



Pengaruh Penambahan Asam Sitrat Terhadap Karakteristik Film Plastik *Biodegradable* dari Pati Kulit Pisang Kepok (*Musa Acuminata Balbisiana Colla*)

Hardjono, Profiyanti Hermien Suharti[✉], Dita Ayu Permatasari, Vivi Alvionita Sari

DOI 10.15294/jbat.v4i2.5965

Teknik Kimia Politeknik Negeri Malang, Jln Soekarno Hatta No. 9, Malang, Indonesia

Article Info

Sejarah Artikel:
Diterima April 2016
Disetujui Mei 2016
Dipublikasikan Juni 2016

Keywords :
biodegradability, filler, plasticizer, tensile strength

Abstrak

Kulit pisang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan film plastik *biodegradable* karena kulit pisang mengandung pati. Pati yang berasal dari kulit pisang ini cepat berubah warna atau mengalami *browning*. Hal ini dicegah dengan penambahan asam sitrat selama proses ekstraksi pati dari kulit pisang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan asam sitrat terhadap karakteristik, khususnya kuat tarik dan kemampuan biodegradasi film *biodegradable* yang terbuat dari pati kulit pisang (FPKP). FPKP dibuat dengan pati kulit pisang (PKP) sebagai bahan baku, dengan penambahan gliserol sebagai *plasticizer* serta CaCO_3 dan CMC sebagai *filler*, sedangkan PKP diperoleh dengan metode ekstraksi sederhana dengan atau tanpa penambahan asam sitrat. Konsentrasi gliserol divariasikan dari 20% w/w hingga 60% w/w, sedangkan CaCO_3 dan CMC ditambahkan dalam jumlah yang tetap. Hasil percobaan menunjukkan bahwa penambahan asam sitrat menyebabkan warna PKP lebih putih. Penambahan asam sitrat dapat meningkatkan kuat tarik hingga mencapai 4,202 MPa untuk FPKP dengan *filler* CaCO_3 dan 4,032 MPa untuk FPKP dengan *filler* CMC. Sedangkan untuk kemampuan biodegradasi berlaku sebaliknya.

Abstract

Banana peels can be used as raw material for biodegradable plastic film because the banana peels consists of starch. Starch was derived from banana peels would be rapidly changing color or browning. Browning was prevented by the addition of citric acid during the process of starch extraction from banana peels. The aim of this study was to determine the effect of citric acid on mechanical properties and capabilities degradation of starch biodegradable film made from this starch (film plastik pati kulit pisang – FPKP). FPKP was made with banana peel starch (pati kulit pisang – PKP) as raw materials, with the addition of glycerol as a plasticizer, and both CaCO_3 and CMC as filler, whereas the PKP was obtained by simple extraction methods with or without the addition of citric acid. Glycerol concentration was varied from 20% w/w to 60% w/w, while CaCO_3 and CMC were added in a fixed amount. The results was showed that the addition of citric acid affects the color of a PKP produced. The addition of citric acid can enhance the tensile strength of FPKP, up to 4,202 MPa for FPKP with CaCO_3 filler and 4.032 MPa for FPKP with CMC filler. For biodegradability of FPKP, the affect of citric acid apply vice versa.

PENDAHULUAN

Plastik *biodegradable* adalah plastik yang terbuat dari sumber terbarukan dan mempunyai sifat dapat terdegradasi secara alami. Hal ini menjadi salah satu poin penting karena plastik akan hancur terurai oleh aktivitas mikroorganisme menjadi air dan gas CO₂ setelah habis terpakai dan dibuang ke lingkungan. Salah satu bahan dasar yang dapat digunakan dalam pembuatan plastik *biodegradable* adalah pati yang berasal dari tumbuh-tumbuhan, baik dari bagian daging buah, umbi, maupun kulit buah. Kampeerappun dkk (2007) telah menghasilkan komposit plastik *biodegradable* dari pati singkong yang mampu menghasilkan performansi yang cukup baik yaitu memiliki ketahanan hingga suhu 100 °C. Sedangkan Hermansyah dan Marbun (2012) telah menghasilkan film plastik *biodegradable* dari pati ubi jalar.

