

## PERMEABILITAS OKSIGEN KEMASAN AKTIF *POLYLACTIC ACID - BUTYLATED HYDROXYTOLUENE*

### *OXYGEN PERMEABILITY ACTIVE PACKAGING POLYLACTIC ACID-BUTYLATED HIDROXYTOLUENE*

Kurniawan Yuniarto<sup>1</sup>, Anang Lastriyanto<sup>2</sup>, Hary Kurniawan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62, Mataram, Nusa Tenggara Barat 83125, Indonesia

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran, Malang, Jawa Timur 65145, Indonesia

Penulis Korespondensi, email: kurniawan2006@unram.ac.id

Disubmit: 7 Mei 2020 Direvisi: 3 Juli 2020 Diterima: 30 Agustus 2020

#### ABSTRAK

Kemasan aktif untuk mencegah difusi oksigen dari udara luar dirancang dari bahan ramah lingkungan *polylactic acid-polyethylene glycol400-butylated hydroxytoluene* (PLA-PEG400-BHT). Difusi oksigen ditentukan dengan cara pendekatan tidak langsung melalui pengukuran laju transmisi oksigen menggunakan metode *dynamic accumulation* atau ASTM F3136-15. Penelitian ini bertujuan mengukur permeabilitas oksigen dari kemasan aktif (PLA-PEG400-BHT). Variabel penelitian adalah variasi konsentrasi *butylated hydroxytoluene* 1%, 5% dan 10% dan suhu 15°C, 23°C dan 30°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai permeabilitas oksigen semakin kecil diikuti dengan penambahan konsentrasi butylated hydroxytoluene (BH. Kemasan aktif dapat memperbaiki kemampuan sebagai penghalang oksigen sebesar sepuluh kali dibandingkan dengan kemasan pasif (PLA-PEG400). Namun, penambahan BHT berlebih menimbulkan kejenuhan matrik polimer yang ditunjukkan dengan terjadinya pemisahan fasa antara BHT dengan matrik PLA-PEG400. Perlakuan suhu yang semakin tinggi akan mengurangi kemampuan daya halang oksigen. Efektivitas terapan kemasan aktif PLA-PEG400-BHT pada suhu 15-23°C dan BHT 5%-10%.

Kata Kunci: Aktif; BHT; Dynamic Accumulation; Permeabilitas; Suhu

#### ABSTRACT

Active film packaging was purposed to prevent free oxygen diffusion, which designed from biodegradable polymers polylactic acid – polyethylene glycol matrix, incorporated by active agent butylated hydroxy toluene (PLA-PEG400-BHT). The oxygen permeability was indirectly measured by dynamic accumulation method or ASTM F3136-15. This research was aimed to determine the oxygene permeability of active film packaging (PLA-PEG400- BHT). The butylated hydroxytoluene (BHT) concentration and temperature were used as dependent variables; the BHT concentrations were at 1%, 5% and 10%, respectively; and the temperature were 15°C, 23°C and 30°C. The research resulted oxygen permeability decreased following excessing BHT concentration. The oxygene active film scavenger improved as oxygen barrier by ten times than passive film (PLA-BHT without BHT). However, larger BHT caused phase separation onto active film packaging. Then, oxygen barrier property of active film packaging decreased when the temperature storage being increased. The oxygen scavenger active film packaging was effectively applied at 15-23°C and the BHT consisted of 5-10%.

