

KARAKTERISTIK MORFOLOGI, TERMAL, FISIK-MEKANIK, DAN BARRIER PLASTIK BIODEGRADABEL BERBAHAN BAKU KOMPOSIT PATI TERMOPLASTIK-LLDPE/HDPE

The Characterization of Morphology, Thermal, Physic-Mechanic, and Barrier of Biodegradable Plastic from Thermoplastic Starch-LLDPE/HDPE Blends

Waryat¹, Muhammad Romli¹, Ani Suryani¹, Indah Yuliasih¹, Syah Johan²

¹Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16002

²Sentra Teknologi Polimer-Balai Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Gedung 460, Kawasan PUSPIPTEK, Serpong 15314

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 adalah penggunaan plastik ramah lingkungan dari bahan baku yang dapat diperbarui dengan metode pencampuran/*blending*. Permasalahan yang dihadapi dalam pembuatan plastik biodegradabel berbahan baku campuran antara bahan alami dan sintetis adalah tidak kompatibel antara kedua bahan tersebut karena bahan alami bersifat hidrofilik/polar dan bahan sintetis bersifat hidrofobik/non polar. Untuk meningkatkan kompatibilitas antara kedua campuran itu perlu ditambahkan bahan seperti *compatibilizer*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik morfologi permukaan plastik, kecepatan alir, densitas, suhu leleh, sifat mekanik, dan *barrier* plastik biodegradabel berbahan baku campuran pati termoplastik-LLDPE/HDPE. Penelitian ini dibagi menjadi tiga tahap yaitu pembuatan pati termoplastik, pembuatan *compatibilizer* LLDPE/HDPE-g-MA dan pembuatan plastik biodegradabel. Karakteristik sifat aliran, kekuatan tarik, perpanjangan putus, dan permeabilitas oksigen plastik biodegradabel berbahan baku pati termoplastik-LLDPE/HDPE cenderung menurun, sedangkan karakteristik permeabilitas terhadap uap air cenderung meningkat dengan semakin meningkatnya kandungan pati termoplastik. Adanya *compatibilizer* LLDPE/HDPE-g-MA menghasilkan sifat mekanik lebih baik pada plastik biodegradabel.

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

ABSTRACT

Plastics have been used widely for packaging material. 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 two material blends. The purpose of this study was to design a process of making biodegradable plastic by modifying the raw material and the use of compatibilizer. This study consisted of three steps, namely preparation of thermoplastic starch, preparation of compatibilizer MA-g-LLDPE/HDPE and manufacturing process of biodegradable plastic. The plastic properties observed included morphological structure, melt flow rate, density, thermal, mechanical, and barrier properties. The results showed that increasing thermoplastic starch content decreased melt flow rate, mechanical, oxygen transmission rate properties and increased water vapor transmission rate. The presence of MA-g-LLDPE/HDPE compatibilizer resulted in better physical and mechanical properties of biodegradable plastic.

Keywords: biodegradable plastic, thermoplastic starch, compatibilizer of MA-g LLDPE/HDPE

PENDAHULUAN

Plastik merupakan produk yang dapat memudahkan pekerjaan manusia. Plastik juga dapat berfungsi sebagai wadah/tempat atau kemasan suatu produk. Plastik mempunyai keunggulan dibandingkan dengan kemasan lain yaitu mudah dibentuk, bahan dasarnya banyak pilihan, mudah diproduksi secara massal, dan harga produksinya relatif murah. Tingginya konsumsi plastik mengakibatkan meningkatnya volume limbah yang dihasilkan dan menimbulkan permasalahan lingkungan (Hwang dkk., 2006). Rata-rata limbah plastik di DKI Jakarta pada tahun 2010 mencapai 523,6 ton per hari atau 7,7 persen dari total produksi sampah harian Jakarta (Dinas Kebersihan DKI Jakarta, 2011).

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 dkk., 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 menghasilkan produk yang mempunyai sifat fisik mekanik yang tidak jauh berbeda dengan plastik konvensional dan limbah/sampah yang dihasilkan dapat terdegradasi oleh lingkungan.

Proses pembuatan plastik biodegradabel dalam penelitian ini adalah mencampurkan pati termoplastik dan LLDPE/HDPE serta *compatibilizer* ke dalam *twin screw extruder*. Komposisi perbandingan pati termoplastik/PE dan konsentrasi pemberian *compatibilizer* memegang peranan penting dalam menentukan karakteristik plastik biodegradabel. Pati termoplastik sebagai bahan pengisi diharapkan dapat terdispersi sempurna ke dalam matriks polimer LLDPE/HDPE. Penggunaan *compatibilizer* diharapkan dapat memadukan dua polimer (pati termoplastik dan LLDPE/HDPE) 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. Penelitian ini bertujuan

mengetahui karakteristik morfologi, termal, fisik-mekanik, dan *barrier* plastik biodegradabel berbahan baku komposit pati termoplastik dan dengan tambahan *compatibilizer* LLDPE/HDPE-g-MA. Informasi mengenai karakteristik plastik biodegradabel dapat digunakan untuk menentukan jenis dan kondisi proses serta aplikasi atau pemanfaatan produk tersebut.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *twin screw extruder* (HAAKE), Rheomix 3000 HAAKE, *hydraulic hot press*, densimeter, *Lloyd instrument* untuk menguji kuat tarik dan elongasi (Auto Strain N0. 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, *linier low density polyethylene* (LLDPE) UF181051 dengan spesifikasi masa jenis (densitas) 0,919-0,923 g/cm³ dan *melt flow indeks* 0,8-1,2 *high density polyethylene* (HDPE) SF5007 dengan spesifikasi masa jenis (densitas) 0,948-0,951 g/cm³ dan *medium load melt indeks* (MLHI) 0,8-1,2 yang diperoleh dari PT Chandra Asri, antioksidan (irganok) dan *compatibilizer* (LLDPE/HDPE-g-MA).

Pembuatan Pati Termoplastik (Zhang dkk., 2007)

Proses pembuatan pati termoplastik (TPS) sebagai berikut: pencampuran pertama dilakukan antara gliserol dan air akuades selama 5 menit, kemudian campuran aquades dan gliserol ditambahkan ke dalam bahan baku dan dilakukan pengadukkan hingga terhomogenisasi sempurna. *Aging* dilakukan selama 8 hari agar campuran aquades dan gliserol dapat terserap sempurna ke dalam bahan baku sehingga dapat memberikan efek positif terhadap produk termoplastis yang dihasilkan. Campuran diproses dalam *rheomix* pada suhu *barrel* 90-90-90°C dengan kecepatan 50 rpm selama 15 menit. Bongkahan hasil *rheomix* kemudian diperkecil ukurannya menggunakan *blender/glinder*.

