuk menutupi kelemahan bahan alami sebagai bahan pembuat plastik biodegradabel adalah mencampurkannya dengan bahan sintesis seperti LLDPE, HDPE, PP dan yang lainnya. Pencampuran polimer alami dan sintesis diharapkan produk yang dihasilkan mempunyai sifat fisik mekanik yang tidak jauh berbeda dengan plastik konvensional

dan limbah/sampah yang dihasilkan dapat terdegradasi oleh lingkungan. Namun, perbedaan karakteristik dan sifat antara pati termoplastik dan resin menyebabkan campuran tidak kompatibel. Oleh karena itu, *compatibilizer* (Kaci *et al.* 2007; Pushpadass *et al.* 2010; Prachayawarakorn *et al.* 2010) diperlukan pada saat pencampuran sehingga keduanya dapat bercampur sempurna. *Compatibilizer* adalah bahan aditif atau *coupling agent* yang berfungsi meningkatkan adhesi permukaan dan menurunkan tegangan permukaan antara dua bahan yang berbeda sifat.

Proses pembuatan plastik biodegradabel dalam penelitian ini adalah mencampurkan pati termoplastik dan HDPE serta *compatibilizer* ke dalam *twin screw ekstruder*. Komposisi perbandingan pati termoplastik/HDPE dan konsentrasi pemberian *compatibilizer* memegang peranan penting dalam menentukan karakteristik plastik biodegradabel. Hasil penelitian Prachayawarakorn *et al.* (2010) menunjukkan bahwa dengan meningkatnya konsentrasi LDPE meningkat pula nilai kekuatan tarik dan perpanjangan putus film. Menurut Pedroso dan Rosa (2005), penambahan pati mengurangi nilai indeks kecepatan alir, kekuatan tarik dan perpanjangan putus campuran pati/LDPE. Pati termoplastik sebagai bahan komposit diharapkan dapat terdispersi sempurna ke dalam matriks polimer LLDPE. Penggunaan *compatibilizer* diharapkan dapat memadukan dua polimer (pati termoplastik dan LLDPE) yang memiliki perbedaan polaritas. Modifikasi bahan baku (pati termoplastik), pencampuran antara bahan alami dan sintesis serta penggunaan *compatibilizer* diharapkan dapat memperbaiki morfologi permukaan plastik, sifat fisik-mekanik dan *barrier* plastik biodegradabel. Prachayawarakorn *et al.* (2010) melakukan penelitian menggunakan maleat anhidrit (MA) dan viniltrimetoksi silane (VTMS) sebagai *compatibilizer*. Hasil analisis menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai kuat tarik seiring peningkatan pemberian MA. Penelitian ini bertujuan mendapatkan karakteristik mekanik, analisa nilai tambah plastik biodegradabel berbahan baku

komposit pati termoplastik dan HDPE dengan tambahan *compatibilizer* HDPE-g-MA. Informasi mengenai karakteristik plastik biodegradabel dapat digunakan untuk menentukan jenis dan kondisi proses serta aplikasi atau pemanfaatan produk tersebut.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Twin Screw Extruder* (HAAKE), Rheomix 3000 HAAKE, *hydraulic hot press*, densimeter, untuk menguji kuat tarik dan persen pemanjangan (Auto Strain NO. 216 tipe YZ-Yasuda Seiki), dan alat *Scanning Electron Microscope* (VE-8800 Low Voltage -Keyence, Co., Osaka, Jepang), WVTR tester (MOCON) dan O₂TR tester (MOCON). Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini tapioka merk "Pak Tani", gliserol, air destilata, *High Density Polyethylene* (HDPE) SF5007 dengan spesifikasi masa jenis (densitas) 0,948-0,951 g/cm³ yang diperoleh dari PT Chandra Asri, dan *compatibilizer* (HDPE-g-MA).

Tahapan Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi dua tahap yaitu pembuatan pati termoplastik dan pembuatan plastik biodegradabel berbahan baku pati termoplastik-HDPE.

Pembuatan Pati Termoplastik (Zhang *et al.*, 2007)

Proses pembuatan pati termoplastik (TPS) sebagai berikut: pencampuran pertama dilakukan antara gliserol (25% v/b pati) dan air akuades (15% v/b pati) selama 5 menit. Kemudian campuran akuades dan gliserol ditambahkan ke dalam bahan baku dan dilakukan pengadukan hingga terhomogenisasi sempurna. *Aging* dilakukan selama 8 hari agar campuran akuades dan gliserol dapat terserap sempurna ke dalam bahan sehingga dapat memberikan pengaruh positif terhadap pati termoplastis yang dihasilkan. Campuran diproses dalam *rheomix* pada suhu *barrel* 90°C dengan kecepatan 50 rpm selama 15 menit. Bongkahan hasil *rheomix* kemudian

diperkecil ukurannya menggunakan *blender/grinder*.