Selain pati singkong dan pati ubi jalar, bahan lain yang pernah digunakan sebagai sumber pati dalam pembuatan film plastik *biodegradable* adalah pati jagung (Qiao dkk, 2010), pati kentang (Ardakani dkk, 2009), pati kacang polong (Ma, 2009), dan pati beras (*rice starch*) -(Bourtoom, 2008). Beberapa tahun terakhir, penelitian tentang film plastik *biodegradable* di Indonesia lebih diarahkan pada pemanfaatan sumber pati di luar bahan pangan pokok, misalkan pati dari kulit pisang. Penelitian yang telah dilakukan terkait pemanfaatan kulit pisang sebagai bahan baku plastik *biodegradable* antara lain: Utami dkk (2014) yang menggunakan pati dari kulit pisang raja dengan *plasticizer* gliserol dan kitosan, Widyaningsih dkk (2012) dengan menggunakan *plasticizer* sorbitol dan kalsium karbonat, serta Suharti dkk (2015) menggunakan pati dari kulit pisang kepok.

Kulit pisang, yang merupakan limbah pabrik makanan ringan seperti keripik pisang dan sale pisang, memberikan tantangan tersendiri ketika digunakan sebagai film plastik *biodegradable*. Tantangan tersebut adalah timbulnya efek *browning* yang menyebabkan pati dari kulit pisang berwarna coklat, seperti dinyatakan oleh Suharti dkk (2015). Efek *browning* adalah perubahan warna coklat dari buah - buahan dan sayuran sebagai akibat terjadinya oksidasi substrat fenolik oleh polifenol oksidase (*polyphenol oxidase* – PPO). Tingkat perubahan warna coklat pada kulit pisang, setelah pemotongan, berkorelasi dengan aktivitas PPO

dan konsentrasi substrat fenolik bebas (Nguyen dkk, 2003). Untuk membatasi fenomena oksidasi oleh PPO, berbagai bahan kimia digunakan dalam literatur. Pemilihan bahan kimia yang digunakan tergantung pada fungsi dan kemampuan masing-masing bahan, misal sebagai *antioxidant agent*, *chelating agent*, *firmness agent* maupun sebagai *acidifying agent*. Ioannou dan Ghoul (2013) menyatakan bahan-bahan yang digunakan untuk menghambat efek *browning* pada buah dan sayuran, salah satu bahan yang digunakan adalah asam sitrat (*citric acid* – CA). Suharti dkk (2015) menyatakan bahwa penambahan CA dapat menghambat oksidasi PPO sehingga pati kulit pisang yang dihasilkan berwarna lebih cerah apabila dibandingkan dengan pati kulit pisang tanpa penambahan CA. Pati kulit pisang yang dihasilkan dengan penambahan CA digunakan sebagai bahan baku pembuatan film plastik *biodegradable* dalam penelitian kali ini (disebut film plastik pati kulit pisang dengan asam sitrat atau FPKP – CA), dan karakteristik FPKP – CA dibandingkan dengan film dari pati kulit pisang tanpa penambahan CA (FPKP).

METODE PENELITIAN

Bahan dasar pembuatan FPKP – CA dan FPKP dalam penelitian ini adalah pati kulit pisang kepok (lokal), asam sitrat (teknis), gliserol, kalsium karbonat (CaCO₃) serta *carboxymethyl cellulose* – CMC (*food grade*).

Ekstraksi Pati Kulit Pisang

Kulit pisang kepok diperoleh dari limbah industri makanan ringan di Dampit, Kabupaten Malang. Ekstraksi pati secara sederhana dilakukan di laboratorium Rekayasa Proses Politeknik Negeri Malang. Kulit pisang kepok dicuci dengan air bersih dan dicacah hingga berukuran kecil. Cacahan kulit pisang kepok direndam dengan air atau asam sitrat dengan konsentrasi 2000 ppm kemudian dihancurkan dengan blender dan disaring. Filtrat yang dihasilkan kemudian didekantasi atau diendapkan selama 24 - 48 jam hingga pati mengendap sempurna. Endapan pati dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu ± 50°C selama 24 jam hingga kering. Endapan pati kulit pisang (PKPK) yang sudah kering kemudian diayak untuk mendapatkan partikel yang lebih halus dan seragam. PKPK ditimbang untuk mengetahui besar *yield* dari proses ekstraksi.

