

SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI PLASTIK *BIODEGRADABLE* DARI LIMBAH TEPUNG NASI AKING DAN TEPUNG TAPIOKA MENGGUNAKAN GLISEROL SEBAGAI PLASTICIZER

Andri Cahyo Kumoro^{*)}, Aprilina Purbasari

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

Abstrak

Meningkatnya penggunaan kemasan plastik seiring dengan semakin meningkatnya konsumsi dan daya beli masyarakat terutama disebabkan oleh sifat bahan plastik yang ringan, fleksibel, praktis dan harganya relatif murah. Akan tetapi, pada umumnya plastik yang digunakan tersebut bersifat non-biodegradable, sehingga jika dibuang begitu saja dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Penelitian ini ditujukan untuk mengkaji pengaruh gliserol terhadap karakteristik plastik biodegradable dari komposit tepung limbah nasi aking dan tepung tapioka. Plastik biodegradable dibuat dengan mencetak larutan dari komposit tepung yang ditambah gliserol sebagai plasticizer. Plastik biodegradable dari tepung nasi aking dan tepung tapioka yang dihasilkan ternyata kurang tahan terhadap beban mekanik, tetapi cukup fleksibel. Plastik biodegradable berkualitas baik dihasilkan pada campuran tepung dengan rasio tepung nasi aking:tepung tapioka 30:70 dan kadar gliserol 15% dengan tensile strength 20,65 MPa, elongation at break 4,7% dan modulus Young 1138 MPa. Plastik biodegradable yang dihasilkan mempunyai struktur mikro yang tidak kontinyu, kasar dan sangat berpori. Hasil analisis FTIR menunjukkan adanya gugus OH, CH₂, amide III dan amida I di dalamnya.

Kata kunci: komposit; nasi aking; plastik biodegradable; sifat mekanik; tepung tapioka

Abstract

[Mechanical Properties and Morphology of Biodegradable Plastic from Steamed Rice Waste and Cassava Flour with Glycerol as Plasticizer] The annual consumption of plastic packaging has increased significantly as a response to the increase of people's need and buying power. As a packaging material, plastic is light, flexible, practical and inexpensive. Unfortunately, if the plastic is not biodegradable and dumped irresponsibly to the ecosystem may cause serious environmental problems. The objective of this research was to study the effect of glycerol on the characteristic of biodegradable plastic from steamed rice waste and cassava flours composites. The biodegradable plastic was manufactured by casting the warm solution of flours composite with addition of glycerol as plasticizer. The results showed that biodegradable plastic obtained from steamed rice waste and cassava flours composites has limited mechanical stress, but remains flexible in nature. Good quality biodegradable plastic was obtained when 15% weight of glycerol in addition to 30:70 ratio of steamed rice waste flour to cassava flour with tensile strength 20.65 MPa, elongation at break 4.7% and Young Modulus 1138 MPa. The biodegradable plastic exhibits discontinue microstructure, rough and porous. Fourier transform infrared analysis proved the existence of OH, CH₂, amide III and amida I groups in the biodegradable plastic.

Keywords: biodegradable plastic; cassava flour; composite; mechanical properties; steamed rice waste

1. Pendahuluan

Produk-produk barang konsumsi dengan kemasan plastik cenderung terus meningkat seiring dengan semakin meningkatnya konsumsi dan daya beli masyarakat. Pada umumnya, industri makanan

dan minuman menggunakan kemasan plastik sebagai pembungkus karena ringan, fleksibel, praktis dan harganya relatif murah. Pada tahun 2006 produksi kantong dan karung plastik mencapai 1.559.177 ton atau mencapai 39,3 % dari total produksi barang plastik di Indonesia pada tahun tersebut yang jumlahnya mencapai 3.967.255 ton (Prahasta, 2008). Penggunaan plastik sebagai pembungkus dan pengemas makanan yang terus meningkat disertai

^{*)} Penulis Korespondensi.

E-mail: andrewkomoro@undip.ac.id

dengan kesadaran masyarakat Indonesia akan pengelolaan sampah yang masih rendah dapat menimbulkan permasalahan sosial dan kesehatan yang serius. Saat ini, sekitar 50% plastik yang beredar di pasaran digunakan hanya untuk satu kali pemakaian. Akibatnya, jumlah sampah yang semakin banyak tidak hanya terjadi di daratan, tetapi juga di sungai, rawa, bahkan laut (Hijauku, 2012). Kondisi ini diperburuk dengan kenyataan bahwa plastik-plastik yang digunakan sebagai pembungkus adalah plastik yang tidak bisa diuraikan oleh jasad renik (non-biodegradable). Oleh karena itu, sisa plastik pembungkus akan menjadi limbah yang berpotensi mencemari tanah dan perairan di Indonesia dan mengancam kehidupan tanaman, hewan dan bahkan manusia.

Sebagai akibat dari gaya hidupnya, pada umumnya masyarakat kelas menengah ke atas di Indonesia hampir tidak pernah menghabiskan nasi yang dihidangkan pada setiap kali makan. Hal ini menyebabkan timbulnya limbah butir-butir nasi yang terbuang percuma. Jika saat ini jumlah penduduk dari kalangan menengah ke atas di Indonesia berjumlah 140 juta jiwa, dan diasumsikan bahwa setiap kali makan mereka menyisakan 3 butir nasi, maka dalam satu kali makan saja sudah terkumpul limbah yang berupa 420 juta butir nasi. Kemudian, pemulung biasanya mengumpulkan, membersihkan dan mengeringkan sisa-sisa butir nasi ini menjadi nasi aking. Karena satu kilogram beras setara dengan 50 ribu butir beras (Kemal, 2012), maka dalam satu kali makan Indonesia sudah membuang 8,4 ton beras atau 25,2 ton beras per hari. Hingga saat ini, nasi aking pada umumnya dikonsumsi oleh masyarakat miskin yang tidak mampu membeli beras sebagai bahan makanan pokok atau dimanfaatkan sebagai pakan ternak ayam dan itik ketika harga dedak dan jagung sedang melambung harganya (Sudarmojo, 2012).

