

PENGARUH NANOPARTIKEL *ZINC OXIDE* DAN ETILEN GLIKOL TERHADAP SIFAT FISIK DAN ANTIMIKROBA *BIODEGRADABLE FOAM*

Risma Rahmatunisa¹, Evi Savitri Iriani², Nugraha Edhi Suyatma¹, Rizal Syarief¹

¹Departemen ilmu dan teknologi pangan, Fakultas Teknologi Pertanian IPB, Bogor 16680

²Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen

Jl. Tentara Pelajar No.12, Bogor 16114

e-mail: rismarahmatunisa@ymail.com

(Diterima 13-05-2015; Disetujui 20-08-2015)

ABSTRAK

Kemasan *biodegradable foam* dibuat dari tapioka, ampok jagung, nanopartikel *zinc oxide* (ZnONP) dan pemlastis etilen glikol (EG). Kemasan diproses melalui cara *thermopressing*. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan ZnONP dan EG. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan rancangan acak lengkap faktorial dengan 3 kali ulangan, dilanjutkan dengan uji Duncan pada $\alpha = 5\%$. Terdapat dua faktor yang digunakan yaitu ZnONP terdiri dari 3 taraf yaitu 0%, 1%, dan 2% serta EG yang terdiri atas 2 taraf yaitu 0% dan 5%. Pengaruh penambahan ZnONP dan EG terhadap sifat fisik dan antimikroba dievaluasi dengan menguji parameter warna, kadar air, daya serap air, densitas, kristalinitas, struktur morfologi, sifat termal, dan sifat antimikroba. Perlakuan terbaik adalah Z3P1 (ZnONP 2% dan EG 0%), karakteristik *biodegradable foam* yang dihasilkan yaitu nilai L 78,42, nilai °hue 91,88, kadar air 7,65%, daya serap air 59,64%, densitas 0,64 g/cm³, kristalinitas 38,3%, Tm 160,24°C, dan penurunan bakteri *Staphylococcus aureus* sebesar 1 log. Penelitian ini membuktikan bahwa *biodegradable foam* dari tapioka dan ampok jagung dengan pengisi ZnONP dan pemlastis EG memiliki potensi untuk digunakan sebagai kemasan antimikroba pada produk pangan.

Kata kunci : *biodegradable foam*, tapioka, ampok jagung, nanopartikel *zinc oxide*, etilen glikol.

ABSTRACT

Risma Rahmatunisa, Evi Savitri Iriani, Nugraha Edhi Suyatma, Rizal Syarief. 2015. Effect of Zinc Oxide Nanoparticles and Ethylene Glycol On Physical and Antimicrobial Properties of Biodegradable Foam.

Biodegradable foam packaging were made from tapioca, corn hominy, zinc oxide nanoparticles (ZnONP), and plasticizer ethylene glycol (EG). Packaging materials were processed by thermopressing. The aim of research was to find out the effects of ZnONP and EG addition. The research design was a completely randomized factorial followed by Duncan test at $\alpha=5\%$. Two factors used in the research, namely ZnONP concentrations at 0, 1, and 2 % and EG concentrations at 0 and 5%. The effects of ZnONP incorporation on physical properties and antimicrobial activity of the trays were evaluated by analysis on their color parameters, moisture content, water absorption, density, crystallinity, morphological structure, thermal and antimicrobial activity. The best treatment was Z2P0 with 2% ZnONP and 0% EG, characteristics of biodegradable was L value 78.42, °hue value 91.88, moisture content 7.65%, water absorption 59.65%, density 0.64g/cm³, crystallinity 38.3%, Tm 160.24°C, and reduced 1 log of *Staphylococcus aureus* colonies. The research proved that the obtained biodegradable foam made from tapioca, corn hominy, ZnONP, and plasticizer EG has a potential to be used as antimicrobial packaging for food products.

Keywords : Biodegradable foam, tapioca, corn hominy, zinc oxide nanoparticles, ethylene glycol.

PENDAHULUAN

Kemasan plastik seperti *styrofoam* banyak digunakan untuk mengemas pangan karena keunggulannya seperti mampu mempertahankan makanan yang panas ataupun dingin, nyaman saat dipegang, mempertahankan keutuhan dan kesegaran pangan, dan *inert* terhadap keasaman pangan¹. Tetapi, *styrofoam* mengandung risiko bahaya terhadap kesehatan manusia ketika bahan tersebut disimpan atau dipanaskan. Proses penyimpanan atau pemanasan dapat meluluhkan monomer stiren pada makanan. Stiren adalah bahan kimia yang diduga dapat mengganggu hormon sehingga berbahaya bagi kesehatan manusia. Selain itu *styrofoam* juga sulit untuk terurai sehingga akan mencemari lingkungan². *Biodegradable foam* merupakan kemasan alternatif pengganti *styrofoam* yang aman dan ramah lingkungan.

Bahan yang banyak digunakan dalam pembuatan *biodegradable foam* adalah pati karena pati memiliki sifat biodegradabilitas yang tinggi, murah, densitas rendah, dan toksisitas rendah³. Akan tetapi, *foam* yang terbentuk dari pati murni biasanya rapuh dan memiliki ketahanan air buruk sehingga berpengaruh selama penyimpanan dan penggunaannya^{3,4}. Untuk memperbaiki sifat-sifat *foam* dari pati bisa dilakukan dengan memodifikasi pati, penambahan pemlastis, polimer, serat, dan beberapa bahan tambahan lainnya⁵.

