

PENGGUNAAN *COMPATIBILIZER* UNTUK MENINGKATKAN KARAKTERISTIK MORFOLOGI, FISIK DAN MEKANIK PLASTIK BIODEGRADABEL BERBAHAN BAKU PATI TERMOPLASTIK POLIETILEN

Waryat¹, M. Romli², A. Suryani², I. Yuliasih² dan S. Johan³

¹Pascasarjana Teknologi Industri Pertanian-IPB
Kampus IPB, Darmaga Bogor (G Wing S) 16680

²Teknologi Industri Pertanian-IPB

Kampus IPB, Darmaga Bogor (G Wing S) 16680

³Perekayasa pada Sentra Teknologi Polimer-BPPT

Kawasan Puspitek, Serpong-15314, Tangerang Selatan

e-mail: waryat21@yahoo.com

Diterima: 14 Agustus 2012

Diperbaiki: 10 Januari 2013

Disetujui: 14 Februari 2013

ABSTRAK

PENGGUNAAN *COMPATIBILIZER* UNTUK MENINGKATKAN KARAKTERISTIK MORFOLOGI, FISIK DAN MEKANIK PLASTIK BIODEGRADABEL BERBAHAN BAKU PATI TERMOPLASTIK-LLDPE. 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 adanya penggunaan plastik ramah lingkungan dari bahan baku yang dapat diperbarui dengan metode *blending*. Permasalahan yang dihadapi dalam pembuatan plastik biodegradabel berbahan baku campuran antara bahan alami dan sintetis adalah tidak kompetibel 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 bahan ditambahkan seperti *compatibilizer*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan *compatibilizer* terhadap sifat fisik dan mekanik plastik biodegradabel berbahan baku campuran pati termoplastik dan *Linear Low Density PolyEthylene (LLDPE)*. Penelitian ini dibagi menjadi dua tahap yaitu pembuatan pati termoplastik dan pembuatan plastik biodegradabel. Parameter yang diamati adalah morfologi permukaan plastik, kecepatan alir, densitas, titik leleh dan sifat mekanik. Struktur morfologi permukaan plastik biodegradabel *LLDPE* menjadi lebih kompatibel dan homogen dengan penggunaan *compatibilizer* dengan ditandai menyebarnya pati termoplastik (TPS) ke matriks polimer. *Compatibilizer* berperan sebagai penghubung bahan yang berbeda karakteristik antara *LLDPE* yang bersifat hidrofobik dan TPS yang bersifat hidrofilik. Penggunaan *compatibilizer* menjadikan plastik biodegradabel lebih kompatibel dan homogen serta dapat meningkatkan sifat fisik dan mekanik. *Compatibilizer* mampu meningkatkan adhesivitas permukaan antara *LLDPE* dan TPS. Hal tersebut ditandai dengan kecenderungan meningkatnya karakteristik fisik dan mekanik plastik biodegradabel dengan meningkatnya pemberian *compatibilizer*.

Kata kunci: *Compatibilizer*, Pati termoplastik, *LLDPE*, Plastik biodegradabel

ABSTRACT

USING OF *COMPATIBILIZER* FOR IMPROVE MORPHOLOGICAL PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BIODEGRADABLE PLASTIC FROM THERMOPLASTIC STARCH-POLYETHYLENE BLENDS. Plastics as packaging material is very likely and used many time. However, plastics waste can pollute environment because plastic difficult to biodegrade by microorganism. Effort to reduce dependent plastic is develop plastic that environment friendly from renewable resources by blending method. Problems encountered in the manufacture of biodegradable plastic are not compatible between hydrophilic/polar and hydrophobic/non-polar materials. To improve the compatibility between the two material blend were added materials such as *compatibilizer*. The purpose of this study was to determine the effect of *compatibilizer* on the physical and mechanical properties of biodegradable plastics made from thermoplastic starch (TPS) and *Linear Low Density PolyEthylene (LLDPE)* blend. This study consisted two steps, namely preparation of thermoplastic starch, and manufacturing process of biodegradable plastic. The plastic properties

observed included morphological structure, melt flow rate, density, temperature melting, and mechanical properties. Morphological structure of biodegradable plastic become compatible and homogeneous with the using of compatibilizer with the marked spread of TPS into the polymer matrix. Compatibilizer is able to mediate between two materials which have characteristics different that is LLDPE (hydrophobic) and TPS (hydrophilic). Using of a compatibilizer made biodegradable plastic more compatible, homogeneous and good mechanical properties. Compatibilizer can improve surface adhesivitas between LLDPE and TPS blend. The presence of MA-g-LLDPE resulted greater physical and mechanical properties of biodegradabel plastic than without compatibilizer.