Pati adalah polisakarida yang terdiri dari amylose D-glukan linier dan amilopektin yang bercabang banyak. Pati merupakan bahan baku yang paling menjanjikan dalam pembuatan plastik pada masa yang akan datang karena selalu tersedia dalam jumlah besar dan harganya murah (Chivrac dkk., 2010). Pembuatan plastik *biodegradable* dan *edible film* dari karbohidrat dan protein dapat menambah nilai ekonomi terhadap bahan-bahan baku yang kurang bermanfaat sehingga dapat berperan penting dalam penyimpanan bahan pangan (Ave'rous dkk., 2001). Plastik yang terbuat dari pati bersifat isotropik, tidak berbau, tidak berasa, tidak beracun dan *biodegradable* (Flores dkk., 2007). Plastik ini biasanya juga mempunyai kekuatan mekanik yang tinggi dan dapat berfungsi sebagai penghalang gas, terutama oksigen, karbon dioksida dan lemak (Chang dkk., 2006). Sifat fisik, ketahanan terhadap bahan kimia dan sifat mekanik plastik yang terbuat dari pati sangat mirip dengan plastik dari bahan dasar minyak bumi. Plastik yang terbuat dari pati juga lebih kuat dan fleksibel jika dibandingkan dengan plastik dari lemak

dan protein. Beberapa penelitian pada dasawarsa yang lalu telah mulai menggunakan tepung sebagai bahan baku dalam pembuatan plastik. Selain itu, usaha untuk mencampur polisakarida, protein dan lemak dalam pembuatan plastik telah dilakukan untuk menonjolkan kelebihan atau menutupi kekurangan bahan-bahan tersebut (Baldwin dkk., 1995). Müller dkk. (2008) melaporkan bahwa gliserol yang merupakan polialkohol yang berada secara alami bersama gliserida dalam lemak hewan dan tumbuhan adalah bahan plasticizer yang paling sesuai untuk polimer yang dapat larut dalam air. Gugus hidroksil yang terdapat dalam gliserol akan berinteraksi secara intra dan antar molekul melalui ikatan hidrogen dalam rantai polimer dan memberi fleksibilitas kepada struktur plastik sehingga dapat dibentuk menjadi bahan pengemas (Souza dkk., 2010).

Padi dan singkong merupakan tanaman pertanian yang sangat penting di Indonesia. Tepung beras dan tapioka merupakan bahan perekat dan pengental yang efisien, sehingga banyak digunakan dalam industri sup, saus, pengisi pasta, dan lain-lain. Laohakunjit dan Noomhorm (2004) dan Phan dkk (2005) telah meneliti pembuatan bioplastik dari tepung beras dan singkong dengan penambahan plasticizer gliserol dan sorbitol. Bioplastik yang terbuat dari pati singkong dan diberi plasticizer gliserol bersifat transparan, jernih, homogen, fleksibel dan mudah dibawa. Sedangkan, bioplastik dari pati beras yang diberi plasticizer gliserol lebih rapuh dan kurang tahan terhadap beban mekanik (Phan dkk, 2005). Kuat tarik bioplastik dari pati beras yang diberi plasticizer gliserol lebih rendah jika dibandingkan dengan yang diberi plasticizer sorbitol, namun *elongation* (kuat sobeknya) lebih besar (Laohakunjit dan Noomhorm, 2004). Lopattananon dkk. (2012) telah meneliti pembuatan bioplastik dari komposit tepung beras dan tepung tapioka menggunakan proses ekstrusi berulir kembar (*twin screw-extrusion*) dan pencetakan mampat (*molding compression*) tanpa penambahan bahan plasticizer. Mereka melaporkan bahwa semua tepung dan komposisinya dapat dicampur dengan seragam. Selain itu, kuat tarik bioplastik dari tepung beras lebih tinggi dari tepung tapioka, namun kurang fleksibel. Akibatnya, kuat tarik bioplastik yang dibuat dari komposit tepung beras dan tepung tapioka juga meningkat seiring dengan meningkatnya komposisi tepung beras. Sementara itu, Rachtanapun dkk. (2012) melaporkan bahwa biofilm yang baik dapat dibuat dari pati singkong dan tepung beras dengan penambahan sorbitol sebagai plasticizer. Mereka menghasilkan bioplastik dengan kuat tarik tertinggi, yaitu 19,4 kgf dari komposit yang mengandung 70:30 pati singkong:tepung beras dan 30% b/b sorbitol sebagai plasticizer.

Makalah ini menyajikan hasil kajian pembuatan plastik *biodegradable* dari tepung limbah nasi aking dan tepung tapioka dengan penambahan gliserol sebagai plasticizer. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh jumlah gliserol yang

ditambahkan terhadap sifat mekanik plastik *biodegradable* yang dihasilkan. Selain itu, analisis *scanning electron microscopy* juga dipaparkan untuk menggambarkan morfologi dan struktur mikro plastik *biodegradable*.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Bahan nasi aking yang digunakan diperoleh dari pengepul di daerah Tembalang, dicuci dengan air hingga bersih dan dijemur dibawah terik matahari hingga kering (kadar air $\pm 10\%$). Selanjutnya nasi aking yang sudah kering digiling menggunakan *ball mill* dan diayak hingga diperoleh tepung nasi aking dengan ukuran butir rata-rata $\pm 300\mu\text{m}$. Tepung tapioka merk Gunung Mas dibeli dari pasar tradisional di Banyumanik, Semarang. Sedangkan gliserol ACS reagent dengan kemurnian $\geq 99,5\%$ merk Sigma-Aldrich dan bahan-bahan kimia untuk analisis dibeli dari penganalisis resmi bahan kimia (CV.Setia Abadi) di Semarang.

Pada pembuatan bioplastik, sepuluh gram komposit tepung nasi aking dan tepung tapioka dengan perbandingan 30:70 dilarutkan dalam air untuk memperoleh konsistensi 10% b/v di dalam sebuah labu beaker berkapasitas 250 mL. Labu beaker tersebut dimasukkan ke dalam penangas air dan larutan di dalamnya diaduk pada suhu 60°C selama 10 menit sambil sejumlah gliserol (sesuai dengan variasi yang diinginkan dalam % b/b) ditambahkan ke dalam larutan. Larutan ini selanjutnya didinginkan pada suhu kamar (27°C - 30°C) sebelum dicetak dengan mesin pencetak lembaran (*tape casting machine*) dengan laju putaran 20 rpm. Lembaran plastik yang diperoleh kemudian dibiarkan selama 24 jam pada suhu ruangan untuk selanjutnya dilepaskan, diukur tebalnya dan diuji sifat mekanik (*tensile strength*, modulus Young dan *percent elongation*), morfologi dan gugus fungsionalnya.