Ampok jagung adalah salah satu produk samping industri penggilingan jagung (35% total biji jagung yang digiling) yang terdiri dari *pericarp*, *tipcap*, lembaga dan sebagian endosperma⁶. Produksi jagung pada tahun 2014 mencapai 19,13 juta ton pipilan kering. Jumlah ini meningkat 0,62 juta ton dibandingkan 2013. Pada tahun 2015 diperkirakan jumlah produksi jagung pipilan akan kembali meningkat mencapai 20 juta ton⁷. Meningkatnya produksi jagung maka produksi ampok juga akan meningkat. Salah satu pemanfaatan ampok jagung adalah komposit. Ampok jagung mengandung serat yang cukup tinggi (25,5%) sehingga bisa dijadikan sebagai sumber serat yang dikompositkan dengan pati pada pembuatan *biodegradable foam*. Penambahan serat dapat menurunkan daya serap air dan kadar air, meningkatkan sifat mekanik, menurunkan densitas, menurunkan jumlah pori sel, dan meningkatkan kristalinitas^{3,5,7,8,9}.

Selain ampok jagung, polivinil alkohol (PVA), nanopartikel *zinc oxide* (ZnONP) dan pemlastis etilen glikol (EG) dapat juga ditambahkan pada pembuatan *biodegradable foam* berbasis pati. Penambahan PVA dapat menurunkan daya serap air karena bersifat kristalin, kompatibel dengan pati, meningkatkan sifat mekanik dan barrier, dan meningkatkan transisi gelas (Tg)^{3,6,8}. Penambahan ZnONP karena ukurannya lebih

kecil dari partikel biasa, memiliki nilai rasio luas permukaan dan volume yang lebih besar sehingga secara kimia dapat mengubah sifat fisik, meningkatkan reaktivitas permukaan, sifat termal, mekanik, dan elektrik yang unik, stabil terhadap panas, serta memiliki aktifitas antimikroba yang cukup kuat pada konsentrasi yang kecil. ZnONP dapat ditambahkan pada beberapa polimer untuk memproduksi kemasan nanokomposit antimikroba^{11,12}. Penambahan EG dapat menginduksi peningkatan mobilitas pada rantai pati, menurunkan kuat tarik dan elongasi, dan menurunkan Tg¹³.

Penelitian diarahkan untuk mengembangkan *biodegradable foam* dari komposit tapioka, ampok jagung, PVA, ZnONP, dan EG. Tapioka digunakan karena kandungan patinya paling tinggi dibandingkan dengan sumber pati lainnya, murah, mudah diperoleh, dan diperbaharui, serta memiliki sifat biodegradabilitas yang tinggi. Ampok jagung, PVA, ZnONP, dan EG diharapkan dapat memperbaiki kelemahan dari tapioka sehingga dihasilkan *biodegradable foam* yang memiliki sifat fisik dan aktifitas antimikroba yang baik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan ZnONP dan EG terhadap sifat fisik dan termal serta aktifitas antimikroba dari kemasan *biodegradable foam* yang dihasilkan.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Balai Besar Litbang Pascapanen dan Laboratorium Rekayasa ITP, Institut Pertanian Bogor pada bulan Juni-Desember 2014. Bahan yang digunakan berupa tepung tapioka komersial dan ampok jagung berukuran 100 mesh yang berasal dari PT. Unigrain Sidoarjo. Bahan lain meliputi bahan kimia magnesium stearat teknis dan pemlastis etilen glikol teknis yang diperoleh dari toko di Bogor, polivinil alkohol (PVA) Celvol dari distributor di Amerika Serikat, nanopartikel *zinc oxide* (ZnONP) berukuran 30-50 nm yang diperoleh dari distributor di Cina, air, dan beberapa bahan untuk analisis. Alat yang digunakan antara lain *thermopressing*, SEM Zeiss EVO MA10, XRD Bruker D8, DSC-60 Shimadzu, chromameter Minolta CR-300, texture analyzer CT3 Brookfield, dan beberapa alat lainnya.

Metode Penelitian

Pembuatan foam dengan proses thermopressing

Proses pembuatan *biodegradable foam* diawali dengan pencarian formula yang tepat dengan mengembangkan formula dari Iriani⁶ yaitu rasio tapioka:ampok (3:1), 5% magnesium stearat, PVA 30%,

Tabel 1. Formula bahan pembuatan biodegradable foam

Table 1. Formulation of biodegradable foam

Kode sampel/ <i>Sample code</i>	Tapioka/ <i>Tapioca</i> (g)	Ampok jagung/ <i>Corn hominy</i> (g)	PVA (g)	Mg Stearate (g)	ZnONP (% b/b)	EG (% v/v)	Air/ <i>Water</i> (ml)
Z1P1	30,6	10,2	3,6	1,8	0	0	24
Z1P2	30,6	10,2	3,6	1,8	0	5	21
Z2P1	30,6	10,2	3,6	1,8	1	0	24
Z2P2	30,6	10,2	3,6	1,8	1	5	21
Z3P1	30,6	10,2	3,6	1,8	2	0	24
Z3P2	30,6	10,2	3,6	1,8	2	5	21

Keterangan/ *remarks*:

Z : konsentrasi ZnONP, P : konsentrasi EG

Z : ZnONP concentration, P: EG concentration

pemlastis gliserol 5%, dan perbandingan padatan cairan (60:40). Formula tersebut dikembangkan pada penelitian ini. Formula bahan yang digunakan pada pembuatan *biodegradable foam* tapioka dapat dilihat pada pada Tabel 1.

Semua bahan kering seperti tapioka, ampok jagung, magnesium stearat, dan ZnONP dicampurkan dengan menggunakan *mixer*. Campuran kemudian ditambah dengan lelehan PVA dan EG. Bahan dicampur kembali menggunakan *mixer* sampai terbentuk adonan kalis. Adonan ditimbang dengan berat 50-55 gram. Kemudian adonan dicetak dengan menggunakan alat *thermopressing* pada suhu 120°C selama 1-4 menit. *Foam* yang dihasilkan berbentuk nampang panjang 9,6 - 10 cm, lebar 2,6 - 3,3 cm, dan ketebalan 1,453-4,336 mm.

