

**KARAKTERISTIK MEKANIK, PERMEABILITAS DAN BIODEGRABILITAS PLASTIK  
BIODEGRADABLE BERBAHAN BAKU KOMPOSIT PATI TERMOPLASTIK-LLDPE**

**THE MECHANICAL CHARACTERISTIC, BARRIER AND BIODEGRADABILITY OF  
BIODEGRADABLE PLASTIC FROM THERMOPLASTIC STARCH-LLDPE BLENDS**

Waryat<sup>1)\*</sup>, Muhammad Romli<sup>2)</sup>, Ani Suryani<sup>2)</sup>, Indah Yuliasih<sup>2)</sup>, S. Johan A. Nasiri<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP), Jakarta  
Jl. Raya Ragunan No. 30, Pasar Minggu, Jakarta Selatan,  
Email: waryat21@yahoo.com

<sup>2)</sup>Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

<sup>3)</sup>Sentra Teknologi Polimer, BPPT, Serpong

**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 objective of this study was to characterize mechanical, barrier, and biodegradability properties of biodegradable plastic from thermoplastic starch-LLDPE blends. This study consisted of two steps, namely preparation of thermoplastic starch and manufacturing process of biodegradable plastic. The parameters observed included mechanical, barrier, and degradation properties. The results show that increasing thermoplastic starch content decreased mechanical and oxygen transmission rate properties, increased water vapour transmission rate, and its biodegradability. The presence of MA-g-LLDPE compatibilizer resulted in better physical and mechanical properties of biodegradable plastic.*

*Keywords: biodegradable plastic, biodegradability, compatibilizer, mechanical properties, permeability, thermoplastic starch*

**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 dari bahan baku yang dapat diperbarui dengan metode pencampuran / *blending*. Permasalahan yang dihadapi dalam pembuatan plastik *biodegradable* 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 mekanik, *barrier* dan kemampuan degradasi plastik *biodegradable* berbahan baku campuran pati termoplastik-LLDPE. Penelitian ini dibagi menjadi dua tahap yaitu pembuatan pati termoplastik dan pembuatan plastik *biodegradable*. Karakteristik kekuatan tarik, perpanjangan putus, ketahanan bentur, permeabilitas oksigen plastik *biodegradable* berbahan baku pati termoplastik-LLDPE cenderung menurun, sedangkan karakteristik permeabilitas terhadap uap air dan kemampuan biodegradabilitas cenderung meningkat dengan semakin meningkatnya kandungan pati termoplastik. Adanya *compatibilizer* LLDPE-g-MA menghasilkan sifat mekanik lebih baik pada plastik *biodegradable*.

Kata kunci: plastik *biodegradable*, pati termoplastik, *compatibilizer* MA-g-LLDPE

**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 CO<sub>2</sub> yang akan semakin meningkatkan pemanasan global. Salah satu cara yang dikembangkan untuk mengatasi masalah sampah plastik adalah penggunaan plastik *biodegradable*. Plastik *biodegradable* 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 *biodegradable* terbuat dari bahan yang dapat diperbaharui (*renewable*) atau campuran antara bahan sintetis (*non-renewable*) dan bahan alami.

Bahan alami seperti pati termoplastik sebagai bahan pembuat plastik *biodegradable* 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 *biodegradable* adalah mencampurkannya dengan bahan sintetis seperti LLDPE, HDPE, PP dan yang lainnya. Pencampuran polimer alami dan sintetis 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 *biodegradable* dalam penelitian ini adalah mencampurkan pati termoplastik dan LLDPE serta *compatibilizer* ke dalam *twin screw extruder*. Komposisi perbandingan pati termoplastik/LLDPE dan konsentrasi pemberian *compatibilizer* memegang peranan penting dalam menentukan karakteristik plastik *biodegradable*. 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 sintetis serta penggunaan *compatibilizer* diharapkan dapat memperbaiki morfologi permukaan plastik, sifat fisik-mekanik dan *barrier* plastik *biodegradable*. 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, *barrier* dan biodegradabilitas plastik *biodegradable* berbahan baku komposit pati termoplastik dan LLDPE dengan tambahan *compatibilizer* LLDPE-g-MA. Informasi mengenai karakteristik plastik *biodegradable* dapat digunakan untuk menentukan jenis dan kondisi proses serta aplikasi atau pemanfaatan produk tersebut.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan dan Alat

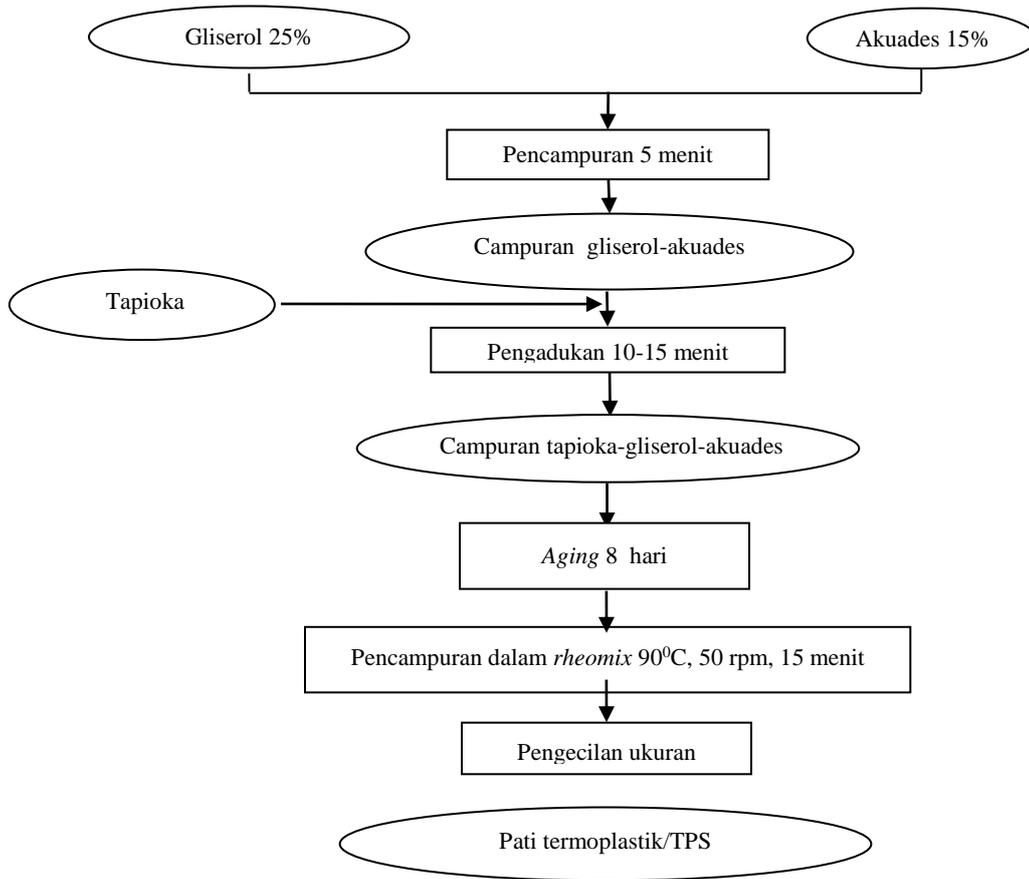
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Twin Screw Extruder* (HAAKE), Rheomix 3000 HAAKE, *hydraulic hot press*, densimeter, *Lloyd Instrument* untuk menguji kuat tarik dan persen pemanjangan (Auto Strain N0. 216 tipe YZ-Yasuda Seiki), dan alat *Scanning Electron Microscope* (VE-8800 Low Voltage -Keyence, Co., Osaka, Jepang), WVTR tester (MOCON) dan O<sub>2</sub>TR 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/cm<sup>3</sup> dan *Melt Flow Indeks* 0,8-1,2 yang diperoleh dari PT Chandra Asri, dan *compatibilizer* (LLDPE-g-MA).