Kadar komponen utama tepung dalam % yang meliputi lemak, protein, abu, serat kasar dan air ditentukan menurut protokol yang diterbitkan oleh *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 1990). Karbohidrat dihitung sebagai selisih antara 100 dengan jumlah kadar lemak, protein, abu, serat kasar dan air. Kadar amylose dalam tepung nasi aking dan tepung tapioka ditentukan secara kolorimetri menurut protokol yang diterbitkan oleh *American Association Cereal Chemist* (AACC, 2000). Tebal lembaran plastic diukur menggunakan micrometer digital bepresisi tinggi (*Digimatic Indicator, Mitutoyo Corporation, Japan*). Pengukuran dilakukan hingga mencapai ketelitian 0.0001 ($\pm 5\%$) pada beberapa bagian lembaran plastik secara acak, dan ketebalan film adalah reratanya. *Tensile strength* (kuat tarik) dan Modulus Young diuji dengan *Instron Universal Testing Machine Model 1000* (H1K-S, UK) menurut protokol ASTM D882-91 (ASTM, 1993). Sementara itu *percent elongation* diuji menurut protokol ASTM D618-61 (ASTM, 1993). Sedangkan morfologi dan struktur mikro bioplastik diuji dengan *scanning*

electron microscopy (SEM). Analisis gugus fungsional dalam bioplastik dilakukan dengan *Fourier Transform Infra-Red Spectrophotometry* (Bourtoom dan Chinnan, 2003).

3. Hasil dan Pembahasan

Karakteristik tepung nasi aking dan tepung tapioka

Nasi aking (Gambar 1 (a)) yang sudah dikumpulkan dari beberapa kedai makan di sekitar kampus Undip Tembalang selanjutnya digiling halus untuk memperoleh tepung nasi aking (Gambar 1 (b)) dan siap untuk diolah bersama tepung tapioka (Gambar 1(c)) menjadi plastik *biodegradable*.

Pada Gambar 1 (a) dapat dilihat bahwa karena nasi aking merupakan limbah dari warung tegal dan warung makan lainnya, maka nasi aking hanya dikeringkan dengan panas/terik sinar matahari tanpa dikendalikan waktu dan suhunya. Akibatnya, warna dan kadar air dalam nasi aking yang diperoleh cukup beragam. Hal ini nampak pada tumbuhnya sedikit jamur pada nasi aking yang telah kering. Setelah digiling dan diayak, tepung nasi aking (Gambar 1(b)) yang diperoleh juga tidak begitu cerah warnanya (cenderung putih kekuningan). Hal ini sangat berbeda dengan tepung tapioka yang putih cerah warnanya (Gambar 1(c)).

Sebagai bahan baku untuk pembuatan plastik *biodegradable*, maka komposisi kimia nasi aking dan tepung tapioka perlu diketahui. Komponen utama yang perlu diperhatikan adalah kandungan karbohidrat, pati, protein dan lemak di dalamnya. Seperti telah diketahui, plastik *biodegradable* dapat dibuat dari berbagai bahan baku, seperti protein, lemak (lipid), polisakarida (karbohidrat) atau gabungan dari bahan-bahan tersebut. Hasil analisis proksimat terhadap tepung nasi aking dan tepung tapioka disajikan dalam Tabel 1. Seperti diperkirakan sebelumnya, tepung tapioka mempunyai kadar karbohidrat dan pati yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan tepung nasi aking. Akan tetapi, kadar protein dan lemak dalam nasi aking justru jauh lebih tinggi dari pada kadar pati dan lemak dalam tepung tapioka. Perbedaan komposisi kimia pada tepung nasi aking dan tepung beras, terutama pada kadar karbohidrat, amilose dan protein disebabkan oleh proses pemasakan (Derycke, 2007). Perbedaan komposisi kimia tepung tapioka dalam penelitian ini dengan data literatur terutama disebabkan oleh perbedaan cara pengolahan umbi singkong menjadi tepung tapioka, jenis tanah, iklim, umur, pupuk dan letak geografis lokasi budidaya singkong.

Menurut de la Guerivier (1976), amilose dalam pati akan membentuk tekstur dan permukaan yang teratur, serta meningkatkan elastisitas dan kelekatan pada produk berbasis pati. Artinya, pati yang mempunyai kadar amilose yang tinggi akan membentuk gel yang lebih keras (Novelo-Cen dan Betancur-Ancona, 2005). Oleh karena itu, tepung

tapioka merupakan bahan yang sangat diperlukan untuk menghasilkan produk yang memerlukan tekstur yang kuat. Kadar air yang cukup tinggi dalam tepung nasi aking dapat memberi efek plasticizer dengan menurunkan ketahanan mekanik dan meningkatkan fleksibilitas plastik *biodegradable* yang dihasilkan (Sobral dkk., 2001).

Pengaruh jumlah gliserol terhadap sifat mekanik plastik *biodegradable* dari tepung nasi aking dan tepung tapioka.