Metode analisis

Parameter warna

Warna *foam* ditentukan dengan menggunakan chromameter Minolta CR-300. Diukur pada permukaan *foam* dan menggunakan Hunter Lab [L= 0 (hitam) 100 (putih); a = -60 (hijau) sampai +60 (merah); dan b= -60 (biru) untuk +60 (kuning)]. Nilai-nilai yang dilaporkan adalah rata-rata dari lima kali pengukuran per sampel.

Kadar air

Kadar air diukur dengan mengikuti metode yang dilakukan oleh Polat *et al*¹⁴. Sampel *foam* dipotong dengan ukuran 2,5x 5 cm dan ditimbang. Kemudian sampel *foam* dimasukkan ke dalam cawan petri dan dikeringkan pada oven dengan suhu 105°C sampai berat konstan. Persentase kadar air awal setiap sampel *foam* ditentukan sebagai persentase berat yang hilang setelah pengeringan.

Daya serap air

Analisis adsorpsi air mengikuti metode yang dilakukan oleh Preechawong *et al*¹⁵. Sampel *foam* (3x3 cm) ditempatkan pada desikator yang telah diisi garam K₂SO₄ dengan RH 97% pada suhu 25°C. Selama 7 hari sampel dalam desikator ditimbang dan persentase (%) berat *foam* ketika mencapai kesetimbangan adalah daya serap air pada *foam*.

Densitas

Densitas *foam* ditentukan dengan metode *seed displacement*¹⁶. Spesimen (20mm x 20mm) ditimbang dan ditempatkan dalam gelas ukur 500 ml. Kacang hijau digunakan sebagai pengisi celah kosong pada gelas ukur. Densitas *foam* dihitung dari massa dibagi dengan volume *foam* dan dinyatakan sebagai g/cm³. Pengukuran dilakukan tiga kali untuk setiap perlakuan.

Kristalinitas

Kristalinitas setiap sampel *foam* diuji dengan menggunakan XRD Bruker D8. Sampel dibuat serbuk (partikel <0,149mm) dan dianalisis dengan menggunakan radiasi K α Cu ($\lambda = 1,54060$) dibawah kondisi operasional pada 40 kV dan 30 mA dengan kecepatan pemindaian 1°/min.

Struktur morfologi

Analisis struktur morfologi dilakukan dengan menggunakan SEM Zeiss EVO MA10. Sampel *foam* dipotong menjadi potongan kecil (2mm x 2mm) dan dipasang pada penampang visualisasi perunggu dengan menggunakan *double-side tape*. Permukaan sampel dilapisi dengan lapisan emas tipis. Sampel dimasukkan kedalam alat SEM dan diamati permukaannya dibawah kondisi EHT 20 kV dan WD8-14 mm.

Sifat termal

Analisis sifat termal dilakukan dengan menggunakan DSC-60 Shimadzu. Pengukuran analisis termal dilakukan untuk mengetahui perubahan fisik dan kimia seperti titik transisi gelas (T_g), titik leleh (T_m), dan entalpi transisi (ΔH). Sampel ditempatkan pada DSC *pan* sebanyak 5-6 mg. Analisa dilakukan dengan pemanasan sampel pada suhu 0-200°C dengan kecepatan pemanasan 10°C/menit pada atmosfer nitrogen. *Pan* kosong digunakan sebagai referensi.

Antimikroba

Aktifitas antimikroba dianalisis mengikuti metode jumlah sel¹⁷. Sebanyak 100 μ l sampel kultur bakteri *Escherichia coli* ATCC 25923 dan *Staphylococcus aureus* ATCC 25922 dalam media *nutrient broth* (NB) dengan konsentrasi 105 CFU/ml disebar diatas medium *plate count* agar (PCA). Sampel *foam* (1cm x 1 cm) ditempatkan diatasnya dan diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C. Jumlah koloni yang terbentuk dihitung setelah 24 jam inkubasi. Analisis dilakukan tiga kali untuk setiap sampel dan data yang dilaporkan merupakan hasil perhitungan rata-rata.

Analisis Statistik

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan rancangan acak lengkap faktorial dan dievaluasi dengan menggunakan ANOVA dan dilanjutkan dengan uji Duncan pada $\alpha = 5\%$. Terdapat dua faktor yang digunakan yaitu konsentrasi ZnONP terdiri dari 3 taraf yaitu 0% (Z1), 1% (Z2), dan 2% (Z3) serta konsentrasi EG yang terdiri atas 2 taraf 0% (P1) dan 5% (P2).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter warna

Warna merupakan salah satu parameter penting yang diperlukan bagi nampun *foam*. Parameter warna dari *biodegradable foam* dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai L berkisar antara 78,42 – 85,53 dan nilai $^{\circ}$ hue berkisar antara 88,79 – 93,69. Nilai L merupakan tingkat kecerahan pada *foam*. Nilai hue adalah bagaimana kita menilai objek, hasilnya adalah warna pelangi seperti merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila dan ungu. Pengukuran nilai $^{\circ}$ Hue diperoleh dari perhitungan nilai a dan b. Secara statistik, penambahan ZnONP berpengaruh secara nyata terhadap peningkatan nilai $^{\circ}$ hue. Namun terhadap nilai L, penambahan ZnONP tidak berpengaruh secara nyata. Penambahan EG tidak berpengaruh secara nyata terhadap peningkatan nilai L dan $^{\circ}$ hue *foam*. Terdapat interaksi

antara ZnONP dan EG yang berpengaruh terhadap nilai L dan $^{\circ}$ hue.