Pembuatan Film Plastik *Biodegradable*

Pembuatan FPKP – CA dan FPKP dilakukan berdasarkan metode yang dilakukan oleh Darni dan Utami (2010) dan dilakukan sedikit modifikasi untuk menghasilkan film dengan kualitas baik. PKPK sebanyak 6 gram dilarutkan ke dalam 150 gram air, kemudian larutan PKPK dipanaskan hingga suhu 80°C dan diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* hingga homogen. Larutan yang sudah homogen ditambahkan *filler* berupa kalsium karbonat (CaCO₃) dan CMC sebanyak 0,4% (w/w). Pengadukan dilanjutkan hingga homogen kemudian ditambahkan dengan *plasticizer* gliserol sejumlah 20; 40; 60% (w/w). Adonan dituang ke dalam cetakan dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 40°C selama 24 jam. FPKP yang sudah kering kemudian dianalisa kuat tarik dan kemampuan biodegradasi.

Uji Kuat Tarik

Uji kuat tarik dilakukan dengan mengacu pada *Technical Association of the Pulp and Paper Industry* (TAPPI) No. T404. FPKP – CA dan FPKP dipotong sesuai ukuran, kemudian dijepit pada alat uji kuat tarik hasil modifikasi dan ditarik hingga putus serta dicatat berat beban saat sampel terputus. Besarnya tegangan maksimum yang mampu ditahan oleh film plastik dihitung menggunakan persamaan (1) sedang nilai kuat tarik ditentukan dengan menggunakan persamaan (2).

$$F_{maks} = m \cdot a \quad (1)$$

$$\tau = F_{maks} / A \quad (2)$$

Uji Kemampuan Biodegradasi (*biodegradability test*)

Uji kemampuan biodegradasi didasarkan pada metode yang dilakukan oleh Pimpan dkk (2001). FPKP – CA dan FPKP berukuran 5 x 10 cm dikeringkan dalam desikator dan ditimbang sampai diperoleh berat konstan, kemudian dimasukkan ke dalam media tanah yang sudah dilubangi selama 5 hari. Setelah 5 hari, sampel ditimbang kembali untuk mengetahui prosentase film plastik yang terdegradasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

FPKP – CA dan FPKP dalam penelitian ini dibuat dengan bahan baku pati dari kulit pisang

kepok (PKPK). PKPK diperoleh dengan metode ekstraksi sederhana. PKPK yang diambil dari kulit pisang kepek tanpa ditambahkan asam sitrat berwarna coklat. Hal ini disebabkan oleh adanya enzim PPO yang terkandung dalam kulit pisang kepek. Menurut Nguyen dkk (2003), penyebab *browning* ini karena enzim PPO yang terkandung dalam pati berkontak dengan oksigen yang terdapat dalam air, sehingga enzim akan teroksidasi dan menyebabkan pati yang dihasilkan menjadi coklat.

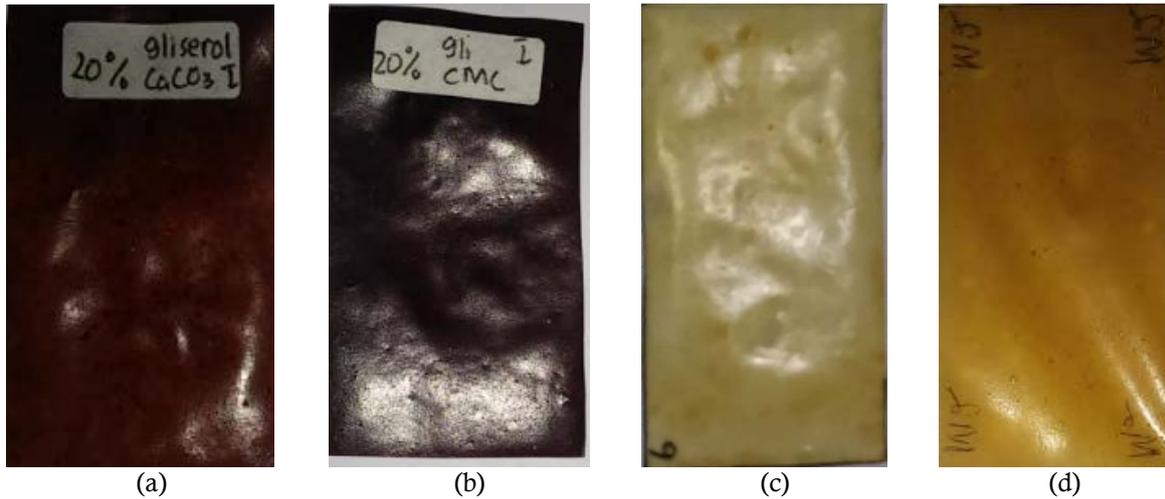
PKPK yang diambil dari kulit pisang kepek dengan ditambahkan asam sitrat berwarna lebih cerah dari sebelumnya. Penambahan asam sitrat dapat mengurangi terjadinya pengkontakan enzim PPO dalam PKPK dengan oksigen dalam air. Hal ini dikarenakan sifat asam sitrat yang mudah teroksidasi dengan oksigen, sehingga dalam hal ini asam sitrat melindungi enzim pada pati dengan cara mengikat oksigen dalam air (Ioannou dan Ghoul, 2013).