Keywords: Compatibilizer, Thermoplastic starch, LLDPE, Biodegradable plastic

PENDAHULUAN

Penanganan sampah plastik antara lain dilakukan dengan cara daur ulang, pembakaran (*incineration*), dan penguburan (*landfill*). Pembakaran sampah plastik menghasilkan zat-zat beracun yang berbahaya bagi makhluk hidup, sementara cara penanaman tidak efektif karena plastik sangat sulit terdegradasi. 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 dan jamur [1], sehingga penggunaannya tidak menimbulkan dampak bagi lingkungan. Penggunaan bahan alami sebagai bahan pembuat plastik biodegradabel mempunyai keuntungan dari jumlahnya melimpah, harganya relatif murah, mudah diperoleh dan dapat terdegradasi oleh lingkungan [2]. Salah satu bahan yang banyak digunakan untuk pembuatan plastik biodegradabel adalah biomassa seperti pati ubi kayu. Produksi Ubi kayu Indonesia mencapai 23.918.118 ton pada tahun 2010 [3]. Pati ubi kayu sangat potensial untuk dijadikan bahan baku pati termoplastik [4,5]. Pati ubi kayu juga banyak digunakan untuk pembuatan plastik biodegradabel [6,7] karena pati ubi kayu memiliki sifat permeabilitas oksigen yang cukup rendah dan dapat terdegradasi.

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, sifat alir yang sangat rendah dan bersifat hidrofilik [7]. Untuk menutupi kelemahan bahan alami sebagai bahan pembuat plastik biodegradabel adalah mencampurkannya dengan bahan sintetis seperti *Linear Low Density PolyEthylene (LLDPE)*, *High Density PolyEthylene (HDPE)*, *PolyPropylene (PP)* dan yang lainnya. Bahan sintetis mempunyai kelebihan antara lain sifat mekanik yang tinggi, tahan terhadap suhu tinggi, sifat alir yang tinggi, mudah dibentuk dan bersifat hidrofobik [8]. Pencampuran polimer alami dan sintetis diharapkan akan mempunyai sifat fisik mekanik yang tidak jauh berbeda dengan plastik konvensional dan limbah/sampah yang dihasilkan dapat terdegradasi oleh lingkungan.

Permasalahan yang dihadapi dalam pembuatan plastik biodegradabel berbahan baku campuran antara bahan alami dan sintetis bersifat 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 seperti *compatibilizer*. Penambahan *compatibilizer* diharapkan dapat meningkatkan homogenitas larutan campuran. Fungsi lain dari *compatibilizer* dalam campuran polimer adalah memperbaiki adhesivitas antar fasa [9]. Penelitian bertujuan untuk mengetahui peran *compatibilizer* dalam menyatukan bahan yang tidak kompatibel yaitu antara *LLDPE* dan pati termoplastik (TPS). *Compatibilizer* yang banyak digunakan adalah maelat anhidrat [10-12], asam suksinat dan asam akrilat. Penambahan maelat anhidrat banyak diaplikasikan secara luas karena harga yang lebih murah, toksisitas rendah dan kemudahan anhidrat dicangkok pada polimer dengan suhu pencairan normal tanpa homopolimerisasi yang signifikan. Reaksi anhidrida dengan pati hidroksil membentuk ester yang tidak menghasilkan air selama reaksi [13].

Penelitian penggunaan *compatibilizer* berupa maelat anhidrat pada *HDPE/clay* nanokomposit dengan metode *penggraftingan* dapat berikatan dengan polietilen hal ini disebabkan maelat anhidrat mempunyai reaktivitas yang rendah [14]. Pencampuran *HDPE* dengan tapioka menggunakan *compatibilizer* PE-graft-maelat anhidrat [15]. Penggunaan *compatibilizer* MA dan AA untuk mencampurkan *LDPE* dengan tapioka [16]. Pencampuran *LDPE* dengan pati jagung menggunakan *compatibilizer* maleat anhidrida [13]. Penggunaan *VinylTriMetoksi Silane (VTMS)* sebagai *compatibilizer* [17]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan *compatibilizer* MA-g-LLDPE terhadap sifat fisik dan mekanik plastik biodegradabel berbahan baku campuran pati termoplastik dan *LLDPE*.

METODE PERCOBAAN

Bahan dan Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Twin Screw Extruder*, Rheomix 3000 Merek HAAKE, *Hydraulic hot press*, Densimeter, *Lloyd Instrument* untuk menguji kuat tarik dan *Elongation at break* (Auto Strain NO. 216 tipe YZ-Yasuda Seiki), dan alat *Scanning Electron Microscope* (VE-8800 Low Voltage -Keyence, Co., Osaka, Jepang). Bahan-bahan yang digunakan dalam

penelitian ini tapioka merk "Pak Tani", gliserol, air destilata, *Linier Low Density Polyethylene (LLDPE)* UF181051 dengan densitas sebesar $0,919 \text{ g/cm}^3$ hingga $0,923 \text{ g/cm}^3$ dan *Melt Flow Indeks* 0,8 hingga 1,2 yang diperoleh dari PT Chandra Asri, antioksidan (Irganok) dan *compatibilizer* (MA-g-LLDPE).