Keywords: Active; BHT; Dynamic Accumulation; Permeability; Temperature

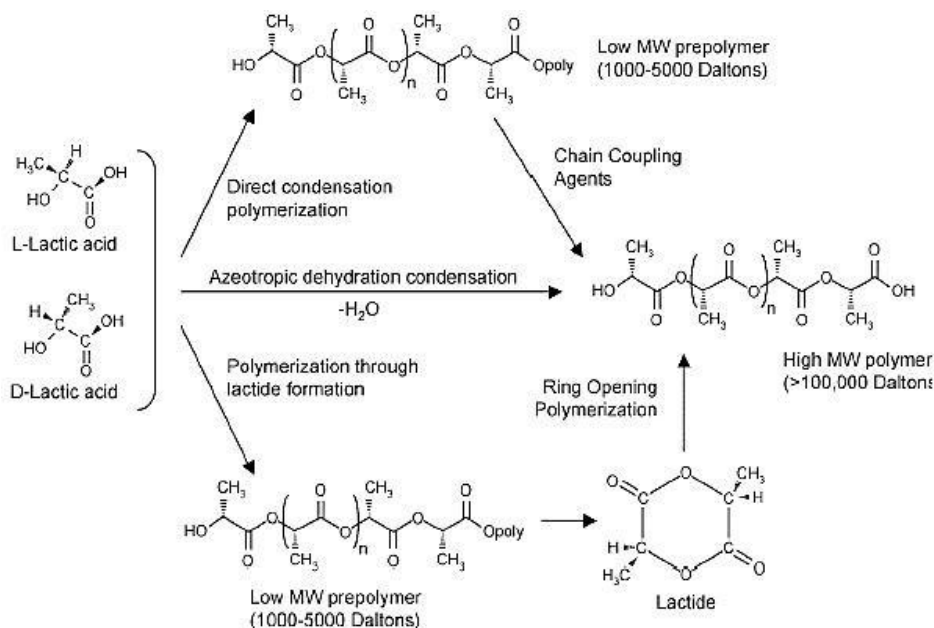
## PENDAHULUAN

Polylactic acid (PLA) adalah bahan kemasan plastik jenis polyester yang diperoleh dari hasil fermentasi dekstrosa pati jagung dan dilanjutkan dengan polimerisasi kondensasi menghasilkan rantai polimer yang panjang. PLA memiliki struktur rantai utama asam laktat dengan bagian pusat atom karbon adalah gugus alkohol. Sedangkan, satu terminal atom karbon berupa gugus karboksil dan terminal atom lainnya adalah gugus metil. Bahan plastik PLA dapat terdekomposisi secara alami menjadi karbondioksida dan air setelah 15 bulan (Balkcom dkk., 2002). Reaksi polimerisasi dalam pembuatan PLA dapat di lihat pada Gambar 1.

Struktur PLA masuk kedalam semikristalin dengan puncak sudut difraksi pada  $2\theta = 16.95^\circ, 19.25^\circ$  dan  $22.60^\circ$  (Battagazzore dkk, 2011; Yuniarto dkk, 2017). PLA murni memiliki derajat kristalinitas sekitar 17% dan akan meningkat apabila dibuat dalam bentuk matrik film terplastisasi oleh bahan pemlastis tertentu seperti *polyethylene glycol* (Li dkk., 2015; Yuniarto dkk., 2016b). Sifat thermal PLA dengan parameter suhu transisi gelas ( $T_g$ ) telah diukur oleh banyak peneliti dimana nilai  $T_g$  berkisar antara  $50-70^\circ\text{C}$  (Auras dkk., 2010). Sedangkan, plastisasi PLA dengan PEG juga memiliki dampak terjadinya pengurangan

nilai suhu transisi gelas ( $T_g$ ) karena adanya pergerakan molekuler polimer menjadi lebih bebas (Mohapatra dkk., 2013). Namun, pengaruh plastisasi PLA dengan PEG400 menggunakan metode *direct casting* tidak menunjukkan adanya pembentukan kopolimer meskipun memiliki bentuk karbon yang mirip. Pengamatan menggunakan SEM menunjukkan PEG membentuk lapisan yang menutupi PLA dan hasil identifikasi menggunakan FTIR tidak menunjukkan kopolimerisasi meskipun terjadi pembentukan ikatan hidrogen sangat kuat pada panjang gelombang 3000-3500 (Yuniarto dkk., 2016a).

Sifat lain yang berperan dalam menentukan kinerja PLA untuk pengemasan adalah nilai permeabilitas oksigen. Dalam bentuk alaminya, permeabilitas oksigen PLA tergolong sedang atau mendekati nilai permeabilitas jenis plastik *polystyrene* yaitu  $4,90 \times 10^{-17}$  kg m/m<sup>2</sup> detik Pa. Perbandingan jenis plastik lain seperti LDPE dan PET memiliki nilai permeabilitas oksigen lebih tinggi yaitu  $1,25 \times 10^{-16}$  kg m/m<sup>2</sup> detik Pa dan  $5,94 \times 10^{-16}$  kg m/m<sup>2</sup> detik Pa. Hasil pengukuran lainnya menunjukkan bahwa permeabilitas oksigen PLA lebih baik dibandingkan jenis plastik HDPE, PP, nylon dan PS. Jenis plastik lain, seperti PET, PVC dan PVDC memiliki daya halang oksigen yang lebih baik dibandingkan dengan PLA (Auras dkk., 2005).



Gambar 1. Polimerisasi asam laktat dalam pembuatan PLA (Li dkk., 2007).