### Tahapan Penelitian

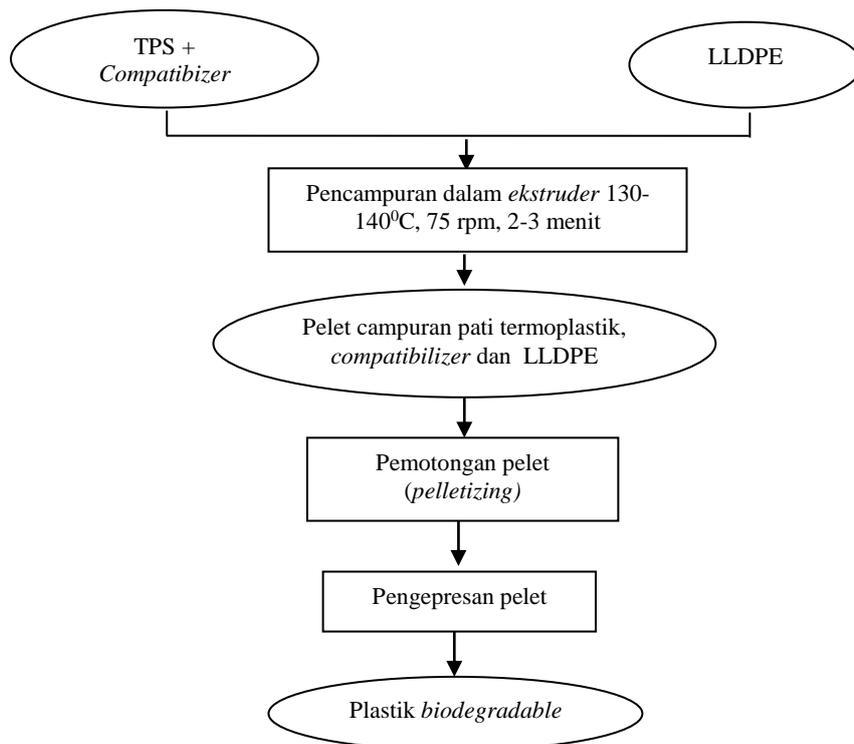
Penelitian ini dibagi menjadi dua tahap yaitu pembuatan pati termoplastik (Gambar 1) dan pembuatan plastik *biodegradable* berbahan baku pati termoplastik-LLDPE (Gambar 2).

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

Proses pembuatan pati termoplastik (TPS) sebagai berikut (Gambar 1): 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.



Gambar 1. Proses pembuatan TPS (Modifikasi Zhang *et al.*, 2007)



Gambar 2. Diagram alir pembuatan plastik *biodegradable* TPS-LLDPE dan TPS-HDPE

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 Biodegradable

Pada tahap ini, pembuatan plastik *biodegradable* dilakukan pencampuran terlebih dahulu antara TPS dan *compatibilizer* (LLDPE-g-MA). Setelah itu, TPS dan *compatibilizer* dicampur dengan LLDPE. Ketiga bahan tersebut diaduk hingga merata pada suatu tempat/wadah sebelum dimasukkan ke dalam ekstruder. Perbandingan antara TPS dengan LLDPE adalah 0:100; 20:80; 30:70; dan 40:60 b/b menggunakan *Twin Srew Extruder* pada suhu *barrel* 130-140°C dengan kecepatan rotor 75 rpm (Gambar 2). 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 *biodegradable*.

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). Biodegradabilitas plastik *biodegradable* diuji secara kualitatif (ASTM G-21-70) dan kuantitatif (*burial test*/penguburan). Pengujian biodegradabilitas secara kualitatif plastik campuran dilakukan berdasarkan ASTM G-21-70. Dalam metode ini, sampel plastik berbentuk lembaran tipis berukuran 3x3 cm<sup>2</sup> ditempatkan pada media PDA (*Potato Dextrose Agar*) dan diinokulasikan dengan kapang *Penicillium* sp. Sampel diinkubasi pada suhu 40°C selama 1 minggu. Pertumbuhan kapang pada sampel plastik mengikuti ranking berikut : 0 : tidak ada pertumbuhan koloni; 1: kurang dari 10% permukaan sampel tertutup koloni; 2: 10-30% permukaan sampel tertutup koloni; 3: 30-60% permukaan sampel tertutup koloni; dan 4: 60-100% permukaan sampel tertutup koloni. Pada penelitian ini, digunakan dua kapang, yakni *Penicillium* sp. dan *Aspergillus niger*.