Berdasarkan nilai L, *foam* tanpa EG dengan semakin meningkatnya konsentrasi ZnONP yang ditambahkan kecerahannya cenderung semakin menurun. Sedangkan pada *foam* dengan penambahan 5% EG tingkat kecerahannya meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi ZnONP yang ditambahkan. Berdasarkan nilai $^{\circ}$ hue, peningkatan penambahan ZnONP, baik tanpa maupun dengan penambahan EG, warnanya cenderung semakin kuning.

Kadar air

Kadar air merupakan salah satu sifat fisik yang penting pada *foam*. *Foam* memiliki kadar air sekitar 4,53-7,65 % (Tabel 2). Nilai kadar air ini lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai serupa yang dilaporkan oleh Salgado *et al*⁵, 9,74-10,81 %, Kaisangsri *et al*¹⁸ 8,9-10,20 %, dan Polat *et al*¹⁴ 8,65-11,37 %, namun tetap lebih tinggi daripada kadar air polistiren *foam* 1,11%³. Hal ini disebabkan tapioka bersifat hidrofilik.

Secara statistik, penambahan ZnONP berpengaruh secara nyata terhadap peningkatan kadar air *foam*. Penambahan EG tidak berpengaruh secara nyata terhadap peningkatan kadar air *foam*. Tidak terdapat interaksi antara ZnONP dan EG pada kadar air *foam*.

Penambahan ZnONP dapat meningkatkan kadar air *foam*. Hal ini karena kandungan *zinc* dalam ZnONP akan mengikat air sehingga air yang terserap dari sekitar lebih banyak dan kadar air *foam* meningkat. Efeknya seperti efek humektan (bahan yang bersifat larut air dan mempunyai kemampuan tinggi menyerap air) sehingga air yang terikat meningkat dan air bebas menurun dan tidak dapat berinteraksi secara kuat pada nanokomposit *foam*. Penambahan EG, dengan semakin meningkatnya ZnONP yang ditambahkan, cenderung meningkatkan kadar air dari *foam*. Hal ini karena EG merupakan pemlastis yang hidrofilik yang mempunyai gugus hidroksil sehingga dapat menyerap air yang berada disekitarnya dan meningkatkan kadar air *foam*.

Daya serap air

Pengujian daya serap air merupakan parameter penting karena dapat meningkatkan aplikasi dari *foam* pati¹⁶. Pengujian daya serap air dilakukan selama 7 hari pada RH 97% dan suhu 25°C. Daya serap air setelah mencapai kesetimbangan dapat dilihat pada Tabel 2. Secara statistik, penambahan ZnONP berpengaruh secara nyata terhadap peningkatan daya serap air *foam*. Penambahan EG tidak berpengaruh secara nyata terhadap

Tabel 2. Parameter warna, kadar air, daya serap air, densitas, dan kristalinitas dari *biodegradable foam*

Table 2. Color parameters, moisture content, water absorption, density, and crystallinity of *biodegradable foam*

Kode sampel / Sample code	L	°Hue	Kadar air / Moisture content (%)	Daya serap air Water absorption (%)	Densitas / Density (g/cm ³)	Kristalinitas/ Crystallinity (%)*
Z1	83,39a	89,23a	5,73a	56,32ab	0,60a	37,7
Z2	84,55a	93,11b	6,06ab	54,49a	0,62b	33,7
Z3	81,98a	92,07b	7,83b	57,97b	0,62b	38,3
P1	83,02a	91,69a	6,29a	56,87a	0,59a	38,5
P2	83,59a	91,57a	5,79a	55,65a	0,60a	32,5
Z1P1	85,17b	89,67ab	5,42a	55,19ab	0,57a	36,6
Z2P1	85,47b	92,53bc	5,79a	55,78ab	0,57a	
Z3P1	78,42a	91,88bc	7,65a	59,64b	0,64b	
Z1P2	81,61ab	88,79a	6,03a	57,44ab	0,56a	
Z2P2	83,62ab	93,69c	6,34a	55,20a	0,66b	
Z3P2	85,53b	92,25bc	8,01a	56,30ab	0,59a	

Keterangan/ Remark:

Huruf yang berbeda pada satu kolom menunjukkan perbedaan yang signifikan antar perlakuan ($\alpha = 5\%$). /Different letters in the same column are significantly different among treatments ($\alpha = 5\%$).

* Tidak dilakukan pengujian statistik karena hanya satu ulangan/ no statistical analysis involved because the test was only conducted one time.

peningkatan daya serap air. Ada interaksi antara ZnONP dan EG pada daya serap air *foam*.

Berdasarkan hasil pengujian, penambahan ZnONP dapat meningkatkan daya serap air. Hal ini dikarenakan *zinc* dalam ZnONP mengikat air seperti garam sehingga air yang terserap lebih banyak. Efeknya seperti efek humektan sehingga air yang terikat meningkat dan air bebas menurun dan tidak dapat berinteraksi secara kuat pada nanokomposit *foam*. Karena lebih banyak air yang terikat dibandingkan dengan air bebas, maka mikroba yang tumbuh pada *foam* sedikit. Namun demikian, pada *foam* yang ditambah EG, peningkatan konsentrasi ZnONP cenderung menurunkan daya serap air. Hal ini disebabkan oleh terjadinya ikatan hidrogen antara molekul pati dan EG yang akan memerangkap evaporasi air dari matriks *foam* sehingga air dari sekitar akan sulit untuk terserap kedalam matriks komposit berbasis pati¹⁹.