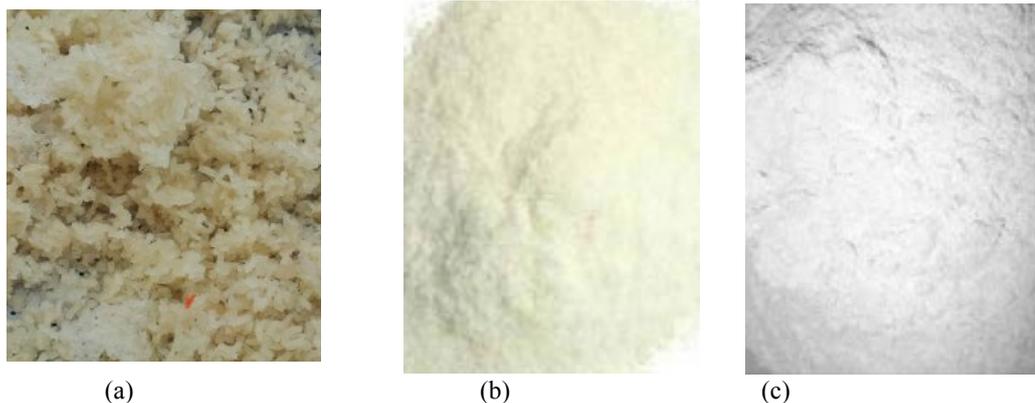
Sifat mekanik plastik *biodegradable* yang terbuat dari tepung nasi aking dan tepung tapioka pada berbagai kadar gliserol yang ditambahkan sebagai plasticizer ditampilkan pada Tabel 2. Pada Tabel 2 nampak bahwa penambahan gliserol menyebabkan nilai Modulus Young dan kuat tarik menurun dan plastik *biodegradable* menjadi lebih lentur/fleksible.

Meningkatnya fleksibilitas seiring dengan meningkatnya jumlah plasticizer gliserol yang ditambahkan ke dalam film hidrofilik juga telah dilaporkan oleh Mali dkk. (2004) dan Sobral dkk. (2001). Hal ini terkait dengan struktur molekul gliserol yang mempunyai rantai yang kecil sehingga mudah masuk ke dalam molekul pati dan menyebabkan perubahan struktur jaringan pada molekul pati. Gliserol juga menurunkan interaksi dan gaya tarik menarik antar molekul pati sehingga mempengaruhi kristalinitas dan fleksibilitas plastik (Laohakunjit dan Noomhorm, 2004). Matriks dalam film *biodegradable* menjadi kurang padat dan memungkinkan terjadinya pergerakan rantai polimer ketika film diberi tekanan.

Tabel 1. Komposisi kimia tepung nasi aking, tepung beras, dan tepung tapioka

Bahan Baku	Komposisi Kimia (%) b/b						
	Karbohidrat	Amilose	Lemak	Protein	Abu	Serat	Air
Tepung Nasi Aking ^a	83,19	29,70	0,40	3,36	0,57	0,11	12,37
Tepung Tapioka ^a	90,80	29,50	0,17	0,32	0,45	1,20	7,06
Tepung Beras ^b	86,75	31,28	0,07	7,53	0,37	0,30	4,98
Tepung Tapioka ^b	96,74	37,43	0,02	0,18	0,20	0,30	2,56

^aPenelitian ini; ^bLopattananon dkk. (2012)



Gambar 1. Nasi aking (a), tepung nasi aking (b), dan tepung tapioka (c)

Nilai kuat tarik dan Modulus Young pada plastik *biodegradable* dari tepung nasi aking lebih rendah jika dibandingkan dengan tepung tapioka. Hal ini merupakan akibat dari ketidakberaturan struktur mikro dalam plastik tersebut yang disebabkan oleh kandungan lemak yang lebih tinggi. Pe'roval dkk. (2002) menyatakan bahwa lemak tidak dapat membentuk matriks yang kohesif dan kontinyu.

Sebaliknya, nilai *elongation at break* meningkat sejalan dengan meningkatnya jumlah gliserol yang ditambahkan. Selama proses pembuatan film plastik, butir dan struktur kristal pati mengalami kerusakan oleh suhu yang tinggi melalui mekanisme gelatinisasi dan juga karena gaya geser selama

pengadukan. Perubahan yang terjadi pada struktur mikro pati ini mendorong masuknya plasticizer ke dalam matriks pati. Sebagai plasticizer, gliserol yang sudah masuk ke dalam molekul pati selanjutnya menurunkan interaksi antar molekul pati (kohesi) dengan membentuk ikatan hidrogen antara gugus hidroksil dalam molekul pati dengan molekul gliserol. Hal ini memfasilitasi gerakan dan penyusunan kembali rantai makromolekul dalam pati yang menyebabkan meningkatnya fleksibilitas film plastik. Akan tetapi, terjadi penurunan nilai *elongation at break* pada plastik *biodegradable* dari tepung nasi aking yang menggunakan 35 % gliserol. Fenomena ini dapat terjadi sebagai akibat dari efek antiplasticizer

karena penggunaan plasticizer yang berlebihan yang menyebabkan interaksi antara plasticizer dan molekul pati yang lebih kuat sehingga menurunkan mobilitas molekuler seperti yang pernah dilaporkan oleh Lourdin dkk. (1997), Shimazu dkk. (2007) serta Laohakunjit dan Noomhorm (2004).

Pengaruh jumlah gliserol terhadap sifat mekanik plastik *biodegradable* dari campuran tepung nasi aking dan tepung tapioka (30:70 b/b).

Lopattananon dkk. (2012) dan Rachtanapun dkk. (2012) melaporkan bahwa campuran 30:70 tepung beras dan tepung tapioka dan 30 % sorbitol merupakan campuran terbaik untuk menghasilkan plastik *biodegradable* dengan kuat tarik yang tertinggi. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan campuran tepung nasi aking dan tepung tapioka 30:70. Seperti juga sorbitol, jumlah gliserol yang ditambahkan ke dalam larutan tepung nasi aking dan tepung tapioka mempengaruhi sifat mekanik plastik *biodegradable* yang dihasilkan. Hasil analisis sifat mekanik plastik *biodegradable* yang diperoleh dengan jumlah penambahan gliserol yang berbeda-beda ditampilkan dalam Tabel 3.

Modulus Young dan kuat tarik plastik *biodegradable* yang dibuat dari campuran tepung nasi aking dan tepung tapioka dengan perbandingan massa 30:70 lebih tinggi jika dibandingkan dengan modulus Young dan kuat tarik plastik *biodegradable* dari tepung nasi aking. Hal ini dapat terjadi karena adanya penambahan amylose dari tepung tapioka dan

menyebabkan jaringan polimer dalam bioplastik semakin padat (Alves dkk., 2007). Perubahan nilai Modulus Young, kuat tarik dan *elongation at break* ini juga disebabkan oleh perubahan kadar air dalam komposit campuran tepung nasi aking dan tepung tapioka. Talja dkk (2007) menyatakan bahwa ketiga sifat mekanik plastik *biodegradable* tersebut juga dapat berubah sebagai akibat menurunnya efisiensi pemlastikan oleh air.