Pengujian biodegradabilitas secara kuantitatif (*burial test*/penguburan) dilakukan dengan cara menguburkan sampel/specimen plastik di dalam polibag yang berisikan tanah. Berat rata-rata tanah setiap polibag adalah ± 1,73 kg. Klasifikasi tanah yang digunakan adalah *typic hapludalf*, sangat halus, kaolinitik, isohipertermik dengan tekstur liat (>60%). Kandungan C organik 0,34-1,04% dan nilai kejenuhan basah 38-70%. pH H<sub>2</sub>O adalah 4,6-4,9 dan suhu tanah rata-rata tahunan

≥ 22°C. Parameter yang diamati pada pengujian biodegradabilitas secara kuantitatif (*burial test*/penguburan) adalah kekuatan tarik dan perpanjangan putus. Pengamatan dilakukan pada hari ke-14, 48, 42, dan 56.

### Analisis Data

Rancangan percobaan menggunakan rancangan acak lengkap faktorial yang terdiri dari dua faktor, yaitu konsentrasi *compatibilizer* (LLDPE-g-MA) yang digunakan dengan tiga taraf (2,5%, 5%, 7,5%) (faktor A) dan konsentrasi perbandingan TPS : LLDPE 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 Biodegradable TPS-LLDPE

Pengujian sifat mekanik plastik *biodegradable* sangat penting untuk mengetahui kehomogenan suatu campuran bahan polimer dan untuk mengetahui bahan campuran yang digunakan dalam pembuatan plastik *biodegradable*. Nilai rata-rata kekuatan tarik (*tensile strength*), persen pemanjangan (*elongation*) dan ketahanan benturan (*tensile impact*) plastik *biodegradable* dapat dilihat pada Tabel 1. 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.

Penambahan konsentrasi TPS cenderung menurunkan nilai rata-rata kekuatan tarik plastik *biodegradable*. Hal tersebut disebabkan semakin tinggi pemberian TPS semakin rendah homogenitas komposit TPS-LLDPE. 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/polipropillen.

Selain kurang homogen, penambahan TPS juga menyebabkan rendahnya adhesi antara TPS dan sintetik polimer (LLDPE). 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 dalam kasus ini sebagai pengisi yang tidak menambah kekuatan (*non-reinforcing*).

Penambahan *compatibilizer* cenderung meningkatkan nilai kekuatan tarik. Adanya *compatibilizer* menyebabkan interaksi yang sangat baik antara pati sebagai bahan pengisi dan LLDPE. *Compatibilizer* berfungsi sebagai jembatan atau penghubung antara komponen hidrofobik (LLDPE) dan hidrofilik (TPS).

Tabel 1. Nilai kuat tarik, perpanjangan putus dan ketahanan benturan plastik *biodegradable* TPS/LLDPE

LLDPE:TPS	Compatibilizer (%)	Kuat Tarik (MPa)	Perpanjangan Putus (%)	Ketahan bentur (kgf.cm/cm <sup>2</sup> )
100:0	2,5	24 ± 2 <sup>d</sup>	1470 ± 50 <sup>b</sup>	19,9 ± 3,1 <sup>bc</sup>
100:0	5,0	26,5 ± 0,9 <sup>d</sup>	1660 ± 200 <sup>c</sup>	41,7 ± 7,2 <sup>ef</sup>
100:0	7,5	26 ± 3 <sup>d</sup>	1765 ± 149 <sup>c</sup>	51,3 ± 13,1 <sup>f</sup>
80:20	2,5	9,1 ± 0,4 <sup>bc</sup>	69 ± 5 <sup>a</sup>	14,1 ± 2,8 <sup>abc</sup>
80:20	5,0	10 ± 3 <sup>c</sup>	94 ± 8 <sup>a</sup>	22,6 ± 2,5 <sup>cd</sup>
80:20	7,5	10,5 ± 0,3 <sup>c</sup>	122 ± 18 <sup>a</sup>	32,5 ± 7,0 <sup>de</sup>
70:30	2,5	6,9 ± 0,2 <sup>b</sup>	32 ± 5 <sup>a</sup>	7,3 ± 3,1 <sup>ab</sup>
70:30	5,0	9,0 ± 0,8 <sup>bc</sup>	31 ± 8 <sup>a</sup>	15,6 ± 6,8 <sup>abc</sup>
70:30	7,5	10 ± 3 <sup>a</sup>	94 ± 8 <sup>a</sup>	22,6 ± 2,5 <sup>cd</sup>
60:40	2,5	2,0 ± 0,4 <sup>a</sup>	15,7 ± 1,5 <sup>a</sup>	2,8 ± 0,1 <sup>a</sup>
60:40	5,0	7,1 ± 0,7 <sup>b</sup>	153 ± 71 <sup>a</sup>	15,1 ± 0,4 <sup>abc</sup>
60:40	7,5	2,9 ± 0,5 <sup>a</sup>	23 ± 8 <sup>a</sup>	8,6 ± 1,8 <sup>ab</sup>

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

Menurut Ismail dan Hairunezam (2001) menyatakan bahwa *compatibilizer* biasanya digunakan untuk meningkatkan kompatibilitas campuran polimer yang tidak kompatibel. Wang *et al.* (2002) menyatakan bahwa penambahan *compatibilizer* dapat meningkatkan kristalinitas yang berpengaruh pada kekuatan tarik komposit. Selain itu, *compatibilizer* juga berperan dalam meningkatkan gaya adhesi 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 persen pemanjangan. Nilai persen pemanjangan plastik *biodegradable* seperti yang tertera dalam Tabel 1 menunjukkan bahwa penambahan TPS menurunkan nilai persen pemanjangan. Fenomena tersebut hampir sama dengan nilai kekuatan tarik. Semakin meningkat kandungan TPS menyebabkan semakin rendah adhesi antara kedua polimer tersebut. Semakin meningkat kandungan pati semakin meningkat fase tidak homogen/tidak kompatibel komposit. Hal tersebut mengakibatkan berkurangnya kemampuan persen pemanjangan plastik *biodegradable*. Menurut Kim dan Lee (2002) penurunan sifat mekanik (kuat tarik dan persen pemanjangan) film komposit dikarenakan penambahan jumlah pati yang menyebabkan rendahnya interaksi permukaan (*interfacial*) antara dua polimer.