Meningkatnya jumlah air yang terserap berhubungan dengan porositas dari *foam*, tetapi meningkatnya jumlah air yang diserap seiring dengan meningkatnya waktu dipengaruhi oleh pati sendiri⁵. Semakin banyak air yang terserap semakin memungkinkan pertumbuhan dari mikroba pada *foam*. Air sebenarnya berfungsi sebagai pemlastis alami pada *foam* berbasis pati karena dapat membantu menjadi keras dan kaku, ketika telah kering kemasan menjadi lebih fleksibel. Tetapi air yang terserap menjadi terlalu banyak sehingga perlu alternatif penambahan pemlastis kimia lain sebagai pemlastis pada *foam* pati¹⁵.

Struktur morfologi pada Gambar 1 dapat menjelaskan daya serap air pada *foam*. Daya serap air dipengaruhi oleh pori pada *foam*. Pori pada *foam* terbentuk selama proses ekspansi. Air akan terserap pada pori *foam* sehingga semakin banyak pori pada *foam* yang terbentuk maka daya serap air akan semakin meningkat⁶. Apabila air yang terserap semakin banyak maka mikroba akan mudah tumbuh pada *foam*.

Densitas

Densitas merupakan salah satu sifat fisik yang penting dari *foam* dan densitas yang rendah diinginkan karena dapat mengurangi biaya bahan⁴. Densitas *foam* sekitar 0,56 – 0,66 g/cm³ (Tabel 2). Nilai ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan Kaisangsri *et al*³ 0,12-0,15 g/cm³, Polat *et al*¹⁴ 0,25-0,31 g/cm³, dan Matsuda *et al*²⁰ 0,2809-0,3075 g/cm³. Secara statistik, penambahan ZnONP berpengaruh secara nyata terhadap peningkatan densitas *foam*. Penambahan EG tidak berpengaruh secara nyata terhadap densitas *foam*. Berdasarkan hasil statistik, ada interaksi antara ZnONP dan EG pada densitas *foam*.

Penambahan ZnONP cenderung dapat meningkatkan densitas dari *foam*, baik pada *foam* tanpa EG maupun dengan penambahan EG. Hal ini berhubungan dengan porositas *foam* (Gambar 1). Penambahan ZnONP dapat menurunkan ukuran pori sel dan meningkatkan jumlah pori sel pada *foam*. Pada area menurunnya ukuran pori sel *foam*, dinding sel akan cenderung meningkat

ketebalannya, hal ini dapat menyebabkan meningkatnya densitas¹⁷.

Kristalinitas

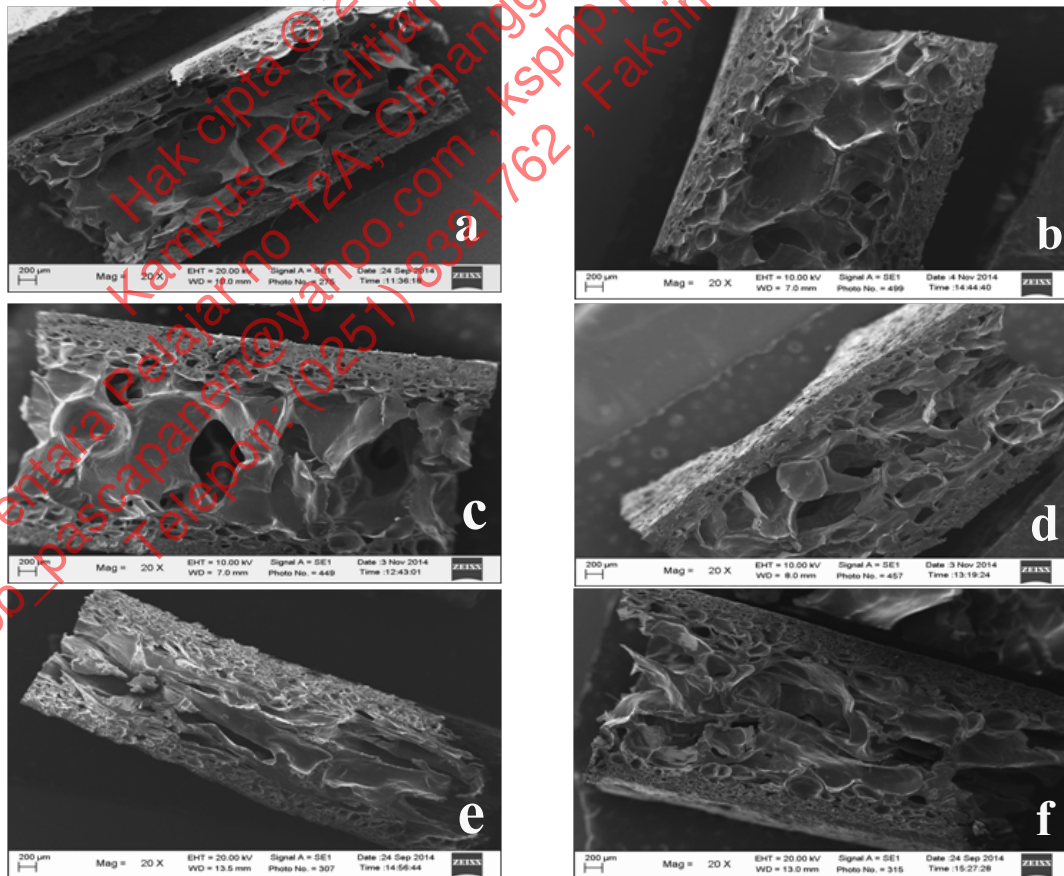
Semua *foam* yang dihasilkan memiliki persentase bagian amorf yang lebih tinggi daripada bagian kristalin. Penambahan 1% ZnONP dapat menurunkan persentase kristalin *foam*. Hal ini dikarenakan ZnONP tercampur dengan komposit sampel yang menekan rekristalisasi rantai polimer komposit dan menghambat pertumbuhan kristal²¹. Sedangkan penambahan 2% ZnONP mampu meningkatkan persentase kristalin dari *foam* meskipun kecil. Hasil ini sejalan dengan yang dilaporkan oleh Rathnayake *et al.*²², bahwa ZnONP pada *foam* dari karet latex alami dapat meningkatkan bagian kristalin. Penambahan EG dapat meningkatkan persentase kristalin *foam* tanpa penambahan dari ZnONP. Hal ini disebabkan oleh adanya fenomena *antiplastisizer* karena adanya interaksi yang kuat antara polimer dan sejumlah kecil pemlastis yang menghasilkan efek “*cross-linker*” yang menurunkan volume bebas dan melalitis molekul polimer, meningkatkan reorganisasi material dan meningkatkan kristalinitasnya²³.