Pembuatan Plastik Biodegradabel

Pada tahap ini, pembuatan plastik *biodegradable* dilakukan pencampuran terlebih dahulu antara TPS dan *compatibilizer* (HDPE-g-MA). Setelah itu, TPS dan *compatibilizer* dicampur dengan HDPE. Ketiga bahan tersebut diaduk hingga merata pada suatu tempat/wadah sebelum dimasukkan ke dalam ekstruder. Perbandingan antara TPS dengan HDPE adalah 0:100; 20:80; 30:70; dan 40:60 b/b menggunakan *Twin Screw Ekstruder* pada suhu barrel 130-140°C dengan kecepatan rotor 75 rpm. Hasil dari ekstruder dibentuk menjadi pellet menggunakan alat *pelletizer*. Setelah itu dibuat menjadi lembaran film menggunakan alat *blowing film* atau *hydraulic hot press*. Hasil dalam bentuk lembaran kemudian dipotong sesuai pengujian fisik dan mekanik plastik biodegradabel. Parameter yang diamati adalah sifat mekanik (ASTM D 638, 1991), dan nilai tambah tapioka menjadi plastik biodegradabel.

Analisis Data

Rancangan percobaan menggunakan rancangan acak lengkap faktorial yang terdiri dari dua faktor, yaitu konsentrasi *compatibilizer* (HDPE-g-MA) yang digunakan dengan tiga taraf (2,5%, 5%, 7,5%) (faktor A) dan konsentrasi perbandingan TPS : HDPE dengan empat taraf (0:100; 20:80; 30:70; 40:60) (faktor B) dengan 2 ulangan. Apabila terdapat pengaruh nyata dilanjutkan dengan uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT) pada jenjang nyata 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat mekanik plastik biodegradabel TPS-HDPE

Pengujian sifat mekanik plastik biodegradabel sangat penting untuk mengetahui kehomogenan suatu campuran bahan polimer dan untuk mengetahui bahan campuran yang digunakan dalam pembuatan plastik biodegradabel. Nilai

rata-rata kekuatan tarik (*tensile strength*), perpanjangan putus (*elongation*), dan ketahanan benturan (*tensile impact*) plastik biodegradabel dapat dilihat pada Tabel 1. Analisis sidik ragam menunjukkan interaksi yang nyata antara konsentrasi pati termoplastik dan konsentrasi *compatibilizer* dalam mempengaruhi nilai rata-rata kekuatan tarik. Nilai kekuatan tarik berkisar antara 1,4-18,5 MPa. Penambahan konsentrasi pati termoplastik cenderung menurunkan nilai rata-rata kekuatan tarik plastik biodegradabel. Hal tersebut disebabkan semakin tinggi pemberian pati termoplastik semakin rendah kehomogenan/kompatibel komposit pati termoplastik-HDPE. Hasil yang sama juga didapat oleh Rozman *et al.*, (2000) yang menyatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi serat yang ditambahkan semakin menurun nilai kekuatan tarik komposit serat/PP. Menurut Wang *et al.*, (2002), semakin tinggi konsentrasi magnesium hidroksida semakin rendah nilai kekuatan tarik polimer komposit.

Selain kurang homogen, tinggi pemberian pati termoplastik juga menyebabkan rendahnya adhesi antara pati termoplastik dan sintetik polimer (HDPE). Rendahnya adhesi tersebut disebabkan oleh adanya perbedaan polaritas diantara kedua polimer. Menurut Pedroso dan

Rosa (2005) menurunnya nilai kuat tarik seiring meningkatnya kandungan pati mengindikasikan bahwa pati sebagai pengisi/bahan yang tidak menguatkan (*non-reinforcing*).

Penambahan *compatibilizer* menyebabkan interaksi yang sangat baik antara pati sebagai bahan pengisi dan HDPE. *Compatibilizer* berfungsi sebagai jembatan atau penghubung antara komponen hidrofobik (HDPE) dan hidrofilik (pati termoplastik). Menurut Paul *et al.*, (1973) dalam Ismail dan Hairunezam (2001) menyatakan bahwa *compatibilizer* biasanya digunakan untuk meningkatkan kompatibel campuran polimer yang tidak kompatibel.