Selain itu, penurunan nilai persen pemanjangan diduga karena distribusi *compatibilizer* yang tidak merata pada matriks komposit, sehingga 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 pendapat Hasnah (2005) yang menyatakan bahwa penurunan nilai persen pemanjangan disebabkan karena distribusi dari *compatibilizer* yang tidak merata dan

terjadinya homopolimerisasi yang menyebabkan monomer-monomer dari *compatibilizer* cenderung berikatan sendiri dibandingkan menempel pada rantai TPS.

Hal sebaliknya, peningkatan konsentrasi *compatibilizer* cenderung meningkatkan nilai persen pemanjangan plastik *biodegradable*. Hal tersebut disebabkan karena 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) dan hidrofilik (TPS) dan optimalnya ikatan antar permukaan yang terbentuk antara pati termoplastik dan LLDPE. Hal tersebut juga dikemukakan oleh Shokri *et al.* (2005) yang mengatakan bahwa peningkatan nilai kemuluran dikarenakan penurunan kekakuan campuran polimer.

Analisis sidik ragam menunjukkan interaksi antara konsentrasi TPS dan konsentrasi *compatibilizer* mempengaruhi secara nyata nilai rata-rata ketahan bentur. Nilai ketahanan bentur berkisar antara 2,8-51,3 kgf.cm/cm<sup>2</sup> untuk TPS/LLDPE. Penambahan TPS cenderung menurunkan nilai ketahan bentur plastik *biodegradable* berbahan baku TPS dan LLDPE. Hasil yang sama juga diperoleh Lopes dan Sousa (2005) yang mengatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi serat semakin rendah nilai ketahanan bentur. Menurunnya nilai ketahanan bentur diduga karena rendahnya adhesi dan kurang homogen antara dua polimer yang berbeda polaritas.

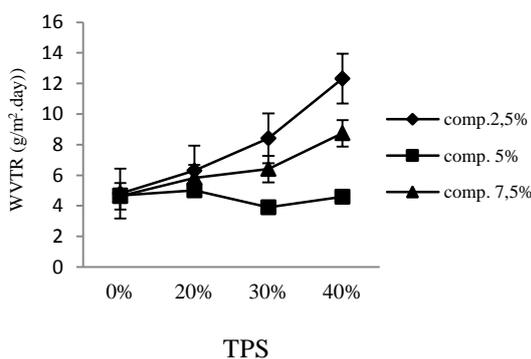
Bila ditinjau dari pengaruh penambahan *compatibilizer*, peningkatan konsentrasi *compatibilizer* cenderung meningkatkan nilai ketahanan bentur. Akbari dan Bagheri (2012) menemukan fenomena yang sama bahwa semakin meningkatnya konsentrasi *compatibilizer* (PP-g-MA) dari 1,5% ke 5% menyebabkan meningkatnya nilai ketahanan bentur dari 2,5 menjadi 3,4 KJ/m<sup>2</sup>.

Ini membuktikan bahwa semakin tinggi kandungan *compatibilizer* semakin kuat pula gaya adhesi antar permukaan bahan campuran yang mengakibatkan kekompakan atau kehomogenan semakin baik dan distribusi bahan pengisi semakin merata.

**Sifat Permeabilitas Plastik *Biodegradable* TPS-LLDPE**

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

Nilai WVTR pada Gambar 3 menunjukkan kecenderungan meningkatnya nilai WVTR dengan semakin meningkatnya konsentrasi TPS. Meningkatnya nilai WVTR disebabkan karena 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. Baillie (2004) juga menyatakan hal yang sama bahwa pati pada umumnya bersifat hidrofilik yang cenderung mudah untuk menyerap air.

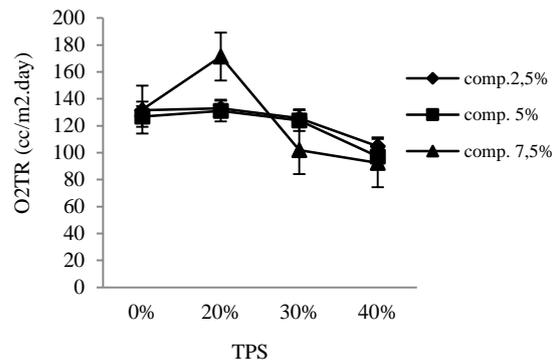


Gambar 3. Nilai WVTR plastik *biodegradable* TPS-LLDPE

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan tidak ada interaksi yang nyata antara konsentrasi TPS dan *compatibilizer* dalam mempengaruhi nilai permeabilitas oksigen plastik *biodegradable* TPS-LLDPE. Nilai laju transmisi oksigen (O<sub>2</sub>TR) berkisar antara 92,30-295,92 cc/m<sup>2</sup>.hari (Gambar 4) untuk TPS/LLDPE. Nilai permeabilitas oksigen tertinggi didapat pada konsentrasi TPS/LLDPE (30/70) dan konsentrasi *compatibilizer* 7,5% yaitu

sebesar 295,92 cc/m<sup>2</sup>.hari, sedangkan nilai terendah diperoleh pada konsentrasi TPS/LLDPE (40/60) dan konsentrasi *compatibilizer* 7,5% yaitu sebesar 92,30 cc/m<sup>2</sup>.hari.

Nilai O<sub>2</sub>TR pada Gambar 4 menunjukkan kecenderungan menurun dengan semakin meningkatnya konsentrasi TPS. Hal tersebut disebabkan karena 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.