Penambahan asam sitrat (CA) dalam proses ekstraksi PKPK berpengaruh juga terhadap film plastik yang dihasilkan. Film plastik yang dihasilkan secara visual menunjukkan perbedaan warna, seperti terlihat pada Gambar 1. Selain perbedaan warna, penambahan CA juga berpengaruh terhadap sifat fisik dari film plastik yang dihasilkan.

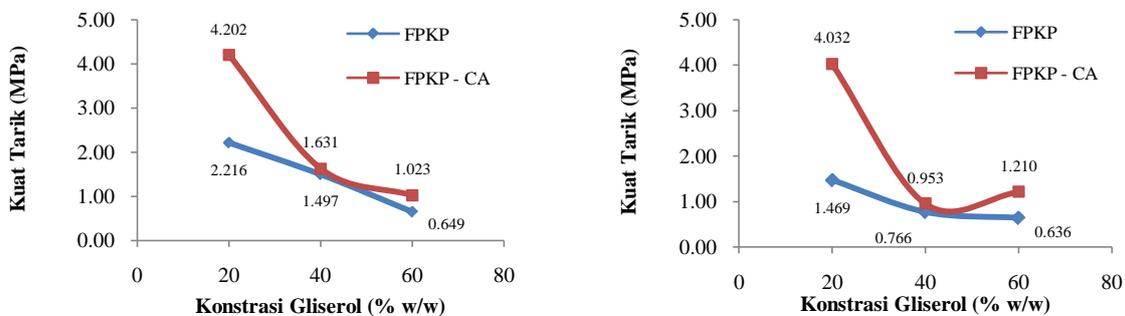
Hasil Analisa Kuat Tarik

Salah satu syarat karakteristik plastik yang baik yaitu harus memiliki kekuatan tarik dan perpanjangan yang baik. Penambahan *plasticizer* dan *filler* dilakukan untuk memperbaiki sifat mekanik seperti kuat tarik dan perpanjangan (*elongation*) pada plastik *biodegradable*. Uji kuat tarik merupakan salah satu uji untuk mengetahui ketahanan suatu bahan terhadap gaya tarik yang dikenakan, sedangkan *elongation* lebih menunjukkan sifat elastis dari plastik *biodegradable* (Utami dkk, 2014).

Gambar 2 menunjukkan hasil uji kuat tarik FPKP – CA dan FPKP dengan *plasticizer* gliserol serta *filler* CaCO₃ [Gambar 2.a] dan CMC [Gambar 2.b], sedangkan *elongation* dari masing-masing sampel tidak dapat direkam karena pengujian kuat tarik dilakukan secara sederhana di laboratorium rekayasa proses Polinema sehingga perpanjangan FPKP maupun FPKP – CA ketika dikenai beban tidak dapat terukur. *Plasticizer* merupakan bahan tambahan dasar pada



Gambar 1. Visualisasi FPKP dan FPKP – CA: (a) FPKP dengan *filler* CaCO₃; (b) FPKP dengan *filler* CMC; (c) FPKP – CA dengan *filler* CaCO₃ dan (d) FPKP – CA dengan *filler* CMC



Gambar 2. Pengaruh konsentrasi gliserol terhadap kuat tarik film plastik pati kulit pisang (FPKP) dengan *filler* CaCO₃ [a] dan *filler* CMC [b]

pembentukan film dari polimer. Wirawan dkk, (2012) menyatakan bahwa *plasticizer* dapat mengurangi gaya intermolekuler sehingga dapat memperlebar jarak antar molekul dan meningkatkan elastisitas plastik. Elastisitas plastik seharusnya ditunjukkan dengan semakin besarnya elongasi dari film plastik, tetapi dalam penelitian ini tidak terekam. Peningkatan elastisitas akan berdampak pada turunnya kuat tarik (*tensile strength*).