Analisis sidik ragam menunjukkan interaksi antara konsentrasi pati termoplastik dan konsentrasi *compatibilizer* mempengaruhi secara nyata nilai rata-rata perpanjangan putus. Nilai perpanjangan putus (*elongasi*) plastik biodegradabel seperti yang tertera dalam Tabel 1 menunjukkan penurunan dengan meningkatnya konsentrasi pati termoplastik. Fenomena tersebut hampir sama dengan nilai kekuatan tarik. Meningkatnya kandungan pati termoplastik menyebabkan rendahnya adhesi antara kedua polimer tersebut. Meningkatnya kandungan pati menyebabkan meningkatnya fase tidak homogen/tidak kompatibel

Tabel 1. Nilai kuat tarik, perpanjangan putus dan ketahanan benturan plastik biodegradabel pati termoplastik-HDPE

HDPE: pati termoplastik	<i>Compatibilizer</i> (%)	Kuat Tarik (MPa)	Perpanjangan Putus (%)	Ketahanan benturan (kgf.cm/cm ²)
100:0	2,5	15,4 ± 0,7 ^{de}	350 ± 100 ^d	5,3 ± 2,1 ^{abc}
80:20	2,5	12,9 ± 1,4 ^{cd}	56,7 ± 32,1 ^{ab}	7,2 ± 1,3 ^{abc}
70:30	2,5	9,1 ± 1,1 ^{cd}	56,6 ± 38,8 ^{ab}	1,9 ± 1,2 ^{ab}
60:40	2,5	7,6 ± 2,2 ^{de}	26,5 ± 7,5 ^a	1,7 ± 0,2 ^a
100:0	5,0	16,9 ± 0,4 ^{de}	660,1 ± 18,9 ^e	7,8 ± 0,1 ^{bc}
80:20	5,0	15,7 ± 7,1 ^{de}	157,4 ± 15,6 ^c	9,6 ± 0,3 ^c
70:30	5,0	2,8 ± 0,9 ^{ab}	25,6 ± 5,1 ^a	2,0 ± 1,0 ^{ab}
60:40	5,0	1,4 ± 0,1 ^a	25,3 ± 15,6 ^a	4,0 ± 2,4 ^{abc}
100:0	7,5	18,5 ± 0,7 ^e	880,7 ± 9,3 ^f	15,0 ± 6,8 ^d
80:20	7,5	15,8 ± 0,8 ^{de}	305,6 ± 8,8 ^d	6,0 ± 0,8 ^{abc}
70:30	7,5	11,5 ± 0,5 ^{cd}	107,5 ± 59,3 ^{bc}	7,1 ± 3,0 ^{abc}
60:40	7,5	10,1 ± 0,3 ^c	5,7 ± 34,1 ^{ab}	3,6 ± 1,6 ^{abc}

Keterangan: huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji lanjut dengan tingkat kepercayaan 95%

komposit. Hal tersebut mengakibatkan berkurangnya kemampuan perpanjangan putus plastik biodegradabel.

Penambahan konsentrasi *compatibilizer* cenderung meningkatkan nilai perpanjangan putus (*elongasi*) plastik biodegradabel. Hal tersebut dikarenakan adanya *compatibilizer* meningkatkan fleksibilitas dan menurunkan kekakuan campuran komposit. Peningkatan kandungan *compatibilizer* menyebabkan campuran polimer yang berbeda sifat menjadikan campuran lebih kompatibel dan fleksibel. Hal tersebut juga dikemukakan oleh Shokri *et al.*, (2005) yang mengatakan bahwa peningkatan nilai kemuluran/elongasi dikarenakan penurunan kekakuan campuran polimer.

Analisis sidik ragam menunjukkan interaksi antara konsentrasi pati termoplastik dan konsentrasi *compatibilizer* mempengaruhi secara nyata nilai rata-rata *tensile impact*. Nilai *tensile impact* berkisar antara 1,7-15,0 kgf.cm/cm². Nilai ketahanan benturan (*tensile impact*) plastik biodegradabel berbahan baku pati termoplastik HDPE menunjukkan penurunan dengan meningkatnya kandungan pati termoplastik. Hasil yang sama juga diperoleh Lopes dan Sousa (2005) yang mengatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi serat semakin rendah nilai *tensile impact*. Hal ini disebabkan rendahnya adhesi dan kurang homogen antara dua polimer yang berbeda polaritas, tetapi bila ditinjau dari pengaruh penambahan *compatibilizer*, peningkatan konsentrasi *compatibilizer* cenderung meningkatkan nilai *tensile impact*.

Analisis Nilai Tambah

Analisis nilai tambah pengolahan tapioka menjadi plastik biodegradabel dilakukan dengan menggunakan metode Hayami dan Kawagoe (1993). Hasil perhitungan nilai tambah pada Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai tambah tapioka sebesar 70,88% yang berarti dari Rp.25.000/kg harga jual bioplastik, sebesar 70,88% merupakan nilai tambah dari pengolahan produk tapioka menjadi bioplastik.