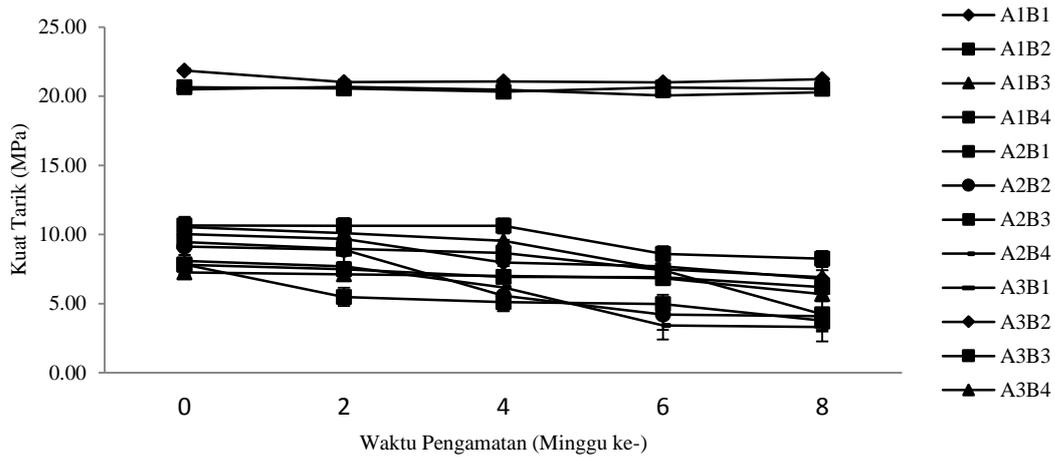


Gambar 4. Nilai O<sub>2</sub>TR plastik *biodegradable* TPS-LLDPE

**Biodegradabilitas Plastik *Biodegradable* TPS-LLDPE Secara Kuantitatif dan Kualitatif**

Hasil pengamatan biodegradabilitas plastik *biodegradable* menunjukkan bahwa plastik *biodegradable* telah terdekomposisi/terdegradasi secara alamiah di dalam tanah dengan ditandai menurunnya nilai kuat tarik dan persen pemanjangan, yang diakibatkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah faktor mikroorganisme pengurai, kelembaban tanah dan kadar air tanah. Nilai kuat tarik (Gambar 5) dan persen pemanjangan (Gambar 7) diukur setiap dua (2) minggu sekali.

Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa ada interaksi antara konsentrasi TPS dan *compatibilizer* dalam mempengaruhi persentase penurunan nilai kuat tarik plastik *biodegradable* berbahan baku TPS-LLDPE. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kuat tarik plastik *biodegradable* mengalami penurunan. Penurunan nilai kuat tarik terendah (0,11%) terjadi pada perbandingan TPS/LLDPE (0/100) dengan konsentrasi *compatibilizer* 7,5%, sedangkan penurunan tertinggi (58,14%) terjadi pada perbandingan TPS/LLDPE (40/60) dengan konsentrasi *compatibilizer* 5%. (Gambar 5).

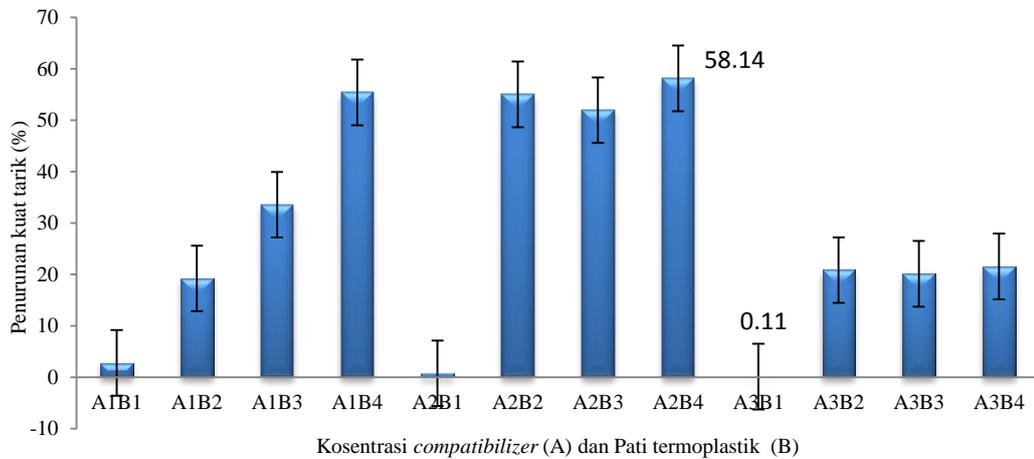


Keterangan :

A1-A3 = kosentrasi *compatibilizer* 2,5%; 5%; 7,5%;

B1= rasio LLDPE : TPS = 100:0; B2 = 80:20; B3 = 70:30 dan B4 = 60:40

Gambar 5. Nilai kuat tarik plastik *biodegradable* TPS-LLDPE selama penguburan dalam tanah



Keterangan :

A1-A3 = kosentrasi *compatibilizer* 2,5%; 5%; 7,5%;

B1= rasio LLDPE : TPS = 100:0; B2 = 80:20; B3 = 70:30 dan B4 = 60:40

Gambar 6. Persentase (%) penurunan nilai kuat tarik plastik *biodegradable* TPS- LLDPE selama delapan (8) minggu penguburan dalam tanah

Penurunan nilai kuat tarik pada plastik *biodegradable* berbahan baku TPS-LLDPE mencerminkan adanya degradasi matriks plastik oleh mikroorganisme yang menyebabkan rantai polimer melemah dan putus terutama pati. Proses terjadinya biodegradasi plastik *biodegradable* pada lingkungan alam dimulai dengan tahap degradasi kimia yaitu dengan proses oksidasi molekul, menghasilkan polimer dengan berat molekul yang rendah. Proses berikutnya (*secondary process*) adalah serangan mikroorganisme (bakteri, jamur dan alga) dan aktivitas enzim (*intracellular*, *extracellular*). Hal yang sama juga diungkapkan oleh Kaur dan Gautam (2010) yang mengatakan bahwa penurunan berat dan sifat mekanik plastik komposit karena

masuknya mikroorganisme dalam tanah dan penyerapan kadar air oleh sampel plastik.