Gambar 2.a dan Gambar 2.b menunjukkan kecenderungan yang sama, bahwa kuat tarik menurun dengan bertambahnya konsentrasi gliserol, terutama untuk FPKP. Kuat tarik tertinggi diperoleh ketika konsentrasi gliserol 20% (w/w) dengan *filler* CaCO₃, baik untuk FPKP – CA dan FPKP dengan *filler* CaCO₃ maupun CMC. Hasil penelitian Utami dkk (2014), Darni dan Utami (2010) maupun Zuraida dkk (2012) menyampaikan hasil yang sama bahwa kuat tarik berkurang dengan bertambahnya jumlah *plasticizer*. Sedangkan ketika konsentrasi gliserol 60% (w/w),

kuat tarik FPKP – CA dengan *filler* CMC meningkat. Pengaruh gliserol pada konsentrasi tinggi (lebih dari 35% w/w) belum ada yang mempelajari. Utami dkk (2014) dan Hidayat dkk (2013) hanya menggunakan konsentrasi gliserol maksimal 35% w/w. Dengan demikian, untuk gliserol dengan konsentrasi yang tinggi kemungkinan dapat berfungsi sebagai *cross linking agent*, sebagaimana CA, yang dapat meningkatkan kuat tarik.

Gambar 2 juga menunjukkan bahwa FPKP – CA memiliki kuat tarik yang lebih besar dibandingkan dengan FPKP. Nilai kuat tarik FPKP – CA berkisar 0,953 MPa hingga 4,202 MPa, sedang FPKP hanya berkisar 0,636 MPa hingga 2,216 MPa. Dalam hal ini CA bertindak sebagai *cross-linking agent* seperti dinyatakan oleh Shi dkk (2007). Asam sitrat (CA) memiliki tiga gugus karboksil yang akan berikatan dengan gugus hidroksil (-OH) dari pati dan membentuk gugus ester. Ikatan tersebut menyebabkan *recrystallization* dan *retrogradation* dari pati menjadi terhambat dan

kuat tarik film yang terbentuk meningkat. Untuk konsentrasi CA yang rendah ($< 10\%$ w/w), CA berfungsi sebagai *cross-linking agent*, apabila konsentrasi CA $\geq 10\%$ w/w maka CA bertindak sebagai *plasticizer* dimana penambahan jumlah CA akan menurunkan kuat tarik film plastik (Shi dkk, 2007). Apabila dibandingkan dengan hasil penelitian Utami dkk (2014) dengan pemakaian gliserol 20% (w/w), FPKP mempunyai nilai kuat tarik yang lebih tinggi apabila menggunakan *filler* CaCO_3 (2,216 MPa). Utami dkk (2014) menyatakan bahwa nilai kuat tarik film dengan gliserol 20% (w/w) adalah sebesar 1,8519 MPa. Utami dkk (2014) menggunakan *filler* kitosan dengan pati dari kulit pisang raja.

Selain menggunakan penambahan CA, FPKP juga menggunakan *filler* yang berbeda yaitu CaCO_3 dan CMC. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *filler* CaCO_3 dan CMC dapat meningkatkan nilai kuat tarik FPKP. Beberapa peneliti sebelumnya juga menyatakan pengaruh yang sama, yaitu Hidayat dkk (2013) menyatakan bahwa film plastik dengan penambahan CMC akan menambah intensitas gugus -OH karboksil dan berdampak meningkatkan nilai kuat tarik film plastik dari pati gembili. Yang dkk (2004) juga menyatakan hal yang sama, CaCO_3 dapat meningkatkan kuat tarik dari poli paduan pati dengan *polyvinyl alcohol* (PVA) sebagai dampak dari semakin kompaknya struktur poli paduan karena adanya CaCO_3 . Hanya saja, untuk FPKP (tanpa CA), CaCO_3 menghasilkan kuat tarik yang lebih tinggi daripada FPKP dengan *filler* CMC. CMC bersifat lebih hidrofil daripada CaCO_3 sehingga struktur FPKP menjadi lebih kompak dengan adanya CaCO_3 (Hidayat dkk, 2013).