Tabel 2. Hasil perhitungan nilai tambah tapioka sebagai bahan baku bioplastik

No	Variabel	Tapioka
I	Output, input dan harga	
	- Output (kg/per produksi)	500
	- Bahan baku (kg/produksi)	200
	- Tenaga kerja	10
	- Faktor konversi	2,5
	- Koefisien tenaga kerja	0,05
	- Harga output	25000
II	Pendapatan dan keuntungan	
	- Harga bahan baku	3200
	- Sumbangan input lain	15000
	- Nilai output (Rp/kg)	62500
	- Nilai tambah (Rp/kg)	44300
	- Nisbah nilai tambah (%)	70,88
	- Imbalan tenaga kerja (Rp/kg)	2500
	- Bagian tenaga kerja (%)	5,64
	- Keuntungan (Rp/kg)	41800
- Tingkat keuntungan (%)	66,88	
III	Balas Jasa Pemilik Faktor Produksi	
	Margin keuntungan	59300
	- Pendapatan tenaga kerja (%)	4,22
	- Sumbangan input lain (%)	25,30
	- Keuntungan perusahaan (%)	70,50

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Karakteristik kekuatan tarik dan perpanjangan putus plastik biodegradabel berbahan baku TPS-HDPE cenderung menurun, sedangkan analisis nilai tambah menunjukkan nilai tambah tapioka sebesar 70,88%.

Saran

Ukuran TPS perlu diperkecil untuk meningkatkan kompatibel antara TPS-HDPE dan menyebarnya TPS secara merata dalam campuran polimer. Selain uji mekanik, plastik biodegradabel TPS-HDPE perlu juga diuji migrasi untuk melihat apakah ada perpindahan komponen bahan penyusun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, kami menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pertanian yang telah membiayai penelitian ini melalui program Kerjasama Kemitraan Penelitian Pertanian dengan Perguruan Tinggi Tahun 2011.

DAFTAR PUSTAKA

- [ASTM] American Society for Testing and Material. (1991). *Annual book of ASTM standards*. Volume ke-14. Philadelphia: America Society for Testing and Material.
- Badan Pusat Statistik. 2011. Indonesia Dalam Angka 2010. Jakarta.
- Hayami Y, Kawagoe T. 1993. *The agrarian origins of commerce and industry (astudy of Peaseant Marketing in Indonesia)*. St Martins's Press.
- Kaci MH, Djidjelli A, Boukerrou L, and Zaidi. 2007. Effect of wood filler treatment and EBAGMA compatibilizer on morphology and mechanical properties of low density polyethylene/olive husk flour composites. *EXPRESS Polymer Letters* 1 (7) 467–473.
- Kumar M, Mohanty S, Nayak SK, and Rahail PM. 2010. Effect of glycidyl methacrylate (GMA) on the thermal, mechanical and morphological property of biodegradable PLA/PBAT blend and its nanocomposites. *Bioresource Technology*. 101: 8406-8415.
- Lopes PE and Sousa JA. 2005. Influence of PP-g-MAH Compatibilizer Characteristics on Interphase and Mechanical Properties of Glass Fiber Reinforced Polypropylene Composites. *Proc. 14th Brazilian Congress on Materials Engng. & Sci.* 23501-23512.
- Mbey JA, Hoppeb S, and Thomasa F. 2012. Cassava starch–kaolinite composite film. Effect of clay content and claymodification on film properties. *Carbohydrate Polymers*. 88: 213–222.
- Pedroso AG and Rosa DS. 2005. Mechanical, Thermal and Morphological Characterization of Recycled LDPE/ Corn starch Blends. *Carbohydr. Polym.* 59: 1-9.
- Prachayawarakorn J, Sangnitdej P, and Boonpasith P. 2010. Properties of thermoplastic rice starch composites reinforced by cotton fiber or low-density polyethylene. *Carbohydrate Polymers* 81: 425–433.
- Pushpadass HA, Robert WW, Joseph JD, and Milford AH. 2010. Biodegradation characteristics of starch–polystyrene loose-fill foams. in a composting medium. *Bioresource Technology*. 101: 7258–7264.
- Rozman HD, Tan KW, Kumar RN, Abubakar A, Mohd. Ishak ZA, and Ismail H. 2000. The effect of lignin as a compatibilizer on the physical properties of coconut fiber-polypropylene composites. *European Polymer Journal*. 36: 1483-1494.
- Tang X and Alavi S. 2011. Recent advances in starch, polyvinyl alcohol based polymer blends, nanocomposites and their biodegradability. *Carbohydrate Polymers*. 85: 7–16.
- Wang Z, Qu B, Fan W, Hu Y, and X Shen. 2002. Effects of PE-g-DBM as a compatibilizer on mechanical properties and crystallization behaviors of magnesium hydroxide-based LLDPE blends. *Polymer Degradation and Stability*. 76: 123–128.
- Zhang QX, Yu ZZ, Xie XL, Naito K, and Kagawa Y. 2007. Preparation Crystalline Morphology of Biodegradable Starch/ Clay Nanocomposites. *Polymer*. 48(24): 7193-7200.