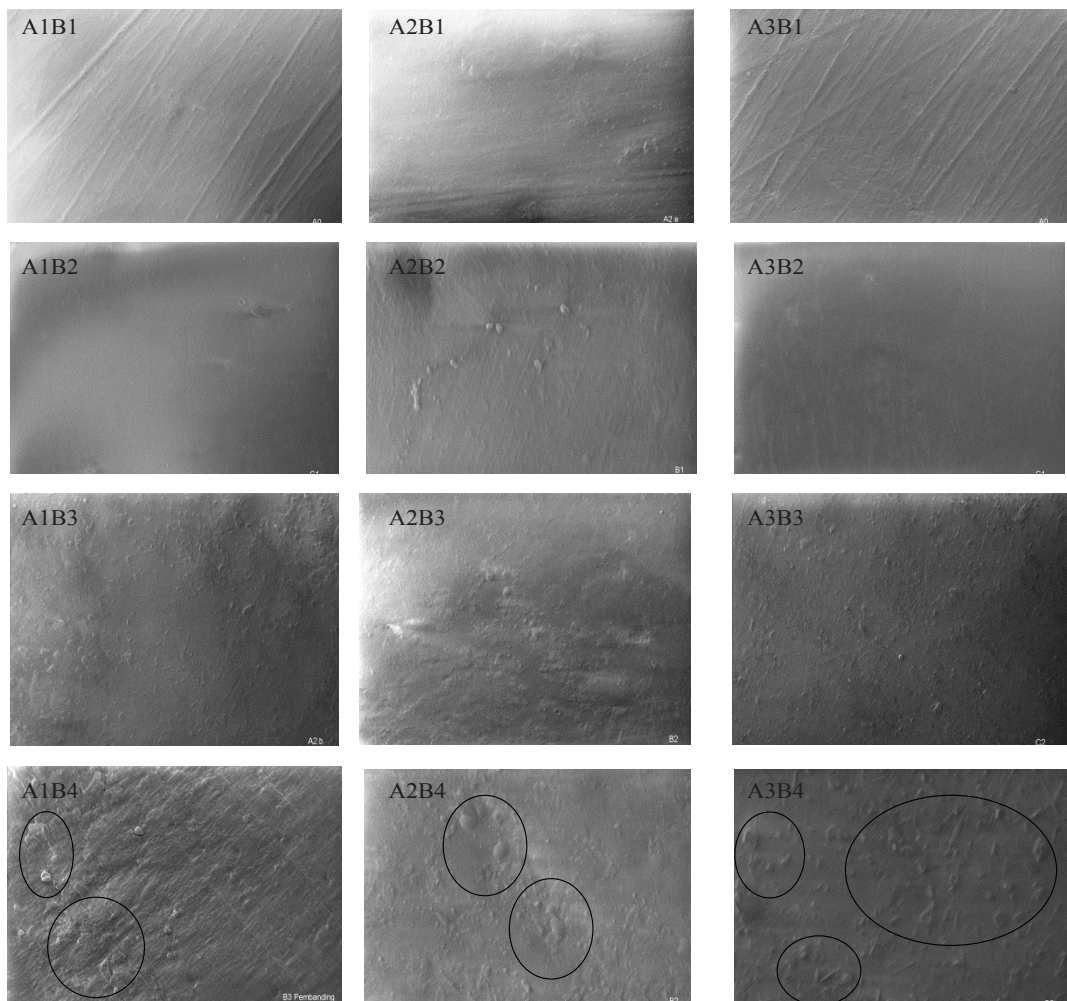
Pembuatan Plastik Biodegradabel

Pada tahap ini pembuatan plastik biodegradabel dilakukan pencampuran terlebih dahulu antara TPS dengan antioksidan (irganok), setelah itu dilakukan pencampuran dengan *compatibilizer* dan LLDPE. Perbandingan antara TPS dengan LLDPE adalah 0:100; 20:80; 30:60; dan 40:60 b/b menggunakan *twin screw extruder* pada suhu *barrel* 130-130-130-130-140°C dengan kecepatan rotor 75 rpm. Hasil dari

ekstruder dibentuk menjadi pelet 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 morfologi permukaan plastik (ASTM E 2015, 1991), kecepatan alir (ASTM D 1238, 1991), sifat termal (ASTM D 3418, 1991), sifat mekanik (ASTM D 638, 1991), dan laju transmisi uap air dan oksigen (ASTM F 1249, 1991).