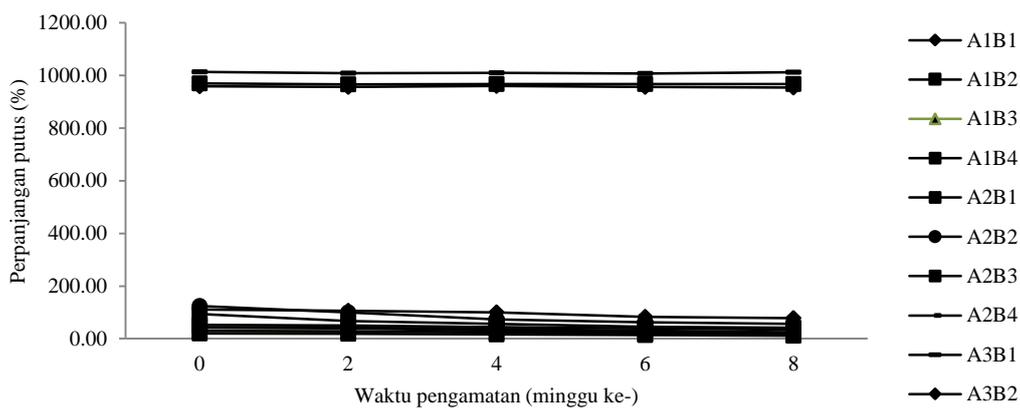
Penurunan nilai kuat tarik tertinggi plastik *biodegradable* berbahan baku TPS-LLDPE terjadi pada kandungan pati termoplastik 40%, hal tersebut dikarenakan keberadaan pati yang besar selama penguburan akan meningkatkan degradasinya. Hal tersebut juga dikemukakan oleh Pushpadass *et al.* (2010) yang mengatakan bahwa komponen pati yang pertama terdegradasi karena pati merupakan komponen hidrofilik yang mudah didegradasi oleh mikroorganisme. Hasil yang sama juga diperoleh Tang dan Alavi (2010) yang melaporkan bahwa degradasi PVOH meningkat dengan penambahan pati. Chiellini *et al.* (2003) melaporkan bahwa

kurang kompatibelnya matrik komposit plastik dengan struktur yang poros menyebabkan permukaan plastik mudah dimasuki oleh mikroorganisme sehingga polimer sintetik kehilangan kekuatannya yang dapat meningkatkan kemampuan biodegradabilitasnya.

Sama seperti halnya nilai kuat tarik, nilai persen pemanjangan diukur setiap dua (2) minggu sekali (Gambar 7). Analisis ragam menunjukkan ada interaksi konsentrasi TPS dan *compatibilizer* dalam mempengaruhi persentase penurunan nilai persen pemanjangan plastik *biodegradable* berbahan baku TPS-LLDPE. Nilai persen pemanjangan plastik *biodegradable* berbahan baku TPS-LLDPE mengalami penurunan setelah perlakuan penguburan selama delapan (8) minggu dalam tanah. Nilai persen pemanjangan mengalami penurunan terendah

(1,81%) pada perbandingan TPS/LLDPE (0/100), sedangkan penurunan tertinggi (67,63%) terjadi pada perbandingan TPS/LLDPE (20/80) (Gambar 8).

Arvanitoyannis *et al.* (1998) menjelaskan bahwa penurunan nilai kemuluran (*elongasi*) diawali oleh proses degradasi pati pada bagian amorphous yang menyebabkan timbulnya lubang-lubang pada komponen plastik seperti terlihat pada Gambar 9. Komponen plastik yang mengandung pati 10% menunjukkan kecepatan degradasi yang lambat bila dibandingkan dengan kandungan pati 30% dan 40% (Arvanitoyannis *et al.*, 1998). Selain degradasi oleh mikroorganisme, menurut Barkoulaa *et al.* (2010) penurunan nilai perpanjangan putus dan kuat tarik disebabkan pula oleh nilai kadar air yang meningkat saat penguburan (*soil burial test*).

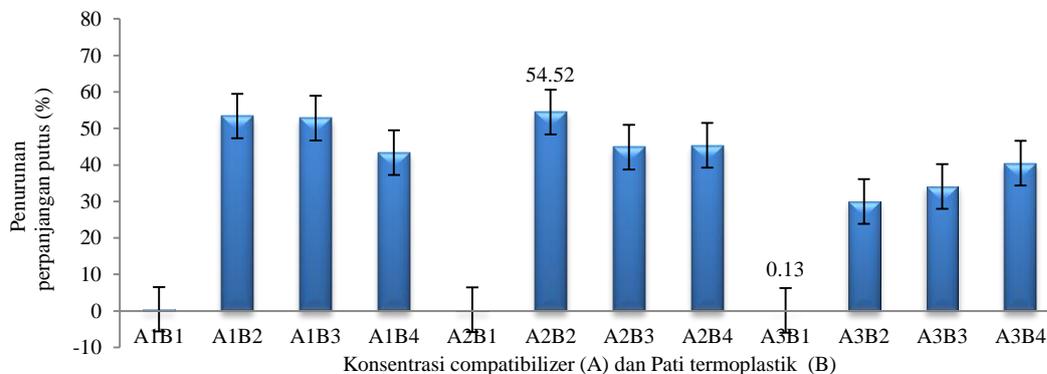


Keterangan :

A1-A3 = konsentrasi *compatibilizer* 2,5%; 5%; 7,5%;

B1= rasio LLDPE : TPS = 100:0; B2 = 80:20; B3 = 70:30 dan B4 = 60:40

Gambar 7. Nilai persen pemanjangan plastik *biodegradable* TPS-LLDPE selama penguburan dalam tanah



Keterangan :

A1-A3 = konsentrasi *compatibilizer* 2,5%; 5%; 7,5%;

B1= rasio LLDPE : TPS = 100:0; B2 = 80:20; B3 = 70:30 dan B4 = 60:40

Gambar 8. Persentase (%) penurunan nilai persen pemanjangan plastik *biodegradable* TPS-LLDPE selama delapan (8) minggu penguburan dalam tanah



Gambar 9. Hasil pengamatan uji *burial test* plastik *biodegradable* (bagian yang dilingkari adalah lubang akibat degradasi pati oleh mikroorganisme)