Tahapan Penelitian

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

Pembuatan Pati Termoplastik

Proses pembuatan produk termoplastis sebagai berikut : pencampuran pertama dilakukan antara gliserol dan air *aquadest* selama 5 menit, kemudian campuran *aquadest* dan gliserol ditambahkan ke dalam bahan baku dan dilakukan pengadukkan hingga terhomogenisasi sempurna. *Aging* dilakukan selama 8 hari agar campuran *aquadest* 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 tapioka termoplastik dengan antioksidan (irganok) setelah itu dilakukan pencampuran dengan *compatibilizer* MA-g-LLDPE dan LLDPE. Perbandingan antara tapioka termoplastik dengan LLDPE adalah 0 : 100 ; 20 : 80 ; 30 : 60 dan 40 : 60 (b/b) menggunakan *Twin Srew 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, kecepatan alir, sifat termal dan sifat mekanik [19].

Analisis Data

Rancangan percobaan pada tahap keempat menggunakan rancangan acak lengkap faktorial yang terdiri dari dua faktor, yaitu konsentrasi *compatibilizer* yang digunakan dengan tiga taraf (2,5%, 5%, 10%) (faktor A) dan konsentrasi perbandingan tapioka termoplastik : LLDPE dengan empat taraf (0 : 100 ; 20 : 80 ; 30 : 70 dan 40 : 60) (faktor B) dengan 2 ulangan.

Apabila terdapat pengaruh nyata dilanjutkan dengan uji *Duncan's Multiple Range Test (DMRT)* pada jenjang nyata 5%.