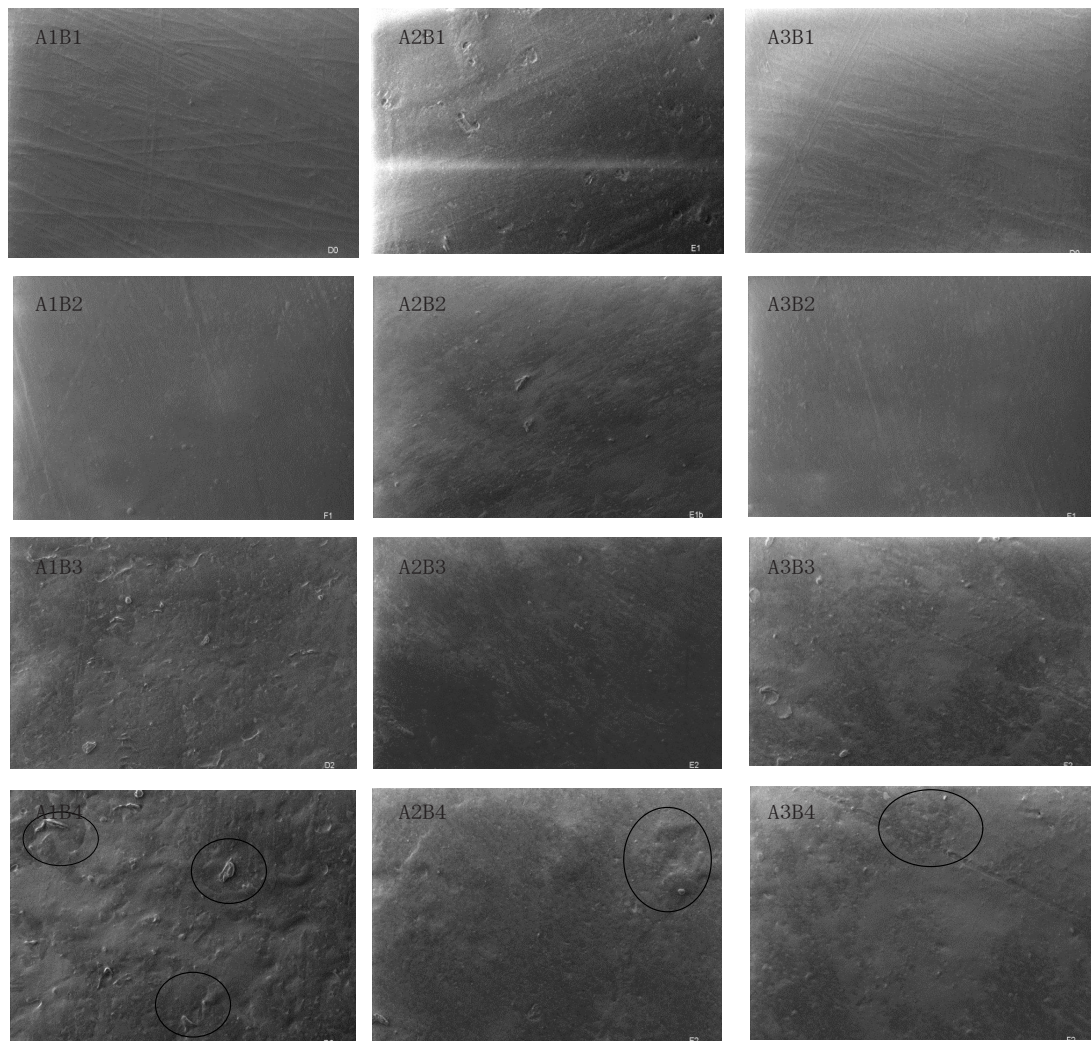
Analisis Data

Rancangan percobaan pada tahap keempat menggunakan rancangan acak lengkap faktorial yang terdiri dari dua faktor, yaitu konsentrasi *compatibilizer* yang digunakan dengan tiga tarap (2,5%, 5%, 10%) (faktor A) dan konsentrasi perbandingan TPS: LLDPE/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%.



Gambar 1. Citra SEM morfologi permukaan plastik biodegradabel TPS/LLDPE (pembesaran 100x) (Keterangan : gambar yang dilingkari adalah TPS yang belum tercampur sempurna)

Keterangan: A1B1 : konsentrasi compatibilizer 2,5%, rasio LLDPE : TPS = 100:0
 A2B1 : konsentrasi compatibilizer 5%, rasio LLDPE : TPS = 100:0
 A3B1 : konsentrasi compatibilizer 7,5%, rasio LLDPE : TPS = 100:0
 A1B2 : konsentrasi compatibilizer 2,5%, rasio LLDPE : TPS = 80:20
 A2B2 : konsentrasi compatibilizer 5%, rasio LLDPE : TPS = 80:20
 A3B2 : konsentrasi compatibilizer 7,5%, rasio LLDPE : TPS = 80:20
 A1B3 : konsentrasi compatibilizer 2,5%, rasio LLDPE : TPS = 70:30
 A2B3 : konsentrasi compatibilizer 5%, rasio LLDPE : TPS = 70:30
 A3B3 : konsentrasi compatibilizer 7,5%, rasio LLDPE : TPS = 70:30
 A1B4 : konsentrasi compatibilizer 2,5%, rasio LLDPE : TPS = 60:40
 A2B4 : konsentrasi compatibilizer 5%, rasio LLDPE : TPS = 60:40
 A3B4 : konsentrasi compatibilizer 7,5%, rasio LLDPE : TPS = 60:40



Gambar 2. Citra SEM morfologi permukaan plastik biodegradabel TPS/HDPE (pembesaran 100x) (Keterangan : gambar yang dilingkari adalah TPS yang belum tercampur sempurna)

Keterangan: A1B1 : konsentrasi compatibilizer 2,5%, rasio HDPE : TPS = 100:0
 A2B1 : konsentrasi compatibilizer 5%, rasio HDPE : TPS = 100:0
 A3B1 : konsentrasi compatibilizer 7,5%, rasio HDPE : TPS = 100:0
 A1B2 : konsentrasi compatibilizer 2,5%, rasio HDPE : TPS = 80:20
 A2B2 : konsentrasi compatibilizer 5%, rasio HDPE : TPS = 80:20
 A3B2 : konsentrasi compatibilizer 7,5%, rasio HDPE : TPS = 80:20
 A1B3 : konsentrasi compatibilizer 2,5%, rasio HDPE : TPS = 70:30
 A2B3 : konsentrasi compatibilizer 5%, rasio HDPE : TPS = 70:30
 A3B3 : konsentrasi compatibilizer 7,5%, rasio HDPE : TPS = 70:30
 A1B4 : konsentrasi compatibilizer 2,5%, rasio HDPE : TPS = 60:40
 A2B4 : konsentrasi compatibilizer 5%, rasio HDPE : TPS = 60:40
 A3B4 : konsentrasi compatibilizer 7,5%, rasio HDPE : TPS = 60:40

HASIL DAN PEMBAHASAN

Morfologi Plastik Biodegradabel

Plastik biodegradabel memperlihatkan struktur permukaan yang halus pada perbandingan TPS-LLDPE/HDPE (0/100; 20/80 dan 30/70) serta TPS tersebar secara sempurna (Gambar 1 dan 2). Pada pengamatan permukaan plastik biodegradabel TPS/LLDPE (40:60), struktur permukaan

memperlihatkan kurang halus. Hal tersebut ditandai dengan pati terkumpul pada beberapa titik/*spot* dan tidak menyebar secara merata. Ini dikarenakan tingginya konsentrasi TPS yang diberikan. Dispersi pati pada matriks polimer semakin menurun dengan meningkatnya pemberian TPS. Hal tersebut diindikasikan distribusi yang tidak merata TPS pada matriks polimer yang disebabkan oleh lemahnya adhesi permukaan (*interface*) dan kurangnya interaksi diantara kedua polimer

tersebut. TPS yang bersifat hidrofilik cenderung memisah dengan matriks LLDPE yang bersifat hidrofobik.

Penambahan *compatibilizer* MA-g-LLDPE 2,5%, 5% dan 7,5% tampak TPS menyebar secara merata pada komponen matrik LLDPE. Hal tersebut disebabkan telah terjadi ikatan antara maleat anhidrat pada *compatibilizer* MA-g-LLDPE dan TPS. Selain itu, penggunaan *compatibilizer* dapat meningkatkan adhesi permukaan antara LLDPE dan pati (Wang dkk., 2002). Maleat anhidrat berfungsi sebagai jembatan atau pengikat antara dua polimer yang berbeda sifatnya. Ikatan ester yang kuat dibentuk antara maleat anhidrat pada *compatibilizer* MA-g-LLDPE dan TPS sehingga ketidakkompatibelan antara LLDPE dan TPS dapat dikurangi (Prachayawarakorn dkk., 2010).