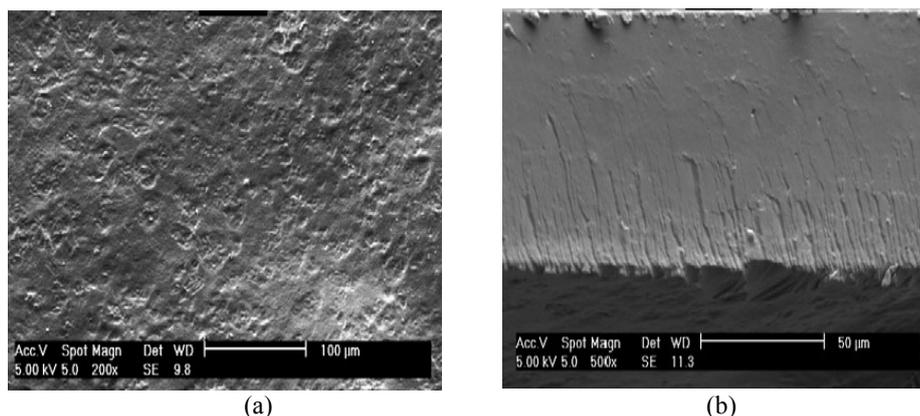
Seperti pada kajian sebelumnya, peningkatan kadar gliserol dalam campuran bahan pembuat plastik *biodegradable* juga meningkatkan *elongation at break* plastik yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan yang diharapkan bahwa penambahan plasticizer akan meningkatkan kelenturan plastik *biodegradable* yang dihasilkan. Dai dkk. (2010) juga melaporkan bahwa jenis dan kadar plasticizer yang ditambahkan pada larutan pati mempengaruhi karakteristik plastik yang dihasilkan, terutama pada stabilitas fisik dan mekanik. Efektivitas gliserol sebagai plasticizer dalam plastik *biodegradable* dari komposit tepung nasi aking dan tepung tapioka disebabkan oleh ukuran molekul gliserol yang jauh lebih kecil dari molekul pati beras dan pati singkong sehingga dapat masuk dengan mudah di antara rantai polimer dalam pati beras dan pati singkong (Wittaya, 2012). Kadar gliserol 15% merupakan jumlah plasticizer yang cukup baik pada pembuatan plastik *biodegradable* karena menghasilkan plastik dengan nilai *tensile strength* yang setara dengan yang dilaporkan oleh Rachtanapun dkk. (2012), yaitu sekitar 20 MPa.

Tabel 2. Sifat mekanik plastik *biodegradable* dari tepung nasi aking dan tepung tapioka pada berbagai kadar gliserol

Kadar Gliserol (g/100g larutan)	Modulus Young (MPa)	Kuat Tarik (MPa)	<i>Elongation at Break</i> (%)
Tepung Nasi Aking			
0	1247	9,0	2,1
20	560,7	3,5	2,7
25	54,1	2,2	16
30	24,6	1,4	19,3
35	17,3	1,0	14
Tepung Tapioka			
0	1400	34	3,8
10	1214	31	4,1
20	40,5	17	38
30	1,2	2,3	112
40	0,5	1,8	110

Tabel 3. Sifat mekanik plastik *biodegradable* dari komposit campuran tepung nasi aking dan tepung tapioka pada berbagai kadar gliserol

Kadar Gliserol (g/100g larutan)	Modulus Young (MPa)	Kuat Tarik (MPa)	<i>Elongation at Break</i> (%)
0	1352	27,97	3,1
10	1124	23,17	3,9
15	1138	20,65	4,7
20	203,5	10,31	6,2
30	8	2,41	9,5
40	5	2,3	18,7



Gambar 2. Mikrograf hasil analisis plastik *biodegradable* dari komposit campuran tepung nasi aking dan tepung tapioka dengan SEM *Imaging* (a) permukaan dengan 1000× pembesaran dan (b) penampang melintang dengan 2000× pembesaran.

Morfologi plastik *biodegradable* dari campuran tepung nasi aking dan tepung tapioka.

Hasil analisis morfologi plastik *biodegradable* dari tepung nasi aking dan tepung tapioka disajikan pada Gambar 2. Gambar 2 (a) menunjukkan bahwa permukaan plastik *biodegradable* yang dihasilkan merupakan permukaan yang tidak homogen, kurang halus dan nampak kurang sempurna. Ketidakteraturan permukaan plastik *biodegradable* tersebut merupakan akibat dari adanya berbagai makromolekul, seperti pati, lemak, protein dan serat di dalam jaringan polimer plastik *biodegradable*. Selain itu, ketidakteraturan tersebut juga merupakan hasil interaksi antara komponen-komponen makromolekul, seperti pati-protein, pati-selulose (serat) dan senyawa kompleks stabil yang terbentuk dari amylose dan lemak (Pellisari dkk., 2013). Meskipun kadar protein, lemak dan serat dalam tepung nasi aking dan tepung tapioka kurang dari 5% (Tabel 1), komponen-komponen ini berperan penting dalam pembentukan struktur film. Pemisahan-pemisahan komponen-komponen tersebut berlangsung dalam skala mikro dapat terjadi pada saat pencetakan film.