Hasil Uji Kemampuan Biodegradasi (*biodegradability test*)

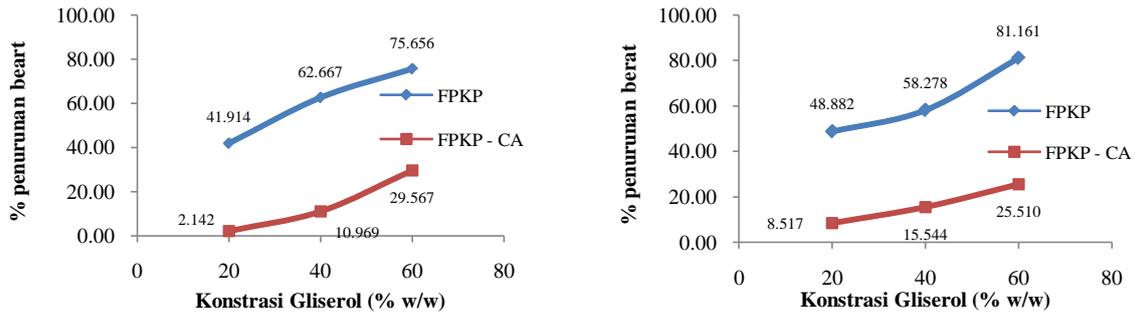
Plastik *biodegradable* adalah salah satu jenis plastik yang dapat diuraikan kembali oleh lingkungan. Untuk mengetahui kemampuan biodegradasi dari film plastik yang dihasilkan maka dilakukan pengujian pemendaman dalam tanah (*soil burial test*). Hal ini bertujuan untuk mengetahui durasi sampel tersebut akan terurai oleh mikroorganisme di dalam tanah. Uji kemampuan biodegradasi dilakukan selama 5 hari.

Gambar 3 menunjukkan prosentase penurunan berat sampel FPKP setelah dilakukan *soil burial test*. Prosentase penurunan berat yang

semakin besar menunjukkan bahwa sampel terdegradasi semakin cepat. Kemampuan biodegradasi FPKP dan FPKP – CA bertambah dengan bertambahnya jumlah gliserol yang digunakan. Mao dkk(2002) menyatakan kondisi yang sama, yaitu terjadi peningkatan prosentase penurunan berat ketika prosentase gliserol meningkat dari 20% w/w ke 30% w/w. Konsentrasi gliserol yang semakin bertambah akan meningkatkan kelembaban plastik karena gliserol memiliki sifat higroskopik sehingga gliserol akan menyisip diantara rantai polimer plastik (Bourtoom, 2008). Kemampuan biodegradasi terbesar ditunjukkan FPKP – CA dengan konsentrasi gliserol 60% w/w, baik untuk *filler* CaCO_3 (mencapai 75,656%) maupun dengan *filler* CMC (81,161%).

Penambahan asam sitrat (CA) berpengaruh cukup signifikan terhadap kemampuan biodegradasi FPKP, seperti terlihat pada Gambar 3.a dan Gambar 3.b. Kemampuan biodegradasi FPKP – CA jauh lebih rendah daripada FPKP. Hal ini terjadi karena ikatan antara gugus karboksil CA dengan gugus hidroksil pada pati menyebabkan berkurangnya gugus hidroksil pati sehingga ketahanan FPKP terhadap air (*water resistibility*) meningkat (Ghanbarzadeh dkk, 2010). Peningkatan *water resistibility* menyebabkan air yang terdapat di dalam tanah tidak dapat berinteraksi dengan FPKP sehingga degradasi berjalan lebih lambat. Penambahan CA mengakibatkan prosentase pengurangan berat berkurang dari 41,914% hingga mencapai 2,142% untuk FPKP dengan 20% w/w gliserol dan *filler* CaCO_3 , atau dapat dikatakan bahwa FPKP – CA membutuhkan waktu degradasi yang lebih lama daripada FPKP. ASTM D6888-11 menyatakan bahwa plastik *biodegradable* akan mengalami degradasi 90% selama 180 hari atau 2.5% dalam 5 hari. Kondisi ini menunjukkan bahwa sebetulnya FPKP memiliki kemampuan biodegradasi yang terlalu besar. Apabila kemampuan biodegradasi terlalu besar maka daya tahan film plastik yang dihasilkan juga menurun dan masa pakai film plastik akan berkurang. Dengan demikian, komposisi dari bahan aditif yang digunakan harus diperhatikan agar dapat menghasilkan FPKP dengan kemampuan biodegradasi yang dapat memberikan daya tahan yang optimal.