Struktur morfologi

Struktur morfologi *foam* merupakan parameter yang penting karena sebagian besar sifat *foam* seperti sifat mekanik, daya serap air, densitas, aktifitas antimikroba, ukuran dan distribusi partikel, tergantung pada struktur morfologinya²⁴. Analisis morfologi *foam* dilakukan pada secara melintang. Hasil analisis SEM dengan perbesaran 20x pada permukaan *foam* dapat dilihat pada Gambar 1.

Berdasarkan Gambar 1 terlihat bahwa *foam* memiliki pori sel yang cukup besar pada permukaan sel dan pada bagian melintangnya dengan dinding sel yang tipis. Semua *foam* berbasis pati memiliki kandungan sel yang terbuka (*open cells*) tinggi.

Foam yang mendapat penambahan EG memiliki ukuran pori sel yang lebih lebar jika dibandingkan dengan *foam* yang tidak diberi EG. Hal ini sejalan dengan yang dikemukakan oleh Triwulandari *et al.*²⁵, bahwa meningkatnya konsentrasi EG dapat menyebabkan meningkatnya diameter sel. EG akan lebih dahulu memperpanjang rantai linier dan akan melenturkan rantai molekul di daerah sambungan EG karena molekulnya pendek dan kaku sehingga akan memperbesar volume ruang antar rantai utama, meningkatkan suhu, dan



Gambar 1. SEM a) Z1P1 b) Z1P2 c) Z2P1 d) Z2P2 e) Z3P1 f) Z3P2
 Figure 1. SEM a) Z1P1 b) Z1P2 c) Z2P1 d) Z2P2 e) Z3P1 f) Z3P2

menurunkan viskositas sehingga mempercepat penipisan gelembung sel *foam* dan menurunkan energi aktivasi untuk berekspansi sehingga rasio *volume* ekspansi meningkat dan menyebabkan ukuran pori sel menjadi lebar.

Bertambahnya konsentrasi ZnONP yang ditambahkan semakin kecil ukuran pori sel dari *foam*, semakin banyak jumlah pori sel, semakin halus permukaannya dan semakin sedikit garis garis serat. Proses *foaming* terdiri dari dua tahap yaitu nukleasi gelembung dan pertumbuhan gelembung. Nukleasi adalah pembentukan gelembung gas pada matriks polimer. Pertumbuhan gelembung adalah proses dimana gelembung pada proses nukleasi tumbuh menjadi gelembung akhir. Adanya nanopartikel dapat mendorong akumulasi gas pada permukaan polimer-nanopartikel dan membentuk bagian nukleasi. Nanopartikel dapat menurunkan ukuran pori sel karena gelembung awal lebih banyak bersamaan dengan nukleasi, dimana jumlah gas yang tersedia dalam jumlah kecil untuk pertumbuhan gelembung, yang menyebabkan ukuran pori sel tereduksi^{26,27}.

Sifat termal

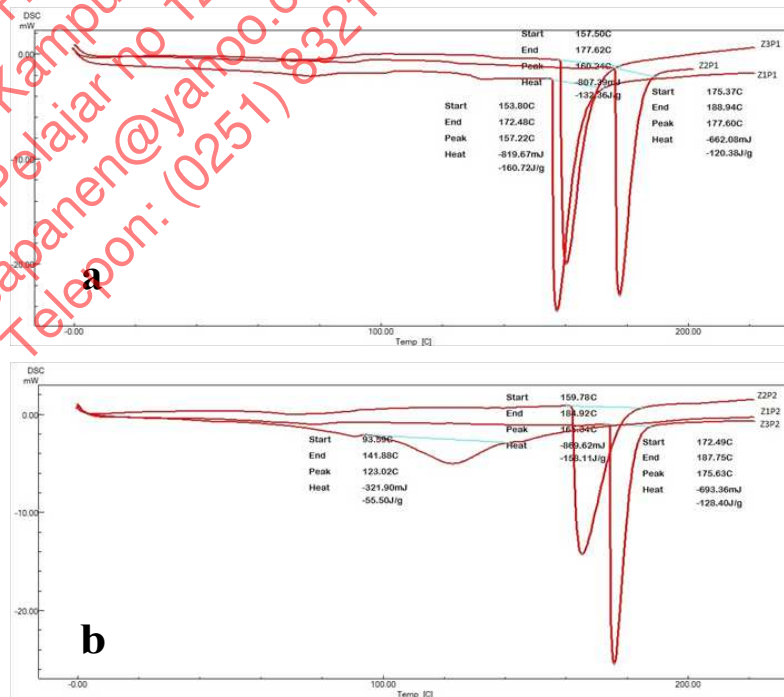
Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa *foam* yang diuji memiliki titik leleh (T_m) antara 123,02 – 177,6 °C. Pada Gambar 2 terlihat bahwa penambahan EG tanpa ZnONP cenderung dapat meningkatkan T_m . Hal ini disebabkan oleh adanya fenomena *antiplasticizer*