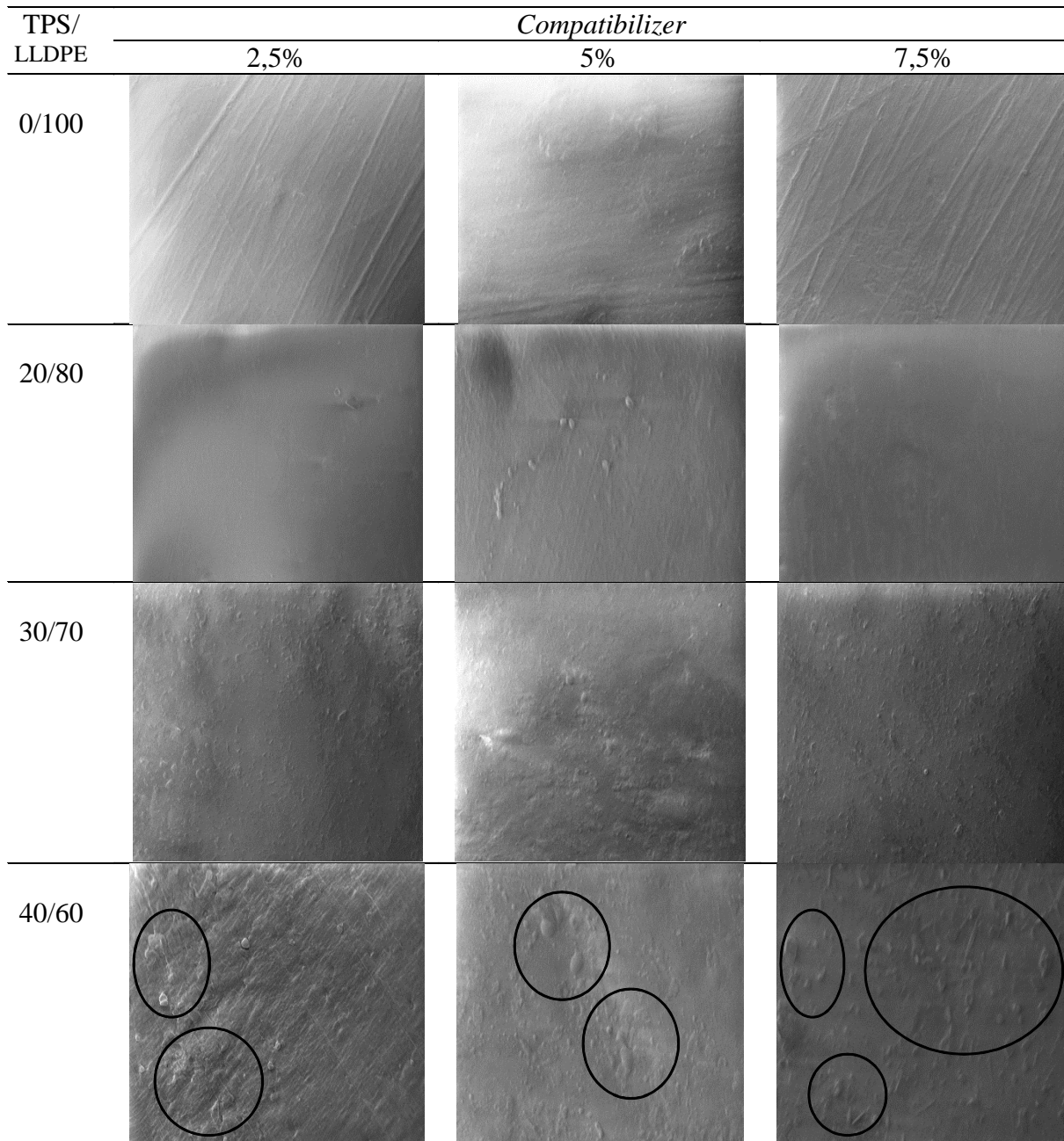
HASIL DAN PEMBAHASAN

Morfologi Plastik Biodegradabel

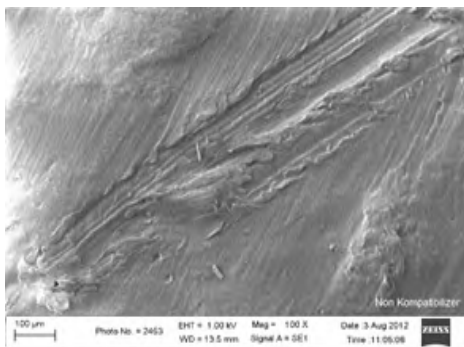
Plastik biodegradabel memperlihatkan struktur permukaan yang halus pada perbandingan pati termoplastik-*Linier Low Density Polyethylene (LLDPE)/ High Density Polyethylene (HDPE)* (0 : 100 ; 20 : 80 dan 30 : 70) serta pati termoplastik tersebar secara sempurna (Gambar 1). Pada pengamatan permukaan plastik biodegradabel pati termoplastik/LLDPE (40 : 60), struktur permukaan memperlihatkan kurang halus, hal tersebut ditandai dengan pati terkumpul pada beberapa spot dan tidak menyebar secara merata. Hal tersebut dikarenakan tingginya konsentrasi pati termoplastik yang diberikan. Dispersi pati pada matriks polimer semakin menurun dengan meningkatnya pemberian pati termoplastik (TPS). Hal tersebut diindikasikan distribusi yang tidak merata pati termoplastik pada matriks polimer yang disebabkan oleh lemahnya adhesi permukaan (*interface*) dan kurangnya interaksi diantara kedua polimer tersebut. pati termoplastik yang bersifat hidrofilik cenderung memisah dengan matriks LLDPE yang bersifat hidrofobik.

Pencampuran pati termoplastik dan LLDPE tanpa penambahan *compatibilizer* MA-g-LLDPE (Gambar 2) menyebabkan campuran kurang terdispersi secara sempurna, hal tersebut terlihat pada struktur permukaan plastik biodegradabel yang terdapat fasa kurang homogen dan menunjukkan adhesi yang lemah. Tampak pada permukaan plastik granula pati yang berasal dari TPS tidak menyatu dengan polimer LLDPE karena memiliki tegangan permukaan yang tinggi disebabkan perbedaan polaritas diantara keduanya. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya [20] yang menyatakan bahwa lemahnya adesi antara polimer sintesis dan alami mengindikasikan kurangnya interaksi diantara kedua polimer tersebut. Hal tersebut diatas juga telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yaitu mencampurkan LDPE dengan pati jagung. Permukaan film hasil campuran LDPE dan pati jagung menunjukkan distribusi granula pati jagung yang tidak merata, hal tersebut dikarenakan lemahnya gaya adesi dan kurang tercampurnya kedua bahan tersebut pada permukaan [21].

Penambahan *compatibilizer* MA-g-LLDPE 2,5 %, 5 % dan 7,5 % (Gambar 1) tampak pati termoplastik menyebar secara merata pada komponen matriks LLDPE. Hal tersebut disebabkan telah terjadi ikatan antara maleat anhidrat pada *compatibilizer* MA-g-LLDPE dan pati termoplastik. Selain itu, penggunaan *compatibilizer* dapat meningkatkan adesi permukaan antara LLDPE dan pati [22]. Keberadaan maleat anhidrat sebagai jembatan atau pengikat antara dua polimer yang berbeda sifat. Ikatan ester yang kuat dibentuk antara maleat anhidrat



Gambar 1. Citra SEM morfologi permukaan plastik biodegradabel pati termoplastik/LLDPE (pembesaran 100x)



Gambar 2. Citra SEM morfologi permukaan plastik biodegradabel tanpa compatibilizer

pada *compatibilizer* MA-g-LLDPE dan pati termoplastik sehingga ketidakkompatibelan antara LLDPE dan pati termoplastik dapat dikurangi [17].

Peningkatan kandungan *compatibilizer* menyebabkan dispersi antara campuran LLDPE dan TPS meningkat dan partikel/granula TPS tidak terlihat pada campuran serta permukaan plastik lebih halus. Pendapat tersebut juga didukung oleh Mengeloglu dan Karakus (2008) [23] yang menyatakan bahwa keberadaan *compatibilizer* (MAPP) sebagai *coupling agent* dapat meningkatkan adesi di antara kedua polimer dengan ditandai mengikatnya pati gandum ke matriks polimer (PP). Hal yang sama juga menemukan hasil yang sama bahwa penggunaan *compatibilizer* PE-g-DBM

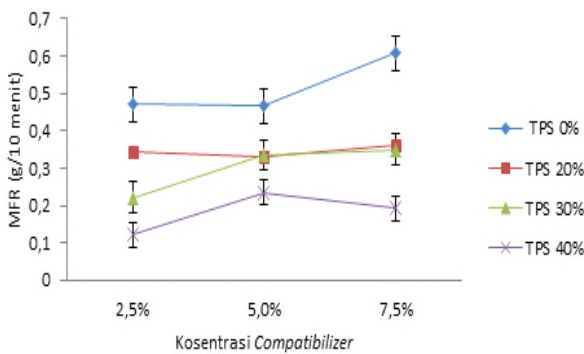
meningkatkan kompatibilitas antara campuran LLDPE dan Magnesium hidroksida karena adanya gaya adesi antara kedua campuran tersebut [22].