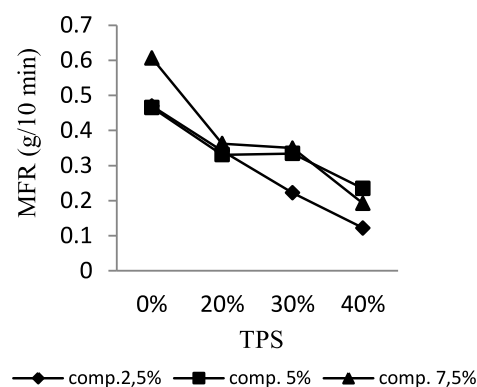
Sama halnya dengan plastik biodegradabel berbahan baku LLDPE/TPS, plastik biodegradabel HDPE/TPS menjadi lebih kompatibel dengan penambahan *compatibilizer* MA-g-HDPE. Gambar 2 menunjukkan TPS menyebar secara merata pada komponen matriks HDPE bila dibandingkan tanpa *compatibilizer*. *Compatibilizer* dapat meningkatkan kompatibilitas diantara dua polimer dan dapat mengurangi tegangan permukaan (*interface*) antara TPS dan HDPE.

Kecepatan Alir (*Melt Flow Rate*) Plastik Biodegradabel

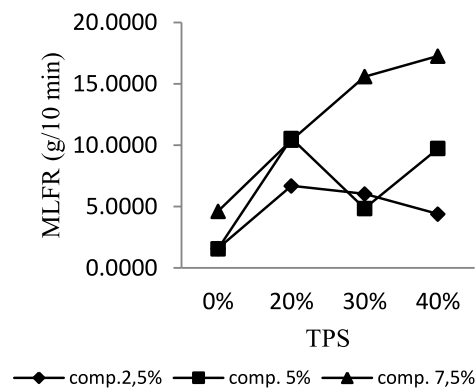
Hasil pengujian kecepatan alir (*melt flow rate*=MFR) plastik biodegradabel ditunjukkan pada Gambar 3. Analisis sidik ragam menunjukkan tidak ada interaksi yang nyata antara konsentrasi *compatibilizer* dan konsentrasi TPS dalam mempengaruhi nilai MFR plastik biodegradabel LLDPE-TPS. Namun, nilai MFR cenderung menurun dengan meningkatnya kandungan TPS. Nilai MFR tertinggi sebesar 0,61 g/10 menit didapat pada perbandingan LLDPE/TPS (100/0), sedangkan nilai MFR terendah sebesar 0,12 g/10 menit terjadi pada perbandingan LLDPE/TPS (60:40).

TPS berfungsi sebagai bahan pengisi yang cenderung meningkatkan viskositas campuran. Pengukuran nilai MFR secara tidak langsung juga mengukur viskositas larutan. Semakin banyak bahan pengisi yang dicampurkan akan meningkatkan nilai viskositas dan menurunkan nilai MFR. Hal tersebut juga dikemukakan oleh Nelsen (1974) dalam Pedroso dan Rosa (2005) yang menyatakan bahwa pati sebagai bahan pengisi dapat meningkatkan *modulus elastik* suatu campuran dan viskositas larutan campuran. Hal tersebut disebabkan partikel/granula pati yang mempunyai sifat alir yang rendah telah berinteraksi dengan matriks polimer (LLDPE) dengan adanya penambahan *compatibilizer*. Hal tersebut juga didukung oleh pendapat Jane dkk. (1992) dalam Pedroso dan Rosa (2005) yang menyatakan bahwa telah terjadi interaksi antar permukaan (*interfacial*) antara

polietilena dan pati karena gugus karboksilat dan keton pada polietilena dapat bereaksi dengan gugus karboksilat pada pati untuk membentuk ikatan diantara dua polimer tersebut. Machado dan Covos (2000) juga telah melaporkan bahwa *compatibilizer* sangat berperan dalam memodifikasi struktur polietilena.



a



b

Gambar 3. Kecepatan alir plastik biodegradabel TPS- a) LLDPE; b) HDPE

Pada plastik biodegradabel HDPE-TPS, analisis statistik pada nilai *melt flow rate* plastik biodegradabel TPS-HDPE menunjukkan ada interaksi yang nyata antara konsentrasi *compatibilizer* dan TPS dalam mempengaruhi nilai MFR. Nilai MFR tertinggi sebesar 17,26 g/10 menit didapat pada perbandingan HDPE/TPS (60/40), sedangkan nilai MFR terendah sebesar 1,57 g/10 menit terjadi pada perbandingan HDPE/TPS (100:0). Nilai MFR HDPE-TPS cenderung meningkat, berbeda dengan LLDPE/TPS yang cenderung menurun. Hal tersebut diduga granula TPS mampu terdespres ke dalam matrik polimer HDPE dengan adanya *compatibilizer*

yang mengakibatkan derajat kristalinitas HDPE menurun. Bila derajat kristalinitas HDPE menurun maka nilai *melt flow rate* meningkat. Bila dibandingkan dengan LLDPE, HDPE memiliki derajat kristalinitas lebih tinggi.

Densitas

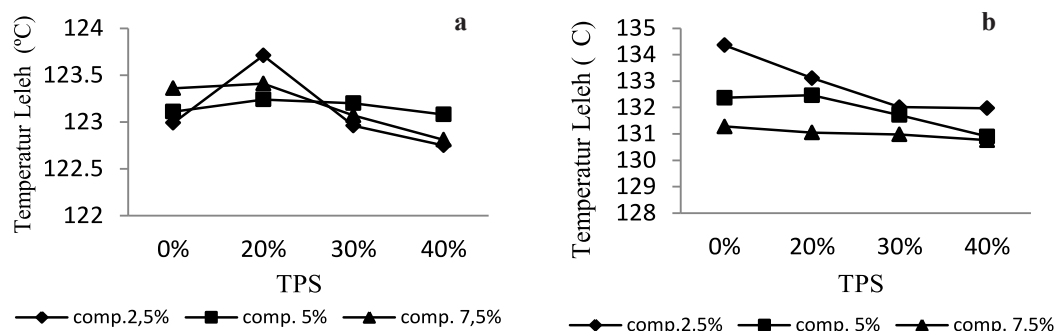
Analisis sidik ragam menunjukkan adanya interaksi antara konsentrasi *compatibilizer* dan TPS yang digunakan terhadap nilai densitas. Nilai densitas awal LLDPE dan HDPE yang digunakan untuk penelitian ini adalah 0,919-0,923 g/cm³ dan 0,948-0,951 g/cm³. Nilai densitas LLDPE/TPS berkisar antara 0,9003-1,0466 g/cm³ dan HDPE/TPS berkisar antara 0,9539-1,0160 g/cm³ (Tabel 1). Nilai densitas cenderung mengalami peningkatan dari densitas awal yang digunakan seiring dengan meningkatnya pemberian TPS dan *compatibilizer*. Hal tersebut dikarenakan semakin banyak bahan adiktif/tambahan yang ditambahkan dalam suatu matriks polimer, maka berat dan kerapatan polimer semakin tinggi, sehingga densitas menjadi tinggi. Hasil yang sama juga diperoleh oleh Riaz dkk. (2010) yang menyatakan bahwa nilai densitas meningkat dengan meningkatnya bahan campuran (LOE/PVC). Selain itu, nilai densitas yang meningkat

disebabkan oleh meningkatnya interaksi permukaan antara LLDPE/HDPE dan pati karena adanya *compatibilizer*.