Sekarang ini, berkembangnya teknologi kemasan pangan menjadi kemasan aktif menjadi salah satu topik riset pengemasan yang mulai diminati. Perkembangan kemasan aktif dengan tujuan penyerap oksigen atau meningkatkan kemampuan daya halang oksigen juga dapat dilakukan pada rancangan kemasan plastisasi PLA-PEG400. Fungsi dari penambahan penangkap oksigen adalah kemampuan dalam menahan oksigen yang akan melewati kemasan melalui udara bebas (Azeredo, 2009; Brody dkk., 2001). Kemasan aktif penangkap oksigen PLA-PEG400 dapat dilakukan dengan metode penyisipan bahan aktif antioksidan ke dalam struktur matrik kemasan.

Menurut (Busolo dkk., 2012), pengaruh bahan penangkap oksigen dapat berfungsi sebagai bahan aktif (menangkap dan bereaksi dengan molekul oksigen) dan memiliki sifat pasif (membentuk jalur liku untuk difusi dari permean). *Butylated hydroxytoluene* (BHT) atau *2,6-bis (1,1-dimethylethyl)-4-methylphenol* sebagai antioksidan larut lemak dan umum digunakan dalam industri plastik, obat maupun industri pangan. Penggunaan bahan aktif yang dapat menangkap oksigen juga harus memiliki kompatibilitas terhadap matrik kemasan yang digunakan. Jenis bahan aktif BHT dalam rancangan kemasan aktif dicobakan pada matrik kemasan berupa kulit ikan untuk penyimpanan produk minyak babi dan efektif untuk mengurangi oksidasi (Jongjareonrak dkk., 2008).

Penggunaan BHT ke dalam matrik PLA murni juga memperbaiki sifat permeabilitas oksigen film PLA murni dimana PLA murni memiliki nilai permeabilitas 163 g  $\mu\text{m}^2$  hari kPa (PLA murni) dan dalam bentuk PLA-BHT menjadi 137 g  $\mu\text{m}^2$  hari kPa. Lebih lanjut, kemampuan penangkapan oksigen dengan bahan aktif BHT sebesar 14%, sedangkan penggunaan bahan aktif  $\alpha$ -tokoferol nilai penangkapan oksigen dapat meningkat sampai 93%. Pengukuran permeabilitas oksigen rancangan kemasan aktif yang dilakukan peneliti sebelumnya menggunakan matrik PLA murni tanpa adanya penambahan bahan pemlastis maupun variabel lainnya berupa suhu penyimpanan (Byun dkk., 2010).

Perlakuan plastisasi PLA dengan bahan pemlastis PEG400 dalam konsentrasi tertentu justru dapat menurunkan nilai permeabilitas oksigen atau memperbaiki sifat daya halang oksigen. Hasil pengukuran daya halang oksigen plastisasi PLA-PEG400 sebesar 5% dapat

memperbaiki daya halang oksigen, namun apabila konsentrasi PEG400 ditingkatkan sebesar 10% justru akan menurunkan kemampuan penghalang oksigen (Yuniarto dkk., 2014). Plastisasi PLA-PEG menghasilkan perbaikan permeabilitas terhadap oksigen karena kompatibilitas PLA-PEG cukup baik dengan indikator nilai *relative energy difference* (RED) sebesar 0,71 dan nilai *Hansen solubility parameter* (HSP) jarak PEG terhadap PLA sebesar 4. Hasil pengukuran permeabilitas oksigen PLA sebesar 4,848 ml mm (STP)/m<sup>2</sup> s kPa dan akan turun menjadi 4,07 ml mm (STP)/m<sup>2</sup> s kPa (Kulinski dkk., 2005).

Perlakuan suhu dan penggunaan bahan pemlastis akan menjadi informasi baru lainnya terkait studi sifat permeabilitas oksigen rancangan kemasan aktif berbasis polimer PLA. Tujuan penelitian ini adalah mengukur permeabilitas oksigen kemasan aktif PLA-PEG400 dengan bahan aktif penangkap oksigen BHT yang disimpan dalam berbagai suhu berbeda.

## METODE

Bahan baku yang digunakan adalah polylactic acid (PLA) A-101 (Shenzen-ESUI, China) dengan berat molekul 80.000 dan densitas 1,2 g/cm<sup>3</sup>, pelarut chloroform HPLC grade (Fisher, USA), Polyethylene glycol-400 (PEG-400) (Merck, Germany) dengan densitas 1,25 g/cm<sup>3</sup>, Bahan aktif antioksidan butylated hidroxytoluene (Sigma Aldrich) dengan berat molekul 220,35 g/mol, kemurnian 99%, titik leleh 69-73°C dan densitas 1,03 g/cm<sup>3</sup>. Gas oksigen dan nitrogen standar industry dengan kemurnian 99,9%.