Hasil pengujian biodegradabilitas plastik *biodegradable* secara kualitatif dapat dilihat pada Gambar 10. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa plastik *biodegradable* dengan kandungan TPS 0% tidak ditumbuhi oleh *Aspergillus niger* maupun *Penicillium sp*, sedangkan plastik biodegradable yang banyak ditumbuhi mikroorganisme adalah 52,5% (*Aspergillus niger*) untuk TPS/LLDPE (40/60) dan 72,5% (*Penicillium sp*) untuk TPS/LLDPE (30/70) dengan konsentrasi *compatibilizer* LLDPE-g-MA 5%. Pada Gambar 10 terlihat bahwa koloni-koloni *Aspergillus niger* maupun *Penicillium sp* tumbuh dan menutupi permukaan plastik *biodegradable* yang mengandung pati, sedangkan plastik *biodegradable* yang tidak mengandung pati nampak permukaan plastik tidak ditumbuhi mikroorganisme. Mikroorganisme dapat tumbuh maksimal pada plastik *biodegradable* dengan komponen pati yang lebih tinggi (30% dan 40%). Hal tersebut dikarenakan pati lebih mudah dihidrolisis oleh mikroorganisme dibandingkan LLDPE/HDPE. Pati merupakan polimer alam yang dapat menjadi bahan makanan mikroorganisme di alam. TPS yang terdapat dalam plastik komposit merupakan biopolimer yang dapat didegradasi oleh mikroorganisme, sedangkan LLDPE yang merupakan polimer sintesis sukar untuk didegradasi oleh mikroorganisme.

TPS yang bersifat hidrofilik memiliki kemampuan menyerap air yang tinggi mengakibatkan pati termoplastik mudah diuraikan oleh mikroorganisme. Terurainya komponen pati yang terikat dengan rantai polietilen akan menyebabkan rantai utama pada polietilen putus dan menjadi bagian-bagian dengan berat molekul yang lebih kecil. Bagian-bagian polietilen yang memiliki berat molekul yang lebih kecil akan lebih mudah untuk diuraikan oleh mikroorganisme. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Kirk dan Othmer (1996) yang mengatakan bahwa polietilen yang telah mengalami penurunan berat molekul mudah untuk

diuraikan oleh mikroorganisme untuk dijadikan sumber karbon bagi pertumbuhannya.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh, maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan penambahan konsentrasi TPS memberikan pengaruh nyata terhadap nilai kekuatan tarik, perpanjangan putus, ketahanan benturan, laju transmisi oksigen dan persentase penurunan kekuatan tarik serta penurunan perpanjangan putus pada uji biodegradabilitas plastik *biodegradable* TPS-LLDPE, sedangkan perlakuan penambahan konsentrasi *compatibilizer* memberikan pengaruh nyata terhadap nilai perpanjangan putus, ketahanan bentur, dan persentase penurunan kekuatan tarik. Karakteristik kekuatan tarik, perpanjangan putus, dan permeabilitas oksigen plastik *biodegradable* berbahan baku TPS-LLDPE/HDPE cenderung menurun, sedangkan karakteristik permeabilitas terhadap uap air dan biodegradabilitas cenderung meningkat dengan semakin meningkatnya kandungan TPS.

### Saran

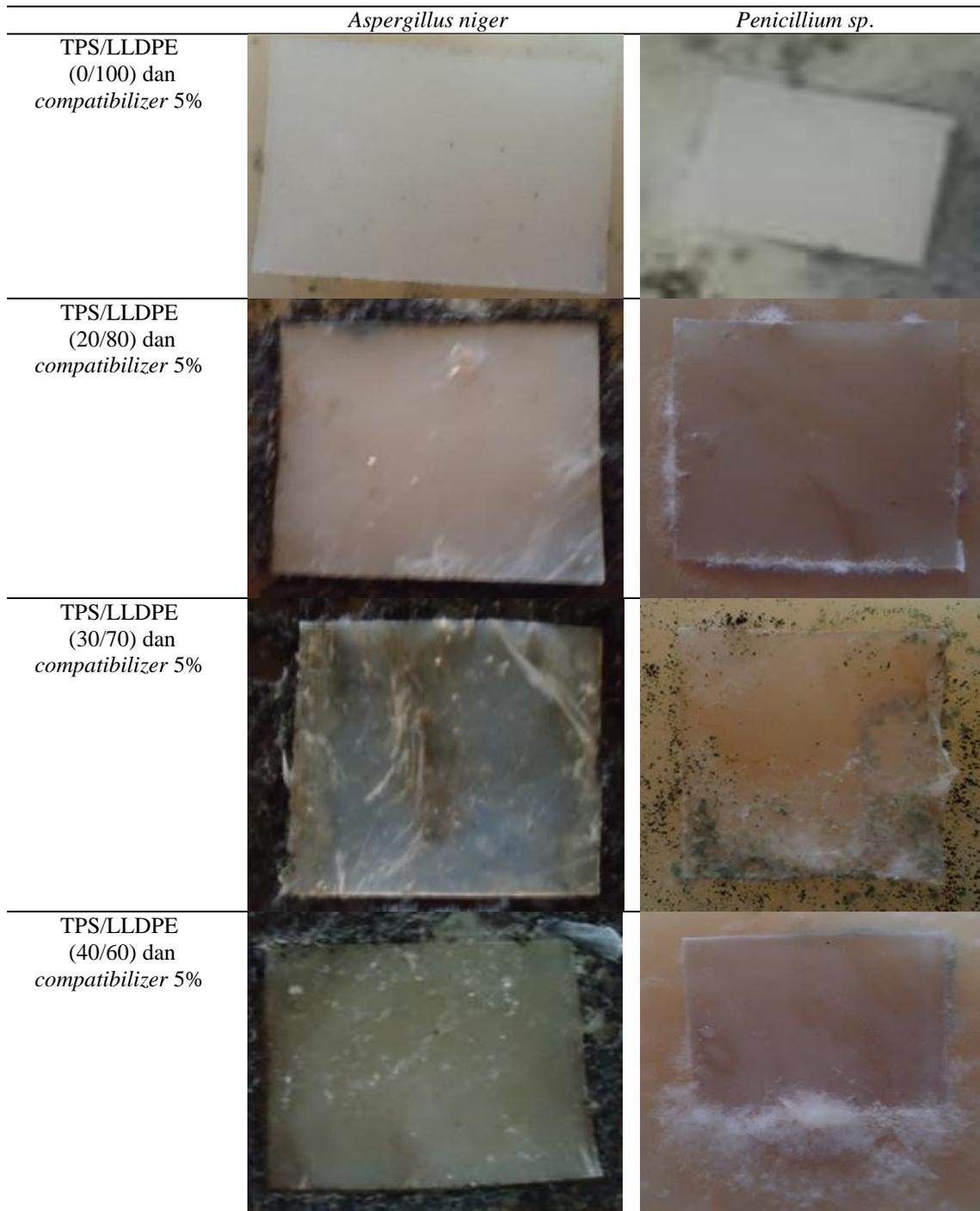
Ukuran TPS perlu diperkecil untuk meningkatkan kompatibel antara TPS-LLDPE dan menyebarnya TPS secara merata dalam campuran polimer. Selain uji mekanik, *barrier* dan biodegradabilitas, plastik *biodegradable* TPS-LLDPE perlu juga diuji migrasi untuk melihat apakah ada perpindahan komponen bahan penyusun.