Kecepatan Alir Plastik Biodegradabel

Hasil pengujian kecepatan alir *Melt Flow Rate (MFR)* plastik biodegradabel ditunjukkan pada Gambar 3. Kecepatan alir adalah suatu ukuran kekentalan material plastik pada saat terkena panas diatas suhu lelehnya. Pada industri plastik, *MFR* berguna dalam menentukan jenis proses dan kondisi proses (umumnya terkait pengaturan suhu) yang dapat digunakan terhadap material tersebut. Pada prinsipnya semakin tinggi *MFR* maka material akan semakin encer sehingga suhu proses yang dibutuhkan semakin rendah. Nilai *MFR* juga berhubungan dengan viskositas campuran. Semakin tinggi nilai viskositas suatu campuran maka *MFR* semakin rendah.

Analisis statistik menunjukkan tidak ada interaksi yang nyata antara konsentrasi *compatibilizer* dan konsentrasi TPS dalam mempengaruhi nilai *MFR*. Pada Gambar 3 terlihat nilai *MFR* cenderung meningkat dengan meningkatnya kandungan *compatibilizer*. Nilai *MFR* tertinggi sebesar 0,61 g/10 menit didapat dari pemberian *compatibilizer* sebesar 7,5 % pada perbandingan LLDPE:TPS (100:0), sedangkan nilai *MFR* terendah sebesar 0,12 g/10 menit terjadi pada pemberian *compatibilizer* sebesar 2,5% dengan perbandingan LLDPE:TPS (60:40). Hal tersebut disebabkan granula pati yang mempunyai sifat alir yang rendah telah berinteraksi dengan matriks polimer LLDPE dengan adanya penambahan *compatibilizer*. Hal tersebut diatas sama dengan penelitian sebelumnya [20], telah terjadi interaksi antar permukaan (*interfacial*) antara polietilen dan pati karena gugus karboksilat dan keton pada polietilen dapat bereaksi dengan gugus karboksilat pada pati untuk membentuk ikatan diantara dua polimer tersebut. Juga telah dilaporkan oleh peneliti sebelumnya bahwa *compatibilizer* sangat berperan dalam memodifikasi struktur polietilen [21].

Penambahan pati termoplastik cenderung menurunkan nilai *MFR*. TPS berfungsi sebagai bahan

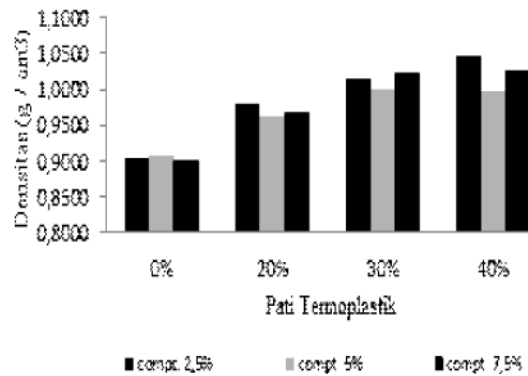


Gambar 3. Nilai melt flow rate plastik biodegradabel pati termoplastik-LLDPE

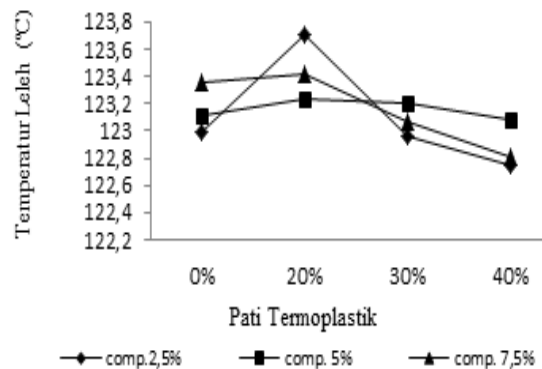
pengisi yang cenderung meningkatkan viskositas campuran. Pengukuran nilai *MFR* secara tidak langsung juga mengukur viskositas larutan. Semakin banyak bahan pengisi yang dicampurkan akan meningkatkan nilai viskositas dan menurunkan nilai *MFR*. Hal tersebut juga dikemukakan oleh peneliti sebelumnya yang menyatakan bahwa pati sebagai bahan pengisi dapat meningkatkan modulus elastik suatu campuran dan viskositas larutan campuran [20].