HDPE-g-MA mempunyai nilai densitas lebih tinggi dibandingkan dengan LLDPE-g-MA. Hal tersebut dikarenakan derajat kristalinitas HDPE lebih tinggi dibandingkan dengan LLDPE. Hal yang sama juga didukung oleh pendapat Surdia dan Saito (1985) yang menyatakan bahwa apabila suatu polimer mempunyai bagian kristal yang lebih tinggi dibandingkan bagian amorfnya maka nilai densitasnya lebih tinggi. Selain itu, rantai utama LLDPE cenderung bercabang dapat menghambat terbentuknya kristalisasi sehingga nilai densitasnya rendah.

Sifat Termal

Hasil pengujian temperatur leleh menggunakan DSC (*Differential Scanning Calorimeter*) berkisar antara 122,75-123,71°C untuk LLDPE/TPS dan 130,76-134,36°C untuk HDPE/TPS. Analisa sidik ragam menunjukkan bahwa tidak ada interaksi antara konsentrasi TPS dan *compatibilizer* dalam mempengaruhi nilai temperatur leleh. Namun pada Gambar 4, nilai temperatur leleh cenderung menurun seiring meningkatnya konsentrasi TPS.



Gambar 4. Temperatur leleh plastik biodegradabel TPS- a) LLDPE; b) HDPE

Tabel 1. Nilai densitas plastik biodegradabel TPS-LLDPE/H

LLDPE:TPS	Compatibilizer (%)	Densitas (g/cm ³)	HDPE:TPS	Compatibilizer (%)	Densitas (g/cm ³)
100:0	2,5	0,9049 ^a	100:0	2,5	0,9539 ^a
80:20	2,5	0,9796 ^{bc}	80:20	2,5	0,9936 ^b
70:30	2,5	1,0160 ^{dc}	70:30	2,5	0,9971 ^b
60:40	2,5	1,0466 ^e	60:40	2,5	1,0100 ^{cd}
100:0	5,0	0,9071 ^a	100:0	5,0	0,9545 ^a
80:20	5,0	0,9629 ^b	80:20	5,0	1,0089 ^c
70:30	5,0	1,0331 ^c	70:30	5,0	1,0095 ^c
60:40	5,0	0,9983 ^{cd}	60:40	5,0	1,0102 ^{cd}
100:0	7,5	0,9003 ^a	100:0	7,5	0,9543 ^a
80:20	7,5	0,9679 ^b	80:20	7,5	1,0149 ^{de}
70:30	7,5	1,0226 ^{dc}	70:30	7,5	1,0151 ^{de}
60:40	7,5	1,0234 ^{de}	60:40	7,5	1,0160 ^e

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

Hasil yang sama juga diperoleh Aburto dkk. (1997) yang menyatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi pati maka semakin menurun temperatur leleh. Godbole dkk. (2003) menemukan hasil yang sama bahwa peningkatan konsentrasi pati kentang dapat menurunkan temperatur campuran polimer (PHB/TPS) namun penurunannya tidak berubah signifikan. Meningkatnya konsentrasi TPS menyebabkan interaksi antara LLDPE/HDPE dan TPS berkurang/lemah sehingga temperatur yang dibutuhkan untuk melelehkan polimer menjadi menurun.

Penurunan temperatur leleh juga disebabkan adanya penambahan *compatibilizer*. *Compatibilizer* sebagai *coupling agent* mempunyai berat molekul yang lebih rendah bila dibandingkan dengan LLDPE/HDPE. Berat molekul yang rendah dari LLDPE/HDPE-g-MA dapat meningkatkan mobilitas rantai polimer, sehingga temperatur yang dibutuhkan untuk melelehkan suatu polimer lebih rendah. Hal tersebut juga dikemukakan oleh Feng dkk. (2001) yang mengatakan bahwa berat yang rendah dari komposit kopolimer dengan penambahan *coupling agent* mempunyai temperatur leleh lebih rendah bila dibandingkan dengan tanpa penambahan *coupling agent*.

Nilai temperatur leleh plastik biodegradabel HDPE/TPS lebih tinggi bila dibandingkan dengan LLDPE/TPS. Hal tersebut disebabkan HDPE mempunyai rantai yang lebih bercabang, sehingga dibutuhkan temperatur yang lebih tinggi untuk melelehkan molekul polimer. Selain itu, derajat kristalinitas HDPE juga lebih tinggi bila dibandingkan dengan LLDPE. Hal tersebut juga dikemukakan oleh Wang dkk. (2002) yang menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur leleh semakin tinggi pula derajat kristalinitas suatu polimer.

Sifat Mekanik Plastik Biodegradabel

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*), kemuluran (*elongation*) dan ketahanan benturan (*tensile impact*) plastik biodegradabel dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3. Analisis sidik ragam menunjukkan interaksi yang nyata antara konsentrasi TPS dan konsentrasi *compatibilizer* dalam mempengaruhi nilai rata-rata kekuatan tarik. Nilai kekuatan tarik berkisar antara 2,5-26,5 MPa untuk TPS/LLDPE, sedangkan untuk komposit TPS/HDPE, nilai kekuatan tarik berkisar antara 1,4-18,5 MPa.

Penambahan konsentrasi TPS cenderung menurunkan nilai rata-rata kekuatan tarik plastik biodegradabel. Hal tersebut disebabkan semakin tinggi pemberian TPS semakin rendah kehomogenan/kompatibel komposit TPS-LLDPE/HDPE. Hasil yang sama juga didapat oleh Rozman dkk. (2000) yang menyatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi serat yang ditambahkan semakin menurun nilai kekuatan tarik komposit serat/polipropillen. Menurut Wang dkk. (2002), semakin tinggi konsentrasi magnesium hidroksida semakin rendah nilai kekuatan tarik polimer komposit.