## 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

- Akbari B dan Bagheri R. 2012. Influence of Compatibilizer and Processing Conditions On Morphology, Mechanical Properties, And Deformationmechanism of PP/clay Nanocomposite. *J Nanomaterials*. Volume 2012. Article ID 810623. 8 pages.
- Arvanitoyannis I, Costas GB, Hiromasa O, Kawasaki. 1998. Biodegradable Films Made from Low-Density Polyethylene (LDPE), Rice Starch and Potato Starch for Food Packaging Applications: Part 1. *Carbohydr Polym*. 36: 89-104.



Gambar 8. Hasil pengamatan kemampuan biodegradabilitas plastik *biodegradable* berbahan baku TPS-LLDPE

[ASTM] American Society for Testing and Material. (1991). *Annual book of ASTM standards*. Volume ke-14. Philadelphia: America Society for Testing and Material.

Baillie C. 2004. *Green Composites*. Polymer Composites and The Environment. Boston: CRC Press.

Barkoula NM, Garkhaila SK dan Peijs T. 2010. Centre for Materials Research, and School of Engineering and Materials Science, Queen

Biodegradable composites based on flax/polyhydroxybutyrate and its copolymer with hydroxyvalerate. *Ind Crops and Prod*.31: 34-42.

Chiellini E, Corti A dan Swift G. 2003. Biodegradation of Thermally-Oxidized, Fragmented Low-Density Polyethylenes. *Polym Degrad*. 81: 341-351.

Dinas Kebersihan Prop. DKI Jakarta. (2011). *Laporan Tahunan 2010*. Pemerintah Daerah Prop. DKI Jakarta.

- Hwang KJ, Park JW, Kim L, Ha CS, Kim GH. 2006. Effect of Compatibilizer on The Microstructure and Properties of Partially Biodegradable LDPE/aliphatic Polyester/Organoclay Nanocomposites. *Macromol Res.* 14(2) : 179-186.
- Ismail H dan Hairunezam HM. 2001. The Effect of A Compatibilizer on Curing Characteristics, Mechanical Properties and Oil Resistance of Styrene Butadiene Rubber/Epoxydized Natural Rubber Blends. *Europ Polym J.* 37: 39-44.
- Kaci MH, Djidjelli A, Boukerrou L, Zaidi. 2007. Effect of Wood Filler Treatment and EBAGMA Compatibilizer on Morphology And Mechanical Properties of Low Density Polyethylene/Olive Husk Flour Composites. *EXPRESS Polym Letters* 1 (7): 467-473.
- Kaur I dan Gautam N. 2010. Starch Grafted Polyethylene Evincing Biodegradation Behaviour. *Malaysian Polym J.* 5 (1) : 26-38.
- Kim M dan Lee SJ. 2002. Characteristics of Crosslink Potato Starch and Starch-Filled Linear Low Density Polyethylene Films. *Carbohydr Polym.* 50: 331-337.
- Kirk RE dan Othmer DF. 1996. *Encyclopedia of Chemical Technology*, 4<sup>th</sup> edition. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Kumar M, Mohanty S, Nayak SK, Rahail PM. 2010. Effect of Glycidyl Methacrylate (GMA) on the Thermal, Mechanical and Morphological Property Of Biodegradable PLA/PBAT Blend and Its Nanocomposites. *Biores Technol.* 101: 8406-8415.
- Lopes PE dan 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, dan Thomasa F. 2012. Cassava Starch-Kaolinite Composite Film. Effect of Clay Content and Claymodification on Film Properties. *Carbohydr Polym.* 88: 213-222.
- Pedroso AG dan Rosa DS. 2005. Mechanical, Thermal and Morphological Characterization of Recycled LDPE/Corn Starch Blends. *Carbohydr Polym.* 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 Polym* 81: 425-433.
- Pushpadass HA, Robert WW, Joseph JD, Milford AH. 2010. Biodegradation Characteristics of Starch-Polystyrene Loose-Fill Foams. In a Composting Medium. *Biores Technol.* 101: 7258-7264.
- Rozman HD, Tan KW, Kumar RN, Abubakar A, Mohd. Ishak ZA, Ismail H. 2000. The Effect of Lignin as a Compatibilizer on The Physical Properties of Coconut Fiber-Polypropylene Composites. *Europ Poly J.* 36: 1483-1494.
- Shokri AA, Bakhshandeh GR, 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 Res Int.* 40: 365-370.
- Tang X dan Alavi S. 2011. Recent Advances In Starch, Polyvinyl Alcohol Based Polymer Blends, Nanocomposites and Their Biodegradability. *Carbohydr Polym.* 85: 7-16.
- Wang Z, Qu B, Fan W, Hu Y, X Shen. 2002. Effects of PE-g-DBM As a Compatibilizer on Mechanical Properties and Crystallization Behaviors of Magnesium Hydroxide-Based LLDPE Blends. *Polym Degradation and Stability.* 76: 123-128.
- Zhang QX, Yu ZZ, Xie XL, Naito K, Kagawa Y. 2007. Preparation Crystalline Morphology of Biodegradable Starch/Clay Nanocomposites. *Polymer.* 48(24): 7193-7200.