Pengaruh *filler* CaCO_3 dan CMC yang digunakan memberikan dampak yang tidak berbeda. Gambar 3.a dan Gambar 3.b memiliki



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi gliserol terhadap prosentase penurunan berat film plastik pati kulit pisang (FPKP) dengan *filler* CaCO₃ [a] dan *filler* CMC [b]

kecenderungan yang hampir sama. Filler CaCO₃ memberikan kemampuan biodegradasi yang lebih kecil (berkisar 41,914 – 75,656% untuk FPKP – CA dan 2,142 – 29,567% untuk FPKP) daripada filler CMC. CMC lebih bersifat hidrofil daripada CaCO₃, sehingga penambahan CMC justru menambah sifat hidrofil FPKP yang dihasilkan dan FPKP akan mempunyai tingkat kelembaban yang tinggi (Hidayat dkk, 2013). Tingkat kelembaban yang tinggi menjadi habitat yang baik untuk mikroba melakukan degradasi terhadap FPKP. Dengan demikian kemampuan biodegradasi FPKP dengan filler CMC lebih besar daripada FPKP dengan filler CaCO₃.

SIMPULAN

Film plastik dari pati kulit singkong (FPKP) telah disintesis dengan menggunakan gliserol sebagai *plasticizer*, CaCO₃ dan CMC sebagai *filler* serta asam sitrat (CA) sebagai bahan aditif. Penambahan CA dapat meningkatkan karakteristik FPKP, meliputi: (1) meningkatkan nilai kuat tariknya dan (2) menahan kemampuan biodegradasi dari FPKP. Peningkatan jumlah/konsentrasi *plasticizer* yang digunakan (gliserol) dapat menurunkan nilai kuat tarik dan menambah kemampuan biodegradasi dari FPKP, sedang perbedaan jenis *filler* (CaCO₃ dan CMC) memberikan kecenderungan yang sama terhadap kuat tarik FPKP, tetapi berdampak berbeda terhadap kemampuan biodegradasinya.

Dengan demikian FPKP dengan karakteristik terbaik adalah FPKP dengan formulasi 20% w/w gliserol, dengan menggunakan CA dan *filler* CaCO₃, yang menghasilkan FPKP dengan kuat tarik sebesar 4,202 MPa dan prosentase penurunan berat sebesar 2,142%.

Daftar Notasi

- A luas penampang film plastik *biodegradable* yang dikenai tegangan (mm²)
 a percepatan gravitasi (m/s²)
 m berat beban saat sampel terputus (kg)
 F_{maks} tegangan maksimum (N)
 τ kuat tarik (Mpa)

DAFTAR PUSTAKA

- Ardakani, K. M., A. H. Navarchian, and F. Sadeghi. "Optimization of Mechanical Properties of thermoplastic starch/clay nanocomposites." *Carbohydrate Polymers* 79 (2009): 547-554.
- Bourtoom, Thawien. "Plasticizer effect on the properties of biodegradable blend film from rice starch-chitosan." *Songklanakarin Journal Science of Technology* 30, no. Suppl.1 (2008): 149-155.
- Darni, Yuli, and Herti Utami. "Studi Pembuatan dan Karakteristik Sifat Mekanik dan Hidrofobitas Bioplastik dari Pati Sorgum." *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan Vol. 7, No. 4*, 2010: 190-195.
- Ghanbarzadeh, Babak, Hadi Almasi, and Ali A. Entezami. "Improving the barrier and mechanical properties of corn starch-based edible films: Effect of citric acid and carboxymethyl cellulose." *Industrial Crops and products*, 2010.
- Hermansyah, Herri, and Adityo F. Nugroho. *Sintesis Bioplastik dari Pati Ubi Jalar menggunakan Penguat Logam ZnO dan Penguat Alami Selulosa*. Jakarta: Universitas Indonesia, 2012.
- Hermansyah, Herri, and Erdo S. Marbun. *Sintesis Bioplastik dari Pati Ubi Jalar Menggunakan*