Selain kurang homogen, penambahan TPS juga menyebabkan rendahnya adhesi antara TPS dan sintetik polimer (LLDPE/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* cenderung meningkatkan nilai kekuatan tarik. Adanya *compatibilizer* menyebabkan interaksi yang sangat baik antara pati sebagai bahan pengisi dan LLDPE/HDPE. *Compatibilizer* berfungsi sebagai jembatan atau penghubung antara komponen hidrofobik (LLDPE/HDPE) dan hidrofilik (TPS). Menurut Paul dkk. (1973)

Tabel 2. Nilai kuat tarik, perpanjangan putus dan ketahanan benturan plastik biodegradabel TPS/LLDP

LLDPE:TPS	<i>Compatibilizer</i> (%)	Kuat Tarik (MPa)	Perpanjangan Putus (%)	Ketahan bentur (kgf.cm/cm ²)
100:0	2,5	24,1 ± 1,7 ^d	1467,9 ± 52,2 ^b	19,9 ± 3,1 ^{bc}
80:20	2,5	9,1 ± 0,4 ^{bc}	69,0 ± 4,6 ^a	14,1 ± 2,8 ^{abc}
70:30	2,5	6,9 ± 0,2 ^b	32,1 ± 4,8 ^a	7,3 ± 3,1 ^{ab}
60:40	2,5	2,5 ± 0,6 ^a	24,3 ± 0,6 ^a	2,8 ± 0,1 ^a
100:0	5,0	26,5 ± 0,9 ^d	1659,3 ± 200,8 ^c	41,7 ± 7,2 ^{ef}
80:20	5,0	9,9 ± 2,9 ^c	93,6 ± 8,2 ^a	22,6 ± 2,5 ^{cd}
70:30	5,0	9,0 ± 0,8 ^{bc}	31,0 ± 7,8 ^a	15,6 ± 6,8 ^{abc}
60:40	5,0	7,1 ± 0,7 ^b	152,7 ± 70,9 ^a	15,1 ± 0,4 ^{abc}
100:0	7,5	25,7 ± 3,3 ^d	1764,9 ± 148,7 ^c	51,3 ± 13,1 ^f
80:20	7,5	10,5 ± 0,3 ^c	122,1 ± 18,4 ^a	32,5 ± 7,0 ^{de}
70:30	7,5	3,3 ± 0,9 ^a	112,8 ± 12,1 ^a	9,6 ± 1,9 ^{abc}
60:40	7,5	3,2 ± 0,1 ^a	40,9 ± 30,0 ^a	8,6 ± 1,8 ^{ab}

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

Table 3. Nilai kuat tarik, perpanjangan putus dan ketahanan bentur plastik biodegradabel TPS/HDPE

HDPE:TPS	Compatibilizer (%)	Kuat Tarik (MPa)	Perpanjangan Putus (%)	Ketahanan bentur (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%

dalam Ismail dan Hairunezam (2001) menyatakan bahwa *compatibilizer* biasanya digunakan untuk meningkatkan kompatibel campuran polimer yang tidak kompatibel. Wang dkk. (2002) menyatakan bahwa penambahan *compatibilizer* dapat meningkatkan kristalinitas mengakibatkan kekuatan tarik komposit meningkat. Selain itu, *compatibilizer* juga berperan dalam meningkatkan adhesivitas antara LLDPE dan TPS sehingga kekuatan tarik meningkat.

Analisis sidik ragam menunjukkan interaksi antara konsentrasi TPS dan konsentrasi *compatibilizer* mempengaruhi secara nyata nilai rata-rata perpanjangan putus. Nilai perpanjangan putus (*elongasi*) plastik biodegradabel seperti yang tertera dalam Tabel 2 dan 3 menunjukkan bahwa penambahan TPS menurunkan nilai perpanjangan putus. Fenomena tersebut hampir sama dengan nilai kekuatan tarik. Meningkatnya kandungan TPS menyebabkan rendahnya adhesi antara kedua polimer tersebut. Meningkatnya kandungan pati menyebabkan meningkatnya fase tidak homogen/tidak kompatibel komposit. Hal tersebut mengakibatkan berkurangnya kemampuan perpanjangan putus plastik biodegradabel. Menurut Kim dan Lee (2002) penurunan sifat mekanik (kuat tarik dan perpanjangan putus) film komposit dikarenakan penambahan jumlah pati menyebabkan rendahnya interaksi permukaan (*interfacial*) antara dua polimer.

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. *Compatibilizer* berfungsi sebagai penghubung antara komponen hidrofobik (LLDPE/HDPE) dan hidrofilik (TPS) dan optimalnya ikatan antar permukaan yang terbentuk antara pati termoplastik dan LLDPE//HDPE. Hal tersebut juga dikemukakan oleh Shokri dkk. (2005) yang mengatakan

bahwa peningkatan nilai kemuluran/elongasi dikarenakan penurunan kekakuan campuran polimer.

Analisis sidik ragam menunjukkan interaksi antara konsentrasi TPS dan konsentrasi *compatibilizer* mempengaruhi secara nyata nilai rata-rata ketahanan bentur. Nilai ketahanan bentur berkisar antara 2,8-51,3 kgf.cm/cm² untuk TPS/LLDPE, sedangkan untuk komposit TPS/HDPE, nilai ketahanan bentur berkisar antara 1,7-15,0 kgf.cm/cm². Penambahan TPS cenderung menurunkan Nilai ketahanan bentur plastik biodegradabel berbahan baku TPS dan LLDPE/HDPE. Hasil yang sama juga diperoleh Lopes dan Sousa (2005) yang mengatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi serat semakin rendah nilai ketahanan bentur. Hal ini disebabkan rendahnya adhesi dan kurang homogen antara dua polimer yang berbeda polaritas.

Bila ditinjau dari pengaruh penambahan *compatibilizer*, peningkatan konsentrasi *compatibilizer* cenderung meningkatkan nilai ketahanan bentur. Akbari dan Bagheri (2012) menemukan fenomena yang sama bahwa semakin meningkatnya konsentrasi *compatibilizer* (PP-g-MA) dari 1,5% ke 5% menyebabkan meningkatnya nilai ketahanan bentur dari 2,5 menjadi 3,4 KJ/m². Ini membuktikan bahwa semakin tinggi kandungan *compatibilizer* semakin kuat pula gaya adhesi antar permukaan bahan campuran yang mengakibatkan kekompakkan atau kehomogenan semakin baik dan distribusi bahan pengisi semakin merata.

Sifat Permeabilitas Plastik Biodegradabel

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan tidak ada interaksi yang nyata antara konsentrasi TPS dan *compatibilizer* dalam mempengaruhi nilai WVTR. Nilai laju transmisi uap air (WVTR) berkisar antara 3,90-12,30 g/m².hari (Gambar 5) untuk TPS/LLDPE, sedangkan untuk komposit TPS/HDPE, nilai WVTR berkisar antara 0,40-1,59 g/m².hari (Gambar 5). Nilai WVTR tertinggi didapat pada konsentrasi TPS/LLDPE (40/60) dan konsentrasi *compatibilizer* 2,5% yaitu