Gambar 2 (b) dapat diketahui bahwa tebal merata plastik *biodegradable* yang dihasilkan kurang lebih 123 μ . Tebal plastik *biodegradable* ini hampir sama dengan yang dilaporkan oleh Laohakunjit dan Noomhorm (2004), yaitu antara 105-113 μ . Selain itu pada Gambar 2 (b) juga nampak bahwa penampang melintang plastik *biodegradable* yang dihasilkan lebih menyerupai bahan yang terlamiasi (terlapis bahan tipis), kurang padat dan strukturnya kurang homogen dengan beberapa retakan kecil. Permukaan plastik *biodegradable* yang diperoleh cenderung kasar merupakan cerminan nilai kilap yang rendah (permukaan yang sangat rentan terhadap paparan udara jika dikeringkan dengan udara) dan keburaman yang tinggi. Nilai kilap merupakan representasi dari tekstur permukaan dan derajat gosok (*polishing degree*) yang nilainya sangat dipengaruhi oleh distribusi ukuran partikel bahan baku pembuatan film

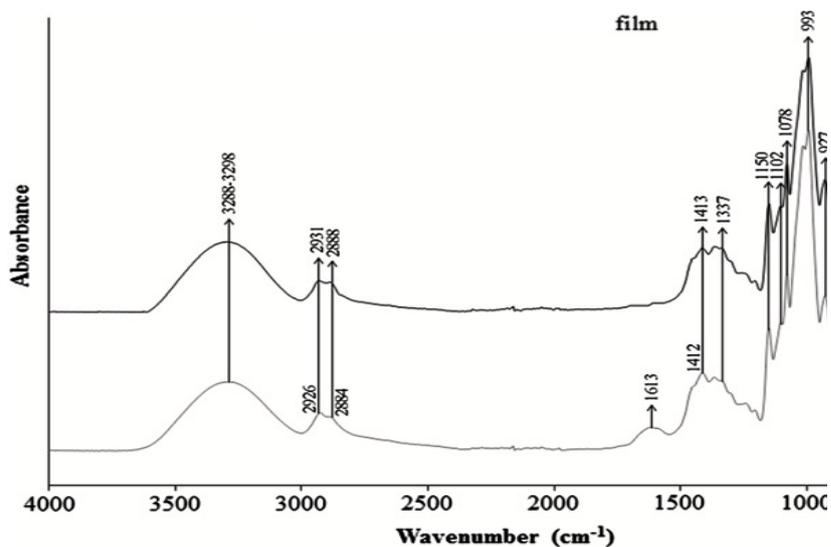
(Moraes dkk., 2008). Oleh karena itu, semakin seragam ukuran partikel bahan pembuat film akan menghasilkan film yang lebih halus dan cerah (Trezza and Krochta, 2001). Keburaman yang tinggi disebabkan oleh tingginya kadar protein, lemak dan serat. Tapia-Blácido dkk. (2005) dan Batista dkk. (2005) juga melaporkan peningkatan keburaman film seiring dengan meningkatnya kadar protein dan lemak pada film yang terbuat dari tepung bayam. Fakhouri dkk. (2007) berpendapat bahwa keburaman film juga tergantung pada kadar amylose, yang merupakan senyawa bersusunan molekul linier dengan ikatan hidrogen yang kuat antara gugus-gugus hidroksil yang saling berhadapan. Fenomena ini melemahkan interaksi antara biopolimer dengan air dan memicu pembentukan matrik polimer yang buram. Film yang mempunyai keburaman yang tinggi sangat baik digunakan sebagai pelindung terhadap paparan cahaya, terutama untuk produk-produk yang sensitif terhadap degradasi yang dikatalisis oleh cahaya.

Analisis gugus fungsional dalam plastik *biodegradable* dari campuran tepung nasi aking dan tepung tapioka.

Analisis terhadap gugus fungsional-gugus fungsional yang terdapat dalam plastik *biodegradable* dari campuran tepung nasi aking dan tepung tapioka dilakukan dengan *Fourier Transform Infra Red Spectrophotometry* (FTIR). Hasil analisis tersebut disajikan dalam Gambar 3. Gugus hidroksil bebas menyerap energi pada kisaran 3650- 3584 cm^{-1} , sehingga pita yang nampak pada rentang 3288-3298 cm^{-1} dalam spektra plastik *biodegradable* adalah penanda adanya gugus -OH yang disebabkan oleh pembentukan ikatan hidrogen pada film (Silverstein dkk., 2007). Pita dengan rentang 2800 dan 3000 cm^{-1} disebabkan oleh variasi kadar amylose dan amilopektin. Pita serapan energi pada 1613 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus amida I (protein yang mengandung ikatan C=O). Andrade-Mahecha (2009)

juga menjumpai pita energi pada 1633 cm^{-1} untuk film dari tepung achira. Pita energi pada spektra dengan posisi 1337 cm^{-1} , menunjukkan adanya gugus amida III yang biasa dijumpai pada 1200 and 1350 cm^{-1} (Singh, 2000). Sedangkan pita energi pada 1412 cm^{-1} merupakan representasi gugus karboksil ($-\text{COO}$) (Kizil dkk., 2002). Menurut Huang dkk. (2006), ikatan C-C, C-O, and C-O-H dapat diidentifikasi dengan kemunculan pita energi antara 800 and 1300 cm^{-1} . Pada film dari tepung nasi aking dan tepung tapioka, gugus-gugus tersebut terlihat pada 1078 , 1102 , dan 1150 cm^{-1} . Pita energi pada 993 cm^{-1} menunjukkan adanya struktur amorf yang merupakan interaksi air dengan ikatan hidrogen (Van Soest dkk., 1995). Sedangkan pita energi pada 926 cm^{-1} merupakan ikatan glikosidik pada pati. Struktur aromatik terekam pada 703 and 762 cm^{-1} yang diperkirakan muncul karena adanya senyawa fenolik (Guilarduci dkk., 2004).

Gambar 3 juga menunjukkan kemiripan antara spektra FTIR untuk plastik *biodegradable* yang terbuat dari tepung nasi aking dan plastik *biodegradable* dari komposit tepung nasi aking dan tepung tapioka. Kemiripan ini menunjukkan bahwa sebagian besar gugus fungsional yang dimiliki oleh tepung tapioka juga dimiliki oleh tepung nasi aking. Jika dua bahan dicampur, maka akan terbentuk campuran fisik dan bahkan dapat terjadi interaksi kimia yang ditandai dengan perubahan karakteristik pada puncak spektra hasil analisis dengan FTIR (Bourtoom dan Chinnan, 2008). Seperti terlihat pada Gambar 3, pencampuran tepung tapioka pada tepung nasi aking menyebabkan timbulnya pita serapan energi pada 1613 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus amida I (protein yang mengandung ikatan $\text{C}=\text{O}$) dan pita energi pada spektra dengan posisi 1337 cm^{-1} yang merupakan penanda adanya gugus amida III yang biasa dijumpai pada 1200 and 1350 cm^{-1} (Singh, 2000).