Alat yang digunakan dalam pembuatan kemasan aktif PLA-PEG400-BHT terdiri atas magnetic stirrer, pompa vakum, lemari asam, petridish dan oven pengering, caliper, timbangan (Ohaus), peralatan gelas (Iwaki), dynamic accumulation chamber (Oxysense, Las Vegas, NV, USA), oxygen transmission rate software (Oxysense Gen3, USA), oxygen fluorescence sensor (Model 310; Oxysense, Inc, USA).

### Preparasi Sampel

Kemasan aktif film PLA-PEG400-BHT 400 dibuat menggunakan metode *direct casting* (Yuniarto dkk., 2014). Sebanyak 5 g biji plastik PLA dilarutkan ke dalam chloroform 100 ml atau perbandingan (1:20 b/v). Selanjutnya, biji plastic dan klorofom diaduk dengan kecepatan

putar 750 rpm selama 60 menit pada suhu 55°C. Tahap berikutnya, PEG400 ditambahkan ke dalam larutan PLA sebanyak 5% dari berat PLA (b/v). Pencampuran PLA-PEG400 atau plastisasi PLA-PEG400 dilakukan dengan metode pengadukan pada kecepatan putar 750 rpm selama 15 menit. Tahap akhir, pencampuran larutan PLA-PEG400 dengan BHT dengan kecepatan putar 750 rpm selama 15 menit. Konsentrasi BHT yang ditambahkan berbeda-beda dengan 3 (tiga) tingkat yaitu 1%, 5% dan 10% terhadap berat PLA (b/b) untuk setiap kemasan aktif yang dibuat. Penambahan BHT dengan konsentrasi 1-10% ditingkatkan karena hasil uji penambahan BHT sebesar 0.1% ke dalam matrik PLA hanya memperbaiki daya halang oksigen sebesar 14% (Byun dkk., 2010). Tahap *casting*, menuangkan sebanyak 10 ml larutan kemasan aktif ke dalam petridish dengan diameter 10 cm. Larutan dikeringkan di dalam oven pengering dengan suhu 35-37°C selama 15 jam. Tahap pelepasan kemasan aktif dari petridish dapat dilakukan dengan cara mengangkat lapisan kemasan diatas petridish menggunakan pisau *cutter*. Hasil kemasan aktif lembaran atau film dilakukan pengukuran menggunakan *caliper* dengan 7 (tujuh) titik yang berbeda.

### Pengukuran Permeabilitas Oksigen

Secara spesifik, detail pengambilan data permeabilitas menggunakan metode *dynamic accumulation* (DA) yang tertuang di dalam prosedur pengukuran *oxygen transmission rate* ASTM F3136-15 (ASTM, 2015). Prosedur pengukuran permeabilitas kemasan aktif dengan ASTM F3136-15 secara detail seperti yang dijelaskan oleh (Yuniarto dkk., 2016). Peralatan yang digunakan adalah piranti permeasi oksigen yang diproduksi oleh Oxysense, Inc. 6000 S. Eastern Ave, Suite 14G, Las Vegas, NV 89119, USA. Film dipotong berbentuk lingkaran dengan diameter 7.5 cm dan diukur ketebalannya dalam 7 titik yang berbeda. Selanjutnya film diletakkan di antara ruang permeasi yang memiliki dimensi luas 16.62 cm<sup>2</sup> dan volume 8.3 cm<sup>3</sup>. Tahap pengukuran diawali dengan melakukan setting program oxysense Gen3 untuk mengatur kalibrasi pengukuran dan interval pengukuran. Kalibrasi dilakukan dengan mengalirkan gas nitrogen murni ke dalam ruang permeasi sampai konsentrasi oksigen sebesar 0%. Apabila kalibrasi nitrogen tercapai, langkah lanjutan dengan mengalirkan gas oksigen ke dalam ruang permeasi sampai dengan konsentrasi oksigen sebesar 100%.

Proses pengukuran akan dilakukan *oxygen fluorescence sensor* (Model 310; Oxysense, Inc) dan direkam oleh oxysense Gen3 secara periodik (10 menit) sampai dengan nilai R yang terbaca di dalam program sebesar 0,999. Setelah itu, akan dapat diperoleh nilai oxygen transmission rate (OTR) yang akan dikonversi menjadi nilai permeabilitas dengan mengalikan tebal film.