yang menurunkan volume bebas dan molalitas molekul polimer, meningkatkan reorganisasi material dan meningkatkan kristalinitasnya sehingga T_m meningkat²³. Penambahan ZnONP cenderung meningkatkan T_m dari *foam*. Hasil ini berbeda dengan yang dilaporkan oleh Chaurasia *et al.*¹⁷, bahwa menurunnya T_m karena bergabungnya ZnONP dalam matriks film. Hasil DSC juga dapat digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai kristalinitas dari bahan polimer. Peningkatan kristalinitas dapat meningkatkan titik leleh (T_m) dari polimer. Semakin kristalin suatu komposit polimer, maka energi pemanasan (ΔH) yang digunakan untuk melelehkan bahan semakin tinggi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.

Antimikroba

Secara statistik, penambahan ZnONP berpengaruh secara signifikan terhadap aktifitas penghambatan pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. Penambahan EG tidak berpengaruh secara nyata terhadap aktifitas penghambatan pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. Tidak ada interaksi antara ZnONP dan EG pada aktifitas penghambatan pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*.

Hasil analisis aktifitas antimikroba dapat dilihat pada Tabel 3. Penambahan 2% ZnONP dapat menurunkan pertumbuhan koloni bakteri *Staphylococcus aureus* sebanyak 1 log CFU/ml. Sedangkan pada pertumbuhan



Gambar 2. DSC a) tanpa EG b) dengan penambahan EG
Figure 2. DSC a) without plasticizer EG b) with plasticizer EG

Tabel 3. Aktifitas antimikroba biodegradable foam
Table 3. Antimicrobial activity of biodegradable foam

Kode Sampel/ Sample Code	<i>Escherichia coli</i> (Log CFU/ml)	<i>Staphylococcus aureus</i> (Log CFU/ml)
Z1	8,64 ^b	8,38 ^c
Z2	8,47 ^a	8,11 ^b
Z3	8,25 ^a	7,99 ^a
P1	8,44 ^a	8,16 ^a
P2	8,46 ^a	8,15 ^a
Z1P1	8,65 ^a	8,36 ^a
Z2P1	8,48 ^a	8,15 ^a
Z3P1	8,21 ^a	7,98 ^a
Z1P2	8,63 ^a	8,40 ^a
Z2P2	8,47 ^a	8,06 ^a
Z3P2	8,29 ^a	8,00 ^a

Keterangan/ Remarks :

Huruf yang berbeda pada satu kolom menunjukkan perbedaan yang signifikan antar perlakuan ($\alpha = 5\%$). / Different letters in the same column are significantly different among treatments ($\alpha=5\%$).

Escherichia coli, penambahan 2% ZnONP menurunkan pertumbuhan koloni bakteri kurang dari 1 log. ZnONP lebih efektif dalam menghambat bakteri gram positif seperti *Staphylococcus aureus* daripada bakteri gram negatif seperti *Escherichia coli*. Hal ini dikarenakan perbedaan struktur sel antara bakteri gram positif dan bakteri gram negatif. Bakteri gram positif tersusun dari dinding sel tebal multilayer peptidoglikan yang berongga sehingga ZnONP akan mudah masuk menembus sel, menyebabkan kebocoran intraselular dan menyebabkan kematian sel secara perlahan. Bakteri gram negatif tersusun dari struktur dinding sel yang kompleks dengan lapisan peptidoglikan tipis yang mengelilingi membran luar sehingga akan menurunkan aksi dari ZnONP²⁸.

Aktifitas antimikroba pada foam dipengaruhi juga oleh densitas dan daya serap air foam. Saat nilai densitas tinggi, daya serap airnya rendah. Pori sel pada foam terbentuk selama proses ekspansi. Air akan terserap pada pori sel foam sehingga semakin banyak pori sel foam terbentuk maka daya serap air akan semakin meningkat⁶. Apabila air yang terserap semakin banyak maka mikroba akan mudah tumbuh pada foam.

KESIMPULAN

Biodegradable foam tapioka dan ampok jagung dibuat dengan proses *thermopressing* dengan penambahan pengisi seperti PVA, ZnONP, dan EG. Perlakuan terbaik adalah Z3P1 (ZnONP 2% dan EG 0%). Karakteristik biodegradable foam yang dihasilkan yaitu nilai L 78,42,

nilai ρ hue 91,88, kadar air 7,65%, daya serap air 59,64%, densitas 0,64 g/cm³, kristalinitas 38,3%, Tm 160,24°C, dan penurunan bakteri *Staphylococcus aureus* sebesar 1 log. Berdasarkan hasil pengujian tersebut biodegradable foam tapioka dan ampok jagung dengan pengisi ZnONP dan EG ini berpotensi sebagai kemasan antimikroba.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Balai Besar Litbang Pascapanen yang telah membiayai penelitian ini serta semua yang membantu dalam pelaksanaan penelitian serta penyusunan makalah seminar ini