Gambar 3. Hasil analisis plastik *biodegradable* dari tepung nasi aking dan plastik *biodegradable* dari komposit tepung nasi aking dan tepung tapioka dengan FTIR

4. Kesimpulan

Dari hasil-hasil penelitian yang diperoleh, maka dapat diambil kesimpulan bahwa plastik *biodegradable* yang dibuat dari komposit tepung nasi aking dan tepung tapioka kurang tahan terhadap beban mekanik, tetapi cukup lentur sebagai akibat dari penambahan gliserol sebagai plasticizer. Kadar gliserol yang cukup baik untuk pembuatan plastik *biodegradable* dari komposit tepung dengan rasio tepung nasi aking:tepung tapioka 30:70 adalah 15% dengan *tensile strength* 20,65 MPa, *elongation at break* 4,7% dan modulus Young 1138 MPa. Plastik *biodegradable* dari tepung nasi aking dan tepung tapioka mempunyai struktur mikro yang tidak kontinyu, kasar dan sangat berpori. Hasil analisis

FTIR menunjukkan adanya gugus OH, CH_2 , amide III dan amida I di dalamnya.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik-Universitas Diponegoro yang telah membiayai penelitian ini dengan Dana DIPA Fakultas Teknik Tahun Anggaran 2013 melalui Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian No: 5236/UN7.3.3/PG/2013, Tanggal 7 Juni 2013.

Daftar Pustaka

AACC. (2000). *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*. 10th Ed. Rhe Association, St. Paul, Minnesota.

- Alves, V. D., Mali, S., Beléia, A., & Grossmann, M. V. E. (2007). Effect of Glycerol and Amylose Enrichment on Cassava Starch Film Properties. *Journal of Food Engineering*, 78(3), 941-946.
- Andrade-Mahecha, M. M. (2009). Development and characterization of films based on Canna indica L. flour. *Master Thesis*. Universidade Estadual de Campinas, Brazil.
- AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis*. Washington DC: Association of Official Analytical Chemists
- ASTM. (1993). Standard practice for conditioning plastics and electrical insulating materials for testing. In *ASTM. Annual book of American standard testing methods* (Vol. 8.01, pp. 146-148). Philadelphia, PA.
- Ave'rous, L., Fringant, C., & Moro, L. (2001). Plasticized Starch–Cellulose Interactions in Polysaccharides Composites. *Polymer*, 42, 6565–6572.
- Baldwin, E. A., Nisperos-Carriedo, M. O., & Baker, R. A. (1995). Use of Edible Coatings to Preserve Quality of Lightly (and Slightly) Processed Products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 35, 509-524.
- Batista, J. A., Tanada-Palmu, P. S., & Grosso, C. R. F. (2005). Efeito da Adição de Ácidos Graxos em Filmes à Base de Pectina. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 25, 781-788.
- Bourtoom, T., & Chinnan, M. S. (2008). Preparation and Properties of Rice Starch-Chitosan Blend Biodegradable Film. *LWT - Food Science and Technology*, 41, 1633-1641.
- Chang, Y. P., Abd Karim, A., & Seow, C. C. (2006). Interactive Plasticizing–Antiplasticizing Effects of Water and Glycerol on the Tensile Properties of Tapioca Starch Films. *Food Hydrocolloids*, 20 (1), 1–8.
- Chivrac, F., Angellier-Coussy, H., Guillard, V., Pollet, E., & Avérous, L. (2010). How Does Water Diffuse in Starch/Montmorillonite Nanobiocomposite Materials? *Carbohydrate Polymers*, 82, 128-135.
- Dai, H., Chang, P.R., Geng, F., Yu, J. & Ma, X. (2010). Preparation and Properties of Starch Based Film using N,N-bis(2-hydroxyethyl) formamide as a New Plasticizer. *Carbohydrate Polymers*, 79(2), 306–311.
- de la Guerivier, J. F. (1976). Principles of the Extrusion Cooking Process Application to Starch Foods. *Bulletin des Anciens Elèves de l'École Française de Meunerie*, 276, 305.
- Derycke, V. (2007). Parboiling of rice: changes in starch and protein and their relation to cooking properties. *Doctor Dissertation*. KU Leuven-University, Belgium.
- Fakhouri, F. M., Fontes, L. C. B., Gonçalves, P. V. M., Milanez, C. R., Steel, C. J., & Collares-Queiroz, F. P. (2007). Filmes e Coberturas Comestíveis Compostas à Base de Amidos Nativos e Gelatina na Conservação e Aceitação Sensorial de Uvas Crimson. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 27, 369-375.
- Flores, S., Famá, L., Rojas, A. M., Goyanes, S., & Gerschenson, L. (2007). Physical Properties of Tapioca-Starch Edible Films: Influence of Filmmaking and Potassium Sorbate. *Food Research International*, 40, 257-265.
- Guilarduci, V. V. S., Mesquita, J. P., Martelli, P. B., & Gorgulho, H. F. (2006). Adsorção de Fenol Sobre Carvão Ativado em Meio Alcalino. *Química Nova*, 29, 1226-1232.
- Hijauku. (2012). Plastik: Kurangi atau Tinggalkan Mulai Sekarang, <http://www.hijauku.com/2012/02/06/plastik-kurangi-atau-tinggalkan-mulai-sekarang/>. (diakses pada tanggal 1 Nopember 2013)
- Huang, C. B., Jeng, R., Sain, M., Saville, B. A., & Hubbes, M. (2006). Production, Characterization and Mechanical Properties of Starch Modified by *Ophiostoma* spp. *Bioresources*, 1(2), 257-269.
- Kemal, A. (2012). Ironis, Di Indonesia Buang Puluhan Ton Beras Tiap Hari, <http://ekonomi.kompasiana.com/manajemen/2012/10/05/ironis-di-indonesia-buang-puluhan-ton-beras-tiap-hari-499250.html>. (diakses pada tanggal 28 Oktober 2013)
- Kizil, R., Irudayaraj, J., & Seetharaman, K. (2002). Characterization of Irradiated Starches by using FT-Raman and FTIR Spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(14), 3912-3918.
- Laohakunjit, N. & Noomhorm, A. (2004). Effect of Plasticizers on Mechanical and Barrier Properties of Rice Starch Film. *Starch*, 56, 348–356.
- Lopattananon, N., Thongpin, C. & Sombabsompop, N. (2012). Bioplastic from Blend of Cassava and Rice Flours: The Effect of Blend Composition. *International Polymer Processing*, XXVII, 3, 334-340.
- Lourdin, D., Bizot, H., & Collona, P. (1997). Antiplasticization in Starch-Glycerol Films? *Journal of Applied Polymer Science*, 63, 1047–1053.
- Mali, S., Grossmann, M. V. E., Garcí'a, M. A., Martino, M. M., & Zaritzky, N. E. (2004). Barrier, Mechanical and Optical Properties of Plasticized Yam Starch Films. *Carbohydrate Polymers*, 56, 129–135.
- Moraes, I. C., Silva, G. G. D., Carvalho, R. A., Habitante, A. M. Q. B., Bergo, P. V. A., & Sobral, P. J. A. (2008). Influência do Grau de Hidrólise do Poli(vinil álcool) nas Propriedades Físicas de Filmes à Base de Blendas de Gelatina e Poli(vinil álcool) Plásticos com Glicerol. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28, 738-745.