### Pengukuran Permeabilitas Oksigen pada Suhu Berbeda

*Oxygen transmission rate chamber* (OTR chamber) dimasukkan ke dalam lemari atau kotak yang dapat dikontrol suhunya. Film dipotong berbentuk lingkaran dengan diameter 7.5 cm dan diukur ketebalannya dalam 7 titik yang berbeda. Selanjutnya film diletakkan di antara ruang permeasi yang memiliki dimensi luas 16,62 cm<sup>2</sup> dan volume 8,3 cm<sup>3</sup>. Ruang permeasi atau OTR chamber dimasukkan ke dalam lemari pengukur yang dapat dikendalikan suhunya sesuai dengan jalannya penelitian (15°C, 23°C dan 30°C). Perlakuan suhu penyimpanan dengan variasi tersebut dilakukan untuk memperoleh informasi perbedaan permeabilitas kemasan aktif yang mewakili nilai-nilai suhu ruang penyimpanan dingin (15°C). Berdasarkan FAO (2001), Rerata perbedaan suhu antara musim basah dan kering daerah tropis (23°C - 30°C).

Tahap selanjutnya adalah pengukuran nilai OTR, seperti dalam metode ASTM F3136-15 yang dijelaskan pada tahap "pengukuran permeabilitas oksigen" di atas. Pengukuran nilai OTR dilakukan pengulangan sebanyak 3 (tiga) kali untuk masing-masing perlakuan konsentrasi BHT dan suhu.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Permeabilitas Oksigen Kemasan Aktif PLA-PEG400-BHT

Permeabilitas oksigen kemasan aktif PLA-PEG400-BHT berkaitan dengan kemampuan kemasan dalam menghalangi permeasi oksigen dari lingkungan luar kemasan. Nilai permeabilitas yang semakin rendah menunjukkan bahwa kemasan memiliki sifat halang terhadap difusi gas dari lingkungan luar yang semakin baik atau diistilahkan semakin kecil nilai permeabilitas maka semakin kedap. Metode *dynamic accumulation* (Abdellatief dkk., 2012) adalah cara pengukuran daya halang oksigen yang terbaru untuk kemasan dan sudah resmi menjadi metode baku yang tertuang dalam



dokumen ASTM F3136-15. Prosedur pengukuran permeabilitas oksigen menggunakan *dynamic accumulation* adalah mengukur permeabilitas oksigen secara tidak langsung dengan cara mengukur laju transmisi oksigen (OTR) atau perpindahan massa oksigen per satuan luas dalam waktu dan tekanan tertentu.

Hasil pengukuran nilai OTR dengan dikalikan jarak perpindahan oksigen antara bagian aliran atas (upstream) dan aliran bawah (downstream) akan menghasilkan nilai permeabilitas oksigen. Berdasarkan hasil pengukuran nilai OTR diperoleh informasi bahwa nilai permeabilitas oksigen akan berkurang setelah matrik kemasan PLA-PEG400 dirubah dalam bentuk aktif menggunakan Butylated hydroxyl toluene (BHT).

Nilai permeabilitas oksigen film PLA-PEG400-BHT memiliki tren turun apabila fraksi atau konsentrasi BHT yang ditambahkan semakin besar ke dalam matrik PLA-PEG400. Nilai pengukuran permeabilitas oksigen pada suhu 30°C untuk kemasan aktif PLA-PEG400-BHT dengan konsentrasi 1%, 5% dan 10% adalah  $0,79 \times 10^{-18}$  (Kg m/m<sup>2</sup> s Pa);  $0,57 \times 10^{-18}$  (Kg m/m<sup>2</sup> s Pa) dan  $0,52 \times 10^{-18}$  (Kg m/m<sup>2</sup> s Pa), secara berurutan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa BHT efektif dalam memperbaiki sifat daya halang oksigen matrik film PLA-PEG400 dibandingkan dalam bentuk kemasan pasif tanpa adanya penambahan BHT. Peran antioksidan di dalam desain kemasan aktif penangkap oksigen akan sangat dipengaruhi dengan jenis dan jumlah yang ditambahkan di dalam matrik kemasan (Gonçalves dkk., 2013).