DAFTAR PUSTAKA

- Nurhajati DW, Indrajati IN. Kualitas komposit serbuk sabut kelapa dengan matrik sampah styrofoam pada berbagai jenis compatibilizer. J. Ris Indst. 2011; 285(2):143-151.
- Khalid KAT, Moorthy R, Saad S. Environmental ethnics in governing recycled material styrofoam for building human habitat. American J. Env Sci.2012;8(6):591-596.
- Kaisangsri N, Kerdchoechuen O, Laohakunjit N. Biodegradable foam tray from cassava starch blended with natural fiber and chitosan. J. Ind Crop. 2012;37(2012): 542-546.
- Lee SY, Chen H, Hanna MA. Preparation and characterization of tapioca starch-poly(lactid acid) nanocomposite foams by melt intercalation based on clay Type. Ind Crop. 2008;28:95-106.
- Salgado PR, Schmidt VC, Ortiz SEM, Mauri AN, Laurindo JB. Biodegradable foams based on cassava starch, sunflower proteins and cellulose fiber obtained by a baking process. J. Food Eng. 2008; 85:435-443.
- Iriani ES. Pengembangan produk biodegradable foam berbahan baku campuran tapioka dan ampok [disertasi]. Bogor : Institut Pertanian Bogor; 2013.
- Vercelhaze AES, Fakhouri FM, Dall'Antonia LH, Urbano A, Youssef EY, Yamashita F, Mali S. properties of baked foams based on cassava starch, sugarcane bagasse fibers, and montmorillonite. Carb Pol. 2012;84:1302-1310.
- Warsiki E, Iriani ES, Swandaru R. Physical characteristics of microwave assisted moulded foam cassava starch-corn hominy. J. Tek ki Indo. 2012; 10(2):108-115.
- Balai Penelitian Tanaman Serealia, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian Indonesia. ARAM II BPS: produksi jagung nasional tahun 2014 naik [internet]. 2014 [diunduh pada 11 April 2015]. Tersedia dihttp://balitsereal.litbang.pertanian.go.id.
- Kanmani P, Rhim J. Properties and characterization of bionanocomposite films prepared with various biopolymers and zno nanoparticles. J. Carbo pol. 2014;106:190-199.

11. Wang P, Zhao J, Xuan R, Wang Y, Zou C, Zhang Z, Wan Y, Xu Y. Flexible and monolithic zinc oxide bionanocomposite foams by a bacterial cellulose mediated approach for antibacterial applications. *Dalton Trans.* 2014;43:6762-6768.
12. Iriani ES, Sunarti TC, Richana N, Mangunwidjaja D, Hadiyoso A. Utilization of corn hominy as a new source material for thermoplastic starch production. *J. Procedia Chem.* 2012; 4:245-253.
13. Tajan M, Chaiwutthinan P, Leejrakai T. Thermal and mechanical properties of wood-plastics composites from iron wood flour and recycled polyurethane foam. *J. Metals, Material and Mineral.* 2008;18(2):53-56.
14. Polat S, Uslu MK, Aygun A, Certel M. The Effects of the addition of corn husk fiber, kaolin and beewax on cross-linked corn starch foam. *J. Food Eng.* 2013. 116; 267-276.
15. Preechawong D, Peesan M, Supaphil F, Rujiravanit R. Preparation and characterization of starch/poly (l-lactic acid) hybrid foam. *Carb Pol.* 2005;59:329-337.
16. AACC, American Association of Cereal Chemists International. *Approved Methods of Analysis Method 10-05.01.* [11th Edition]. St. Paul, MN: AACC International; 2010.
17. Chaurasia V, Navin C, SK Bajpai. Water absorption properties and antimicrobial action of zinc oxide nanoparticles-loaded cellulose acetate films. *J. Macro Sci, Part A: Pure and App Chem.* 2010;47:309-317.
18. Kaisangsri N, Kerdchoechuen O, Laonakunji N. Characterization of cassava starch based foam blended with plant, proteins, kraft fiber, and palm oil. *J. Carb Pol.* 2014;110:70-77.
19. Srithongkham S, Vivitchanont L, Krongtaew C. starch/cellulose biocomposites prepared by high-shear homogenization/ compression molding. *J. Mat Sci Eng.* 2012; 2(4): 213-222.
20. Matsuda DKM, Vercelhaze AES, Carvalho GM, Yamashita F, Mali S. Baked foams of cassava starch and organically modified nanoclays. *Ind Crop.* 2013;44:705-711.
21. El-Kader FHA, Hakeem NA, Elashmawi IS, Ismail AM. Structural, optical, and thermal characterization of ZnO nanoparticles doped in PEO/PVA blend films. *Aust J. Basic & Appl Sci.* 2013; 7(10):608-619.
22. Rathnayake WGIU, Ismail H, Baharin A, Bandara IMCCD, Rajapakse S. Enhancement of the antibacterial activity of natural rubber latex foam by the incorporation of zinc oxide nanoparticles. *J. Appl Polym Sci.* 2014;39601:1-8.
23. Lourdin D, Bizot H, Colonna P. "Antiplasticization" in starch-glycerols films?. *J. Appl Polym* 1997;63:1047-1053.
24. Xu Y, Hanna MA. Preparation and properties of biodegradable foam from starch acetate and poly(tetramethylene adipate-co-terephthalate). *Carb Pol.* 2005; 59:521-529.
25. Triwuladari E, Prihastuti H, Haryono A, Susilo E. Synthesis and structure properties of rigid polyurethane foam from palm oil based polyol. *J. Sains Mat Indo.* 2008;2008:31-36.
26. Ibe CC, Bubacz M. Current trend in nanocomposite foams. *J. cell Plas.* 2008;44:493-515.
27. Lee LJ, Zeng C, Cao X, Han X, Shen J, Xu G. Review: Polymer nanocomposite foams. *Comp Sci Tech.* 2005; 65:2344-2363.
28. Nafchi AM, Alias AK, Mahmud S, Robal M. Antimicrobial, rheological, and physicochemical properties of sago starch films filled with nanorod-rich zinc oxide. *J. Food eng.* 2012;113:511-519.