- Penguat Logam ZnO dan Penguat Clay.* Jakarta: Universitas Indonesia, 2012.
- Hidayat, M. Khoirul, Latifah, and Sri Mantini Rahay Sedyawati. "Penggunaan Carboxymethyl Cellulose dan Gliserol pada Pembuatan Plastik Biodegradable Pati Gembili." *Indonesian Journal of Chemical Science* 2, no. 3 (November 2013): 253-258.
- Indriyati, Lucia Indrarti, and Elsy Rahimi. "Pengaruh Carboxymethyl Cellulose dan Gliserol terhadap Sifat Mekanik lapisan Tipis Komposit Bakterial Selulosa." *Jurnal Sains Materi Indonesia* 8, no. 1 (Oktober 2006): 40-44.
- Ioannou, Irina, and Mohamed Ghouli. "Prevention of Enzymatic Browning in Fruit and Vegetables." *European Scientific Journal* 9, no. 30 (October 2013): 310-341.
- Kampeerappun, P., D. Aht-ong, D. Pentrakoon, and K. Srikulkit. "Preparation of cassava starch/montmorillonite composite film." *Carbohydrate Polymers* 67 (2007): 155-163.
- Ma, F. X. "Preparations and properties of glycerol plasticized-pea starch/zinc oxide bionanocomposite." *Carb. Polymers* 75 (2009): 472-478.
- Mao, Lijun, Syed Imam, Serald Gordon, Patrizia Cinelli, and Enno Chiellini. "Extrude Cornstarch_Glycerol_Polyvinyl Alcohol Blends: Mechanical Properties, Morphology, and Biodegradability." *Journal of Polymers and the Environment* 8, no. 4 (October 2002).
- Nguyen, Thi Bich Thuy, Saichol Ketsa, and Wouter G. van Doorn. "Relationship between browning and the activities of polyphenol oxidase and phenylalanine ammonia lyase in banana peel during low temperature storage." *Postharvest Biology and Technology* 30, 2003: 187-193.
- Pimpan, V, K. Ratanarat, and M. Pongchawanakul. "Preliminary Study on Preparation of Biodegradable Plastic from Modified Cassava Starch." *Journal Science*, 2001.
- Qiao, X., Z. Tang, and K. Sun. "Plasticization of corn starch by polyol mixtures." *Carbohydrate Polymers* 83 (2010): 659-664.
- Shi, Rui, et al. "Characterization of citric acid/glycerol co-plasticized thermoplastic starch prepared by melt blending." *Carbohydrate Polymers* 69 (2007): 748-755.
- Suharti, Profiyanti Hermien, Nanik Hendrawati, and Arief Suharti. "Studi Awal Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata* balbisiana Colla) sebagai Bahan Baku Pembuatan Film Biodegradable." *Jurnal Teknik: Ilmu dan Aplikasi*, 2015.
- Utami, Meilina Rahayu, L. Latifah, and Nuni Widiarti. "Sintesis Plastik Biodegradable dari Kulit Pisang dengan Penambahan Kitosan dan Plasticizer Gliserol." *Indonesian Journal of Chemical Science*, 2014: 163-167.
- Widyaningsih, Senny; Kartika, Dwi; Nurhayati, Yuni Tri;. "Pengaruh Penambahan Sorbitol Dan Kalsium Karbonat Terhadap Karakteristik Dan Sifat Biodegradasi Film Dari Pati Kulit Pisang." *Molekul* 7, no. 1 (2012): 69-81.
- Wirawan, Sang Kompang, Agus Prasetya, and Ernie. "Pengaruh Plasticizer pada Karakteristik Edible Film dari Pektin." *Reaktor* 14, no. 1 (April 2012): 61-67.
- Yang, June-Ho, Jongshin Park, Daehyun Kim, and DaeHoon Lee. "Effect of Calcium Carbonate as the Expanding Inhibitor on the Structural and Mechanical Properties of Expanded Starch/Polyvinyl Alcohol Blends." *Journal of Applied Polymer Science* 93 (2004): 1762-1768.
- Zuraida, A., Y. Yusliza, H. Anuar, and R. Mohd Khairul Muhaimin. "The effect of water and citric acid on sago starch bio-plastics." *International Food Research Journal* 19, no. 2 (2012): 715-719.