Perbedaan yang mungkin ditemui dari rancangan kemasan aktif PLA-PEG400-BHT dibandingkan dalam bentuk matrik kemasan pasif PLA-PEG400 adalah terjadi oksidasi BHT selama proses difusi (permeasi) melalui kemasan. Oksigen bebas akan mengalami kontak dengan BHT secara molekuler dengan mekanisme donor hidrogen. Konsentrasi BHT yang semakin besar (antara 1-10%) diduga memberikan kesediaan atom hidrogen untuk menjadi donor bagi oksigen selama difusi terjadi. Hal ini dijelaskan oleh peneliti lain bahwa oksidasi BHT mengalami reaksi rantai radikal bebas pada kondisi terminasi dengan mendonorkan atom hidrogen ke radikal bebas untuk membentuk komponen yang lebih stabil (Ortiz-vazquez dkk., 2011). Lebih lanjut, faktor lain dari berkurangnya nilai permeabilitas oksigen (kenaikan daya halang terhadap oksigen) juga dimungkinkan adanya jalur liku (tortuous

path) karena adanya BHT sebagai bahan pengisi di dalam matrik film PLA-PEG400. Peneliti lain menyebutkan bahwa pengaruh bahan penangkap oksigen dapat berfungsi sebagai bahan aktif (menangkap dan bereaksi dengan molekul oksigen) dan memiliki sifat pasif (membentuk jalur liku untuk difusi dari permean) (Busolo dkk., 2012).

Berdasarkan hasil uji statistik diperoleh bahwa ada pengaruh terhadap perlakuan suhu, konsentrasi BHT dan interaksi keduanya terhadap nilai permeabilitas oksigen kemasan aktif PLA-BHT pada nilai  $\alpha = 0,05$ . Uji lanjutan menggunakan uji T dan uji Duncan dihasilkan perbedaan suhu maupun perbedaan konsentrasi BHT mempengaruhi nilai permeabilitas oksigen. Namun, perbandingan antara BHT 5% dengan BHT 10% yang ditambahkan ke dalam matrik film PLA-PEG400 tidak banyak menurunkan nilai permeabilitas dan didukung oleh hasil uji Duncan dan uji-T, pada Tabel 2. Dugaan kejenuhan dari matrik film PLA-PEG400 untuk membentuk ikatan fisik mungkin terjadi sehingga terjadi pemisahan fase antara fase kontinyu (matrik) dan fase diskontinyu (BHT). Hasil pengamatan dalam pembuatan kemasan aktif PLA-PEG400-BHT menunjukkan adanya dispersi bebas kristal BHT setelah pencetakan film dan tidak ditemui pada perlakuan BHT konsentrasi 1% dan 5%. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat konsentrasi efektif antara 5-10% penambahan BHT untuk rancangan kemasan aktif dengan matrik film PLA-PEG400. Pemisahan fase akan merugikan dalam rancangan kemasan aktif penangkap oksigen karena bagian yang terpisah karena ada kejenuhan dengan matrik film yang dibuat akan terbuang atau tidak termanfaatkan fungsinya.

#### **Permeabilitas Oksigen Kemasan Aktif PLA-PEG400-BHT Fungsi Suhu**

Secara termodinamis, suhu akan meningkatkan pergerakan dari molekul gas secara acak atau memberikan tekanan kepada ruang pembatas gas. Kerja kemasan aktif PLA-PEG400-BHT diukur dalam kondisi suhu penyimpanan yang berbeda dapat memberikan penjelasan perubahan sifat daya halang oksigen. Hasil pengukuran permeabilitas oksigen kemasan aktif PLA-PEG400-BHT dalam berbagai suhu ditunjukkan pada Tabel 1.

Permeabilitas oksigen kemasan aktif PLA-PEG400-BHT dengan kondisi suhu 15°C, 23°C dan 30°C dapat menjadi representasi kondisi

lingkungan dingin (chilling), lingkungan lingkungan tropis (antara kondisi musim basan dn musim kering). Hasil pengukuran permeabilitas oksigen secara konsisten mengungkapkan bahwa suhu yang lebih tinggi akan menghasilkan nilai permeabilitas oksigen lebih besar atau berkurangnya daya halang terhadap oksigen. Hal ini juga memiliki arti bahwa kondisi penyimpanan suhu lebih tinggi akan menurunkan kinerja kemasan aktif dalam fungsinya sebagai penahan difusi atau permeasi oksigen (barrier property). Hal ini juga sama dengan hasil penelitian lain yang melaporkan nilai permeabilitas oksigen meningkat dengan suhu yang lebih tinggi (Bao dkk., 2006; Gonçalves dkk., 2013).