Densitas

Analisis sidik ragam menunjukkan adanya interaksi antara konsentrasi *compatibilizer* dan pati termoplastik yang digunakan terhadap nilai densitas. Nilai densitas awal LLDPE yang digunakan untuk penelitian ini adalah 0,919g/cm³ hingga 0,923 g/cm³. Nilai densitas LLDPE/TPS berkisar antara 0,9003 g/cm³ hingga 1,0466 g/cm³ (Gambar 4). Nilai densitas cenderung mengalami peningkatan dari densitas awal yang digunakan seiring dengan meningkatnya pemberian pati termoplastik dan *compatibilizer*. Hal tersebut dikarenakan semakin banyak bahan adiktif yang ditambahkan dalam suatu matriks polimer, maka berat dan kerapatan polimer semakin tinggi, sehingga densitas menjadi tinggi. Hasil yang sama juga diperoleh oleh peneliti sebelumnya yang menyatakan bahwa nilai densitas meningkat dengan meningkatnya bahan campuran (LOE/PVC) [25]. Nilai densitas yang meningkat disebabkan oleh meningkatnya



Gambar 4. Densitas plastik biodegradabel pati termoplastik-LLDPE



Gambar 5. Suhu leleh plastik biodegradabel pati termoplastik-LLDPE

interaksi permukaan antara LLDPE dan pati karena adanya *compatibilizer*.

Sifat Termal

Hasil pengujian suhu leleh menggunakan *Differential Scanning Calorimeter (DSC)* berkisar antara 122,75 °C hingga 123,71°C untuk LLDPE/pati termoplastik. Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa tidak ada interaksi antara konsentrasi pati termoplastik dan *compatibilizer* dalam mempengaruhi nilai suhu leleh. Namun pada Gambar 5, nilai suhu leleh cenderung menurun seiring meningkatnya konsentrasi pati termoplastik.

Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi pati maka semakin menurun suhu leleh [26]. Peningkatan konsentrasi pati kembang dapat menurunkan suhu campuran polimer (PHB/TPS) namun penurunannya tidak berubah signifikan. Meningkatnya konsentrasi pati termoplastik menyebabkan interaksi antara LLDPE dan pati termoplastik berkurang sehingga suhu yang dibutuhkan untuk melelehkan polimer menjadi menurun.

Penurunan suhu leleh juga disebabkan adanya penambahan *compatibilizer*. *Compatibilizer* sebagai *coupling agent* mempunyai berat molekul yang lebih rendah bila dibandingkan dengan LLDPE. Berat molekul yang rendah dari LLDPE-g-MA dapat meningkatkan mobilitas rantai polimer, sehingga suhu yang dibutuhkan untuk melelehkan suatu polimer lebih rendah. Hal tersebut juga dikemukakan oleh peneliti sebelumnya bahwa berat yang rendah dari komposit kopolimer dengan penambahan *coupling agent* mempunyai suhu leleh lebih rendah bila dibandingkan dengan tanpa penambahan *coupling agent* [27].

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 kuat tarik (*tensile strength*),

elongation at break dan ketahanan benturan (*tensile impact*) plastik biodegradabel dapat dilihat pada Tabel 1.

Analisis statistik menunjukkan interaksi yang nyata antara konsentrasi *compatibilizer* dan konsentrasi TPS dalam mempengaruhi nilai rata-rata kekuatan tarik. Hal ini menunjukkan bahwa dengan meningkatnya kandungan *compatibilizer* mengakibatkan pencampuran LLDPE dan pati pada plastik biodegradabel sangat kompatibel dan homogen. Penambahan *compatibilizer* menyebabkan interaksi yang sangat baik antara pati sebagai bahan pengisi dan LLDPE. Plastik biodegradabel dengan perbandingan TPS : LLDPE dengan 0 : 100 ; 20 : 80 dan 40 : 60 nilai kekuatan tarik mengalami peningkatan dengan penambahan *compatibilizer* dari 2,5 % ke 5 % tetapi cenderung menurun dengan penambahan *compatibilizer* 7,5 %.

Pada Tabel 1 nilai kekuatan tarik mengalami peningkatan dari 24,13 MPa ke 26,45 MPa untuk LLDPE : TPS (100 : 0), 6,93 MPa ke 8,96 untuk LLDPE : TPS (70 : 30) dan 2,54 MPa ke 7,11 MPa sedangkan nilai kuat tarik untuk LLDPE : TPS (80 : 20) mengalami peningkatan dengan bertambahnya kandungan *compatibilizer*.

Compatibilizer berfungsi sebagai jembatan atau penghubung antara komponen hidrofobik (LLDPE) dan hidrofilik (TPS). Penggunaan *compatibilizer* untuk meningkatkan sifat mekanik suatu komposit karena adanya interaksi antara maelat anhidrat dengan gugus aminosilanol pada serat [28]. Nilai kekuatan tarik menurun dengan penambahan *compatibilizer* 7,5 %, hal ini diduga disebabkan interaksi yang terjadi antara campuran LLDPE dan TPS hanya bersifat fisik dan terbentuknya perbedaan antar permukaan gugus polimer hidrofilik dan hidrofobik meskipun sudah dihubungkan oleh *compatibilizer*. Hal tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa penurunan nilai kuat tarik disebabkan terjadinya homopolimerisasi yang menyebabkan monomer-monomer maelat anhidrat cenderung berikatan sendiri dibandingkan menempel pada rantai LDPE [29]. Nilai kekuatan tarik menurun dengan penambahan asam sitrat lebih dari 3 % pada pencampuran TPS/Polietilen [30].