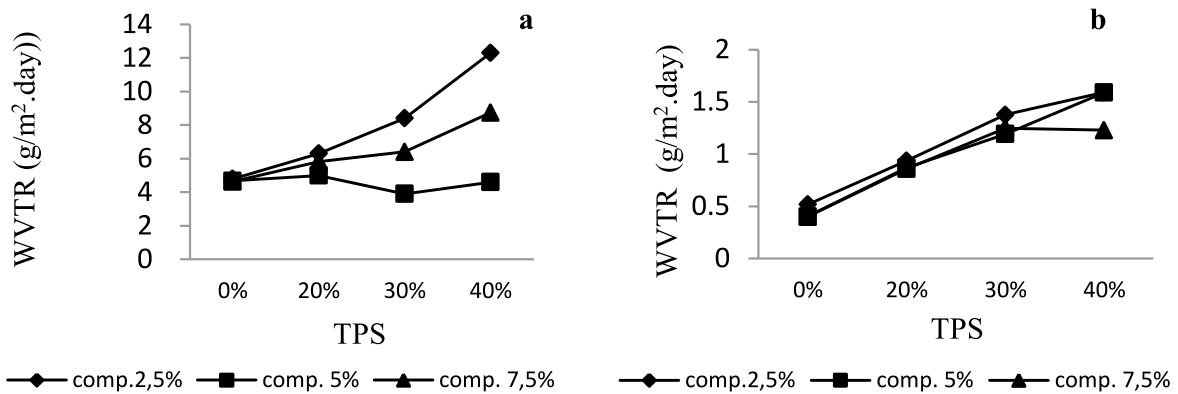
sebesar 12,30 g/m².hari, sedangkan nilai terendah diperoleh pada konsentrasi TPS/LLDPE (30/70) dan konsentrasi *compatibilizer* 5% yaitu sebesar 3,90 g/m².hari.

Nilai WVTR pada Gambar 5 menunjukkan kecenderungan meningkat dengan semakin meningkatnya konsentrasi TPS. Hal tersebut dikarenakan pati mempunyai sifat hidrofilik yang dapat meningkatkan sifat higroskopis pada komposit polimer sehingga cenderung lebih mengabsorpsi dan mengikat uap air di sekeliling bahan. Semakin tinggi campuran pati, plastik komposit cenderung memiliki lapisan yang tidak kompatibel dan porositas yang tinggi, hal tersebut memudahkan perpindahan uap air. Pada pati, granula tidak cukup padat/keras bila dibandingkan dengan polimer sintetik yang bersifat semikristalin dimana molekul air agak sulit untuk masuk. Hal tersebut juga dikemukakan oleh Baillie (2004) yang mengemukakan bahwa pati pada umumnya bersifat hidrofilik yang cenderung mudah untuk menyerap air.

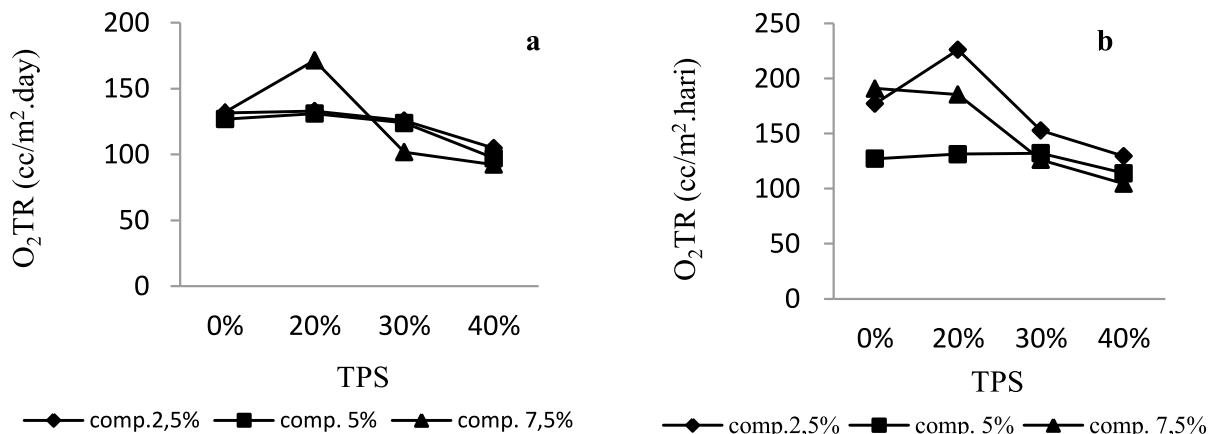
Untuk plastik biodegradabel berbahan baku TPS/HDPE, nilai WVTR tertinggi didapat pada konsentrasi TPS/

HDPE (0/100) dan konsentrasi *compatibilizer* 7,5% yaitu sebesar 1,59 g/m².hari, sedangkan nilai terendah diperoleh pada konsentrasi TPS/HDPE (40/60) dan konsentrasi *compatibilizer* 5% yaitu sebesar 0,40 g/m².hari. Nilai WVTR plastik biodegradabel TPS/LLDPE cenderung lebih tinggi bila dibandingkan dengan TPS/HDPE. Hal tersebut dikarenakan LLDPE mempunyai derajat kristalinitas yang lebih rendah bila dibandingkan dengan HDPE. Kristalinitas suatu molekul polimer akan menghambat laju perpindahan uap air. Mali dkk. (2006) mengatakan bahwa nilai WVTR tergantung derajat kristalinitas. Semakin tinggi derajat kristalinitas suatu polimer, maka polimer tersebut memiliki nilai WVTR rendah.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan tidak ada interaksi yang nyata antara konsentrasi TPS dan *compatibilizer* dalam mempengaruhi nilai permeabilitas oksigen plastik biodegradabel TPS-LLDPE/HDPE. Nilai permeabilitas oksigen (O₂TR) berkisar antara 92,30-295,92 cc/m².hari (Gambar 6) untuk TPS/LLDPE, sedangkan untuk komposit TPS/HDPE, nilai permeabilitas oksigen berkisar antara 104,61-



Gambar 5. Nilai WVTR plastik biodegradabel TPS-a) LLDPE; b) HDPE



Gambar 6. Nilai O₂TR plastik biodegradabel TPS-a) LLDPE; b) HDPE

226,21 g/m².hari (Gambar 6). Nilai permeabilitas oksigen tertinggi didapat pada konsentrasi TPS/LLDPE (30/70) dan konsentrasi *compatibilizer* 7,5% yaitu sebesar 295,92 cc/m².hari, sedangkan nilai terendah diperoleh pada konsentrasi TPS/LLDPE (40/60) dan konsentrasi *compatibilizer* 7,5% yaitu sebesar 92,30 cc/m².hari. Untuk plastik biodegradabel berbahan baku TPS/HDPE, nilai permeabilitas oksigen tertinggi didapat pada konsentrasi TPS/HDPE (20/80) dan konsentrasi *compatibilizer* 2,5% yaitu sebesar 226,21 cc/m².hari, sedangkan nilai terendah diperoleh pada konsentrasi TPS/HDPE (40/60) dan konsentrasi *compatibilizer* 7,5% yaitu sebesar 104,61 cc/m².hari.