Hasil pengukuran nilai permeabilitas oksigen kemasan aktif PLA-BHT dalam berbagai suhu pengukuran diperoleh hasil adanya kenaikan kemampuan daya halang terhadap oksigen apabila suhu pengukuran semakin

rendah. Hasil pengukuran perbaikan daya halang terhadap oksigen sebesar 126,0%, 81,7% dan 68,1% untuk pengukuran suhu 15°C, 23°C dan 30°C. Menariknya, daya halang oksigen akan berkurang apabila suhu semakin meningkat meskipun penambahan BHT ke dalam matrik PLA cukup besar sampai 10%.

Perhitungan yang sama, untuk perbandingan penambahan konsentrasi BHT terendah (1%) dengan konsentrasi BHT 5% menghasilkan kemampuan daya halang oksigen sebesar 59,1%, 17,2% dan 4,5% untuk pengukuran suhu 15°C, 23°C dan 30°C. Hal ini sama dengan temuan untuk perbandingan BHT 1% terhadap 10%. Nilai perbaikan daya halang oksigen untuk kandungan BHT 5% dengan suhu 30°C menunjukkan perbaikan yang nyata dibandingkan dengan konsentrasi 1% yang didukung dari hasil analisa uji T, pada Tabel 2.

Tabel 1. Nilai rerata permeabilitas kemasan aktif dengan variabel suhu dan konsentrasi BHT

BHT (%)	Rerata Permeabilitas (Kg m/m <sup>2</sup> s Pa)		
	15 °C	23° C	30 °C
0	2,94E-18 ± 6,18E-19	4,14E-18 ± 6,71E-19	5,61E-18 ± 8,41E-19
1	6,48E-19 ± 2,64E-20	8,86E-19 ± 2,26E-20	1,33E-18 ± 4,93E-20
5	5,03E-19 ± 2,42E-20	5,90E-19 ± 4,60E-21	9,13E-19 ± ,88E-20
10	4,89E-19 ± 8,53E-20	5,1E-19 ± 2,74E-20	8,21E-19 ± 7,30E-21

Tabel 2. Analisa statistik permeabilitas kemasan aktif dengan variabel suhu dan konsentrasi BHT

Tes	BHT (%)	N	Suhu (°C)			N	1	2	3
			1	2	3				
T	10	9	60,6744			15	12	108,0375	
	5	9	66,8378			23	12	145,41	
	1	9		95,5556		30	12		209,1967
	Sig		0,957	0,114	1,000	Sig		1,000	0,114
Duncan	10	9	60,6744			15	12	108,0375	
	5	9	66,8378			23	12	145,41	
	1	9		95,5556		30	12		209,1967
	Sig		0,618	1,000	1,000	Sig		0,618	1,000

### SIMPULAN

Rancangan kemasan aktif PLA-PEG400-BHT dapat digunakan sebagai pencegah terhadap difusi oksigen bebas atau memperbaiki sifat daya halang oksigen. Penggunaan BHT dengan konsentrasi yang lebih besar untuk

matrik film PLA-PEG400 berhasil menurunkan nilai permeabilitas oksigen. Konsentrasi BHT harus dikendalikan untuk menghindari terjadinya pemisahan fasa. Sebaiknya kemasan aktif PLA-PEG400-BHT dapat dirancang menggunakan BHT antara 5%-10% untuk menghasilkan sifat daya halang oksigen yang baik.