Tabel 1. Nilai rata-rata kuat tarik (*tensile strength*), *elongation at break* dan ketahanan benturan (*tensile impact*) plastik biodegradabel

LLDPE:TPS	Kandungan <i>Compatibilizer</i> (%)	Kuat tarik (MPa)	Elongasi (%)	Ketahanan benturan (kgf.cm/cm ²)
100:0	2,5	24,13 ± 1,70	1467,85±52,19	14,14 ± 2,81
100:0	5,0	26,45 ± 0,93	1659,29±200,77	15,07 ± 0,43
100:0	7,5	25,67 ± 3,28	1764,94±148,70	8,57 ± 1,84
80:20	2,5	9,08 ± 0,42	69,00±4,58	19,96 ± 3,11
80:20	5,0	9,88 ± 2,93	93,62±8,16	15,64 ± 6,77
80:20	7,5	10,54 ± 0,26	122,13±18,36	9,61 ± 1,88
70:30	2,5	6,93 ± 0,17	32,07±4,75	2,77 ± 0,02
70:30	5,0	8,96 ± 0,84	31,00±7,81	41,70 ± 7,16
70:30	7,5	1,82 ± 0,85	112,67±12,06	51,25 ± 13,13
60:40	2,5	2,54 ± 0,64	24,33±0,58	7,28 ± 3,11
60:40	5,0	7,11 ± 0,70	152,74±70,94	22,61 ± 2,47
60:40	7,5	3,22 ± 0,08	40,85±30,01	32,45 ± 7,01

Nilai *elongation at break* plastik biodegradabel seperti yang tertera dalam Tabel 1 menunjukkan kecenderungan meningkat dengan meningkatnya pemberian *compatibilizer*. Hal tersebut dikarenakan adanya *compatibilizer* meningkatkan fleksibilitas dan menurunkan kekakuan campuran *LLDPE/TPS*. Hasil yang sama juga diperoleh dari penelitian sebelumnya bahwa nilai kemuluran meningkat dari 122 % menjadi 194 % dan 861 % dengan penggunaan *compatibilizer* (ethilen oktan dan olefin blok kopolimer) [31].

Peningkatan kandungan *compatibilizer* menyebabkan campuran polimer yang berbeda sifat menjadikan campuran lebih kompatibel dan fleksibel. Hal ini sesuai penelitian sebelumnya bahwa peningkatan nilai *elongation at break* dikarenakan penurunan kekakuan campuran polimer [32]. Adanya *compatibilizer* bukan hanya meningkatkan sifat mekanik tetapi juga dispersi dan gaya adhesi antara bahan pengisi dan polimer [33]. Akan tetapi hasil yang berbeda ditunjukkan oleh perbandingan *LLDPE* : *TPS* (60 : 40) pada konsentrasi *compatibilizer* 5 % dan 7,5 %. Nilai kemuluran mengalami penurunan dari 152,74 % menjadi 40,85 %. Hal ini kemungkinan disebabkan lemahnya adhesivitas antara bahan campuran yang menyebabkan komposit menjadi rapuh (*brittle*).

Tensile impact adalah suatu ukuran ketahanan benturan dari suatu produk plastik. Semakin tinggi nilai ketahanan benturan makan bahan tersebut semakin kuat. Nilai *tensile impact* plastik biodegradabel menunjukan peningkatan dengan meningkatnya kandungan *compatibilizer*. Analisis statistik menunjukan interaksi antara konsentrasi *compatibilizer* dan konsentrasi *TPS* mempengaruhi secara nyata nilai rata-rata *tensile impact*.

Nilai tertinggi ketahanan benturan terjadi pada pemberian *compatibilizer* 7,5 % sebesar 51,25 kgf.cm/cm² sedangkan nilai terendah terjadi pada pemberian *compatibilizer* 2,5 % sebesar 2,77 kgf.cm/cm². Hal yang sama menyatakan bahwa meningkatnya konsentrasi *compatibilizer* mengakibatkan meningkatnya nilai *tensile strength* dan *impact strength* [28]. 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.

KESIMPULAN

Penggunaan *compatibilizer* menjadikan struktur morfologi permukaan plastik biodegradabel *LLDPE* menjadi lebih kompatibel dan homogen dengan ditandai menyebarnya *TPS* ke matriks polimer. *Compatibilizer* berperan sebagai penghubung bahan yang berbeda karakteristik antara *LLDPE* yang bersifat hidrofobik dan *TPS* yang bersifat hidrofilik. *Compatibilizer* mampu meningkatkan adhesivitas permukaan antara *LLDPE* dan

TPS. Hal tersebut ditandai dengan kecenderungan meningkatnya karakteristik fisik dan mekanik plastik biodegradabel dengan meningkatnya pemberian *compatibilizer*.