Nilai permeabilitas oksigen pada Gambar 6 menunjukkan kecenderungan menurun dengan semakin meningkatnya konsentrasi TPS. Hal tersebut dikarenakan pati dengan sifat polaritas tinggi mempunyai ikatan hidrogen yang besar dan gugusnya cenderung lebih mengabsorpsi dan mengikat uap air dari pada oksigen. Shothornvit dan Pitak (2007) mengatakan bahwa umumnya biopolimer yang bersifat hidrofilik menunjukkan *barrier* yang baik terhadap oksigen. Meningkatnya kandungan polisakarida dapat menurunkan nilai permeabilitas terhadap oksigen.

KESIMPULAN

Terdapat interaksi yang nyata antara TPS dan *compatibilizer* dalam mempengaruhi nilai densitas, kuat tarik, perpanjangan putus dan ketahanan benturan, tetapi tidak ada interaksi yang nyata antara antara TPS dan *compatibilizer* dalam mempengaruhi nilai kecepatan alir, temperatur leleh, WVTR dan O₂TR. Karakteristik kecepatan alir, kekuatan tarik, perpanjangan putus, dan permeabilitas oksigen plastik biodegradabel berbahan baku TPS-LLDPE/HDPE cenderung menurun, sedangkan karakteristik permeabilitas terhadap uap air cenderung meningkat dengan semakin meningkatnya kandungan TPS. *Compatibilizer* berperan sebagai penghubung bahan yang berbeda karakteristik antara LLDPE/HDPE yang bersifat hidrofobik dan TPS yang bersifat hidrofilik. *Compatibilizer* mampu meningkatkan adhesivitas permukaan antara LLDPE/HDPE dan TPS. Hal tersebut ditandai dengan kecenderungan meningkatnya karakteristik fisik dan mekanik plastik biodegradabel dengan meningkatnya pemberian *compatibilizer*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pertanian Republik Indonesia yang telah membiayai penelitian ini melalui

program Kerjasama Kemitraan Penelitian Pertanian dengan Perguruan Tinggi (KKP3T) Tahun 2011.

DAFTAR PUSTAKA

- Aburto, J., Thiebaud, S., Alric, I., Borredon, E., Bikiaris, D., Prinos, J. dan Panayiotou, C. (1997). Properties of octanoated starch and its blends with polyethylene. *Carbohydrate Polymer* **34**: 101-112.
- Akbari, B. dan Bagheri, R. (2012). Influence of compatibilizer and processing conditions on morphology, mechanical properties, and deformation mechanism of PP/clay nanocomposite. *Journal of Nanomaterials* **2012**: 1-7.
- [ASTM] American Society for Tensing and Material. (191). *Annual book of ASTM standards*. Volume ke-14. Philadelphia: America Society for Testing and Material.
- Baillie, C. (2004). *Green Composites*. Polymer Composites and The Enviroment. CRC Press. New York, Washington DC.
- Dinas Kebersihan Prop. DKI Jakarta. (2011). *Laporan Tahunan 2010*. Pemerintah Daerah Prop. DKI Jakarta.
- Feng, D., Caulfield, D.F. dan Sanadi, A.R. (2001). Effect of Compatibilizer on the structure-property Relationships of kenaf-fiber/pp composites. *Polymer Composites* **22**: 506-517.
- Godbole, S., Gote, S., Latkar, M. dan Chakrabarti, T. (2003). Preparation and characterization of biodegradable poly-3-hydroxybutyrate–starch blend films. *Bioresource Technology* **86**: 33-37.
- Hwang, K.J., Park, J.W., Kim, L., Ha, C.S. dan Kim, G.H. (2006). Effect of compatibilizer on the microstructure and properties of partially biodegradable LDPE/aliphatic polyester/organoclay nanocomposites. *Macromolecular Research* **14**(2): 179-186.
- Ismail, H. dan Hairunezam, H.M. (2001). The effect of a compatibilizer on curing characteristics, mechanical properties and oil resistance of styrene butadiene rubber/epoxidized natural rubber blends. *European Polymer Journal* **37**: 39-44.
- Kim, M. dan Lee, S.J. (2002). Characteristics of crosslink potato starch and starch-filled linear low density polyethylene films. *Carbohydrate Polymers* **50**: 331-337.
- Kumar, M., Mohanty, S., Nayak, S.K. dan Rahail P.M. (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, P.E. dan Sousa, J.A. (2005). Influence of PP-g-MAH compatibilizer characteristics on interphase and mechanical properties of glass fiber reinforced polypropylene composites. *Proceeding. 14th Brazilian Congress on Materials Engineering and Science* : 23501-23512.
- Machado, A.V. dan Covos, J.A. (2000). Monitoring polyolefin modification along the axis of a twin screw extruder maleic anhydride grafting. *Journal of Polymer Science Part A*. **38**: 3919-3932.
- Mali, S., Grossmann, M.V.E., Garcí'a, M.A., Martino, M.N. dan Zaritzky, N.E. (2006). Effects of controlled storage on thermal, mechanical and barrier properties of plasticized films from different starch sources. *Journal of Food Engineering* **75**: 453-460.
- Mbey, J.A., Hoppeb, S. dan Thomasa, F. (2012). Cassava starch-kaolinite composite film. Effect of clay content and claymodification on film properties. *Carbohydrate Polymers* **88**: 213-222.
- Pedroso, A.G. dan Rosa, D.S. (2005). Mechanical, Thermal and Morphological Characterization of Recycled LDPE/Corn starch Blends. *Carbohydrate Polymer* **59**: 1-9.
- Prachayawarakorn, J., Sangnitdej, P. dan Boonpasith, P. (2010). Properties of thermoplastic rice starch composites reinforced by cotton fiber or low-density polyethylene. *Carbohydrate Polymers* **81**: 425-433.
- Riaz, U., Vashist, S.A., Ahmad, S.M. dan Ashraf, S.M. (2010). Compatibility and biodegradability studies of linseed oil epoxy and PVC blends. *Biomass and Bioenergy* **34**: 396-401.
- Rozman, H.D., Tan, K.W., Kumar, R.N., Abubakar A., Mohd. Ishak, Z.A. dan 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.
- Shokri, A.A., Bakhshandeh, G.R. dan Farahani, D. (2005). Effect of anhydride additives on mechanical and rheological properties of NBR/PVC blends. *Proceeding of The 8th Polymers for Advanced Technologies International Symposium*. 13-17.
- Sothornvit, R. dan Pitak, N. (2007). Oxygen permeability and mechanical properties of banana films. *Food Research International* **40**: 365-370.
- Surdia, T. dan Saito, S. (1985). *Pengetahuan Bahan Teknik*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Wang, Z., Qu B., Fan W., Hu Y. dan 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, Q.X., Yu, Z.Z., Xie, X.L., Naito, K. dan Kagawa, Y. (2007). Preparation Crystalline Morphology of Biodegradable Starch/Clay Nanocomposites. *Polymer* **48**(24): 7193-7200.