Nilai permeabilitas oksigen kemasan aktif PLA-PEG400-BHT mengalami kenaikan apabila suhu semakin tinggi dan akan efektif digunakan untuk pengemasan produk yang disimpan pada suhu direntang 15-23°C.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana atas dukungan biaya Kemenristekdikti No. 182/SP2H/AMD/LT/DRPM/2020.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abdellatif, Ayman; Welt, B. A.. 2012. Comparison of New Dynamic Accumulation Method for Measuring Oxygen Transmission Rate of Packaging against the Steady-State Method Described by ASTM D3985. *Packaging Technology and Science*, 26(5). <https://doi.org/10.1002/pts.1974>
- ASTM. 2015. Standard Test Method for Oxygen Gas Transmission Rate through Plastic Film and Sheeting using a Dynamic Accumulation Method 1. *Astm*, 1-7. <https://doi.org/10.1520/F3136-15.2>
- Auras, R. A., Singh, S. P., Singh, J. J., & Lansing, E. 2005. Evaluation of Oriented Poly ( lactide ) Polymers with Existing PET and Oriented PS for Fresh Food Service Containers. *Packaging Technology and Science*, 18(4): 207-216, 18(4), 207-216. <https://doi.org/10.1002/pts.692>
- Auras, R., Lim, L.-T., Selke, S. M., & Tsuji, H. (Eds.). 2010. *POLY ( LACTIC ACID ) : Synthesis, Structures, Properties, Processing and Applications* (1st ed.).
- Azeredo, H. M. C. de. 2009. Nanocomposites for food packaging applications. *Food Research International*, 42(9), 1240-1253. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.03.019>
- Balkcom, M., Welt, B., & Berger, K. 2002. *Notes from the Packaging Laboratory : Polylactic Acid -- An Exciting New Packaging Material* 1. <http://ufdcim-ages.uflib.ufl.edu/IR/00/00/15/27/00001/>
- Bao, L., Dorgan, J. R., Knauss, D., Hait, S., Oliveira, N. S., & Maruccho, I. M. 2006. Gas permeation properties of poly (lactic acid) revisited. *Membran Science*, 285, 166-172. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2006.08.021>
- Battegazzore, D., Bocchini, S., & Frache, A. 2011. Crystallization kinetics of poly (lactic acid)-talc composites. *Express Poly-mer Letters*, 5(10), 849-858. <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2011.84>
- Brody, A. L., Strupinsky, E. R., & Kline, L. R. 2001. Active Packaging for Food Applications. In *Active Packaging for Food Applications*. CRC Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Busolo, M. A., & Lagaron, J. M. 2012. Oxygen scavenging polyolefin nanocomposite films containing an iron modified kaolinite of interest in active food packaging applications. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 16, 211-217. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.06.008>
- Byun, Y., Kim, Y. T., & Whiteside, S. (2010). Characterization of an antioxidant poly lactic acid ( PLA ) film prepared with a -tocopherol , BHT and polyethylene glycol using film cast extruder. *Journal of Food Engineering*, 100(2), 239-244. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.04.005>
- FAO. 2001. Global Ecological Zoning For The Global Forest Resources Assessment 2000 Final Report. Rome, Forestry Departement. <http://www.fao.org/3/ad652e/ad652e23.htm>
- Gonçalves, C. M. B., Tomé, L. C., Garcia, H., Brandão, L., Mendes, A. M., & Marrucho, I. M. 2013. Effect of natural and synthetic antioxidants incorporation on the gas permeation properties of poly ( lactic acid ) films. 116, 562-571. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.12.034>
- Jongjareonrak, A., Benjakul, S., Visessanguan, W., & Tanaka, M. 2008. ARTICLE IN PRESS Antioxidative activity and properties of fish skin gelatin films incorporated with BHT and a -tocopherol. 22, 449-458. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.01.002>
- Kulinski, Z., & Piorkowska, E. 2005. Crystallization , structure and properties of plasticized poly ( L -lactide ). 46, 10290-10300. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2005.07.101>
- Li, F. J., Zhang, S. D., Liang, J. Z., & Wang, J. Z. 2015. Effect of polyethylene glycol on the crystallization and impact properties of polylactide-based blends. *Polymers for Advanced Technologies*, 26(5), 465-475. <https://doi.org/10.1002/pat.3475>
- Li, H., & Huneault, M. A. 2007. Effect of nucleation and plasticization on the crystallization of poly(lactic acid). *Polymer*, 48(23), 6855-6866. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2007.09.020>
- Mohapatra, A.K.Mohanty, S., N. S. K. 2013. Effect of peg on PLA/PEG Blend and Its Nanocomposites: A Study of Thermo-Mechanical and Morphological Characte-

- rization. *Polymers and Polymer Composites*, 16(2), 1-11. <https://doi.org/10.1002/pc>
- Ortiz-vazquez, H., Shin, J., Soto-valdez, H., & Auras, R. 2011. Release of butylated hydroxytoluene ( BHT ) from Poly ( lactic acid ) films. *Polymer Testing*, 30(5), 463-471. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2011.03.006>
- Yuniarto, Kurniawan; Bruce A Welt; Foliatini; Hanafi; Irawan, C. 2017. Morphological , Thermal and Oxygen Barrier Properties Plasticized Film Polylactic Acid Morphological , Thermal and Oxygen Barrier Properties Plasticized Film. *Applied Packaging Research*, 9(3), 1-9.
- Yuniarto, K., Purwanto, Y. A., Purwanto