- Müller, C. M. O., Yamashita, F., & Laurindo, J. B. (2008). Evaluation of the Effects of Glycerol and Sorbitol Concentration and Water Activity on the Water Barrier Properties of Cassava Starch Films through a Solubility Approach. *Carbohydrate Polymers*, 72(1), 82-87.
- Novelo-Cen, L., & Betancur-Ancona, D. (2005). Chemical and Functional Properties of Phaseolus lunatus and Manihot esculenta Starch Blend. *Starch*, 57, 431-441.
- Pe'roval, C., Debeaufort, F., Despre', D., & Voilley, A. (2002). Edible arabinoxylan-based films. 1. Effects of Lipid Type on Water Vapor Permeability, Film Structure, and Other Physical Characteristics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 3977-3983.
- Pelissari, F. M., Andrade-Mahecha, M. M., Sobral, P. J. A., & Menegalli, F. C. (2013). Comparative Study on the Properties of Flour and Starch Films of Plantain Bananas (*Musa paradisiaca*). *Food Hydrocolloids*, 30, 681-690.
- Phan, D., Debeaufort, F., Luu, D., & Voilley, A. (2005). Functional Properties of Edible Agar-Based and Starch-Based Films for Food Quality Preservation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 973-981.
- Prahasta, P. (2008). Industri Plastik - Karung & Kantong. <http://pigaprahasta.blogspot.com/2008/03/industri-karung-kantong-plastik.html>. (diakses pada tanggal 1 Nopember 2013)
- Rachtanapun, P., Pankan, D. & Srisawat, D. (2012). Edible Films of Blended Cassava Starch and Rice Flour with Sorbitol and Their Mechanical Properties. *Journal of Agricultural Science and Technology*, A 2, 252-258
- Shimazu, A. A., Mali, S., & Grossmann, M. V. E. (2007). Efeitos Plastificante e Antiplastificante do Glicerol e do Sorbitol em Filmes Biodegradáveis de Amido de Mandioca. *Semina: Ciências Agrárias*, 28, 79-88.
- Silverstein, R. M., Webster, F. X., & J-Kiemle, D. (2007). *Identificação Espectrofotométrica de Compostos Orgânicos*. Rio de Janeiro: Editora LTC.
- Singh, B. R. (2000). *Infrared analysis of peptides and proteins- Principles and applications*. Washington: American Chemical Society.
- Sobral, P. J. A., Menegalli, F. C., Hubinger, M. D., & Roques, M. A. (2001). Mechanical, Water Vapor Barrier and Thermal Properties of Gelatin Based Edible Films. *Food Hydrocolloids*, 15(6), 423-432.
- Souza, A. C., Ditchfield, C., & Tadini, C. C. (2010). Biodegradable Films Based on Biopolymers for Food Industries. In Passos, M.L. & Ribeiro, C. P. (Ed.), *Innovation in Food Engineering: New Techniques and Products* (pp. 511-537). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Sudarmojo, S. A. (2012). Harga Nasi Aking di Bojonegoro Merangkak Naik, <http://www.antarajatim.com/lihat/berita/92740/harga-nasi-aking-di-bojonegoro-merangkak-naik>. (diakses pada tanggal 30 Oktober 2013).
- Talja, R. A., Helén, H., Roos, Y. H., & Jouppila, K. (2007). Effect of Various Polyols and Polyol Contents on Physical and Mechanical Properties of Potato Starch-Based Films. *Carbohydrate Polymers*, 67, 288-295.
- Tapia-Blácido, D. R., Sobral, P. J. A., & Menegalli, F. C. (2005). Development and Characterization of Biofilms Based on Amaranth Flour (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Food Engineering*, 67(1-2), 215-223.
- Trezza, T. A., & Krochta, J. M. (2001). Specular Reflection, Gloss, Roughness and Surface Heterogeneity of Biopolymer Coatings. *Journal of Applied Polymer Science*, 79(12), 2221-2229.
- Van Soest, J. J. G., Tournois, H., de Wit, J. D., & Vliegthart, J. F. G. (1995). Short-Range Structure (In Partially) Crystalline Potato Starch Determined with Attenuated Total Reflectance Fourier Transform IR Spectroscopy. *Carbohydrate Research*, 279(20), 201 - 214.
- Wittaya, T. (2012). Rice Starch-Based Biodegradable Films: Properties Enhancement, Structure and Function of Food Engineering, Prof. Ayman Amer Eissa (Ed.), ISBN: 978-953-51-0695-1, InTech, DOI: 10.5772/47751. Available from: <http://www.intechopen.com/books/structure-and-function-of-food-engineering/rice-starch-based-biodegradable-films-properties-enhancement> (diakses tanggal pada 13 Maret 2014).