DAFTAR ACUAN

- [1]. M. KUMAR, S. MOHANTY, S. K. NAYAK and P.M. RAHAIL, *Bioresource Technology*, **101** (2010) 8406-8415
- [2]. R. IOVINO, R. ZULLO, M. A. RAO, L. CASSAR and L. GIANFREDA, *Polymer Degradation and Stability*, **93** (2008) 147-157
- [3]. Badan Pusat Statistik, *Indonesia Dalam Angka 2010*, Jakarta (2011)
- [4]. C. YOKESAHACHART and R. YOKSAN, *Carbohydrate Polymers*, **83** (2011) 22-31.
- [5]. M. T. ELIANGELADE, A.A.S. CURVELO, A.C. CORREA and J. M. MARCONCINI, *Industrial Crops and Products*, **37** (2012) 61-68
- [6]. O. AKARANTA and G. E. OKU, *Carbohydrate Polymers*, **34** (1997) 403-405
- [7]. J. A. MBEYA, S. HOPPEB and F. THOMASA, *Carbohydrate Polymers*, **88** (2012) 213-222
- [8]. T. SURDIA dan SAITO S., *Pengetahuan Bahan Teknik*, Jakarta (1985)
- [9]. M. P. STEVENS, *Polymer Chemistry*, Jakarta (2007)
- [10]. D. FENG, D. F. CAULFIELD and A. R. SANADI, *Polymer Composites*, **22** (2011) 506-517
- [11]. M. N. KHALAF, A. M. ALI H and A. A. GEORGIUS, **3** (2008) 54-64
- [12]. SU, J. F., HUANG, Z., YUAN, X.Y., WANG, X., and MIN L., *Carbohydrate Polymers*, **79** (2010) 145-153
- [13]. KALAMBUR S. and RIZVI S.S.H., *J. Plast. Film Sheet*, **22** (2006) 39-58
- [14]. M. MEHRABZADEH, M. R. KAMAL and G. QUINTANAR, *Iranian Polymer Journal*, **18** (2009) 833-842
- [15]. J. R. DONTULWAR, D. K. BORIKAR and B. B. GOGTE, *Carbohydrate Polymers*, **63** (2006) 375-378
- [16]. C. Y. HUANG, M. L. ROAN, M. C. KUO and W. L. LU, *Polym Degrad Stab*, **90** (2005) 95-105
- [17]. J. PRACHAYAWARAKORN, P. SANGNITIDEJ, P. BOONPASITH, *Carbohydrate Polymers*, **81** (2010) 425-433
- [18]. Q. X. ZHANG, Z. Z. YU, X. L. XIE, K. NAITO and Y. KAGAWA, *Polymer*, **48** (2007) 7193-7200
- [19]. [ASTM] American Society for Testing and Material, *Annual book of ASTM standards*, (1991)
- [20]. A.G. PEDROSO and D. S. ROSA, *Carbohydr. Polym.*, **59** (2005) 1-9
- [21]. H. A. PUSHPADASS, P. BHANDARI and M.A. HANNA, *Carbohydrate Polymers*, **82** (2010) 1082-1089

- [22]. Z. WANG, B. QUA, W. FANA, Y. HUB and X. SHENC, *Polymer Degradation and Stability*, **76** (2002) 123-128
- [23]. F. MENGELOGLU and K. KARAKUS, *Sensors*, **8** (2008) 500-519
- [24]. A.V. MACHADO and J. A. COVOS, *Journal of Polymer Science*, **38** (2010) 3919-3932
- [25]. U. RIAZ, S. A. VASHIST, S. M. AHMAD and S. M. ASHRAF, *Biomass and Bioenergy*, **34** (2010) 396-401
- [26]. J. ABURTO, S. THIEBAUD, I. ALRIC, E. BORREDON, D. BIKIARIS, J. PRINOS, and C. PANAYIOTOU, *Carbohydrate Polymer*, **34** (1997) 101-112
- [27]. D. FENG, D. F. CAULFIELD and A. R. SANADI, *Polymer Composites*, **22** (2001) 506-517
- [28]. P. E. LOPES and J. A. SOUSA, *Proc. 14th Brazilian Congress on Materials Engng. & Sci.*, (2005) 23501-23512
- [29]. HASNA M., Gugus Fungsi pada Rantai LDPE, Bandung, (2005)
- [30]. W. NING, Y. JIUGAO, M. XIAOFEI and W. YING, *Carbohydrate Polymers*, **67** (2007) 446-453
- [31]. H. Y. CHEN, B. POON, S. P. CHUM, P. DIAS, A. HILTNER and E. BAER, *Annual Technical Conference - Society of Plastics Engineers*, (2007)
- [32]. A.A.SHOKRI, G. BAKHSHANDEH and D. FARAHANI, *Proceeding of the 8th Polymers for Advanced Technologies International Symposium*, (2005) 13-17
- [33]. L. CHEN, X. QIU, Z. XIE, Z. HONG, J. SUN, X. CHEN and X. JING, *Carbohydrate Polymers*, **65** (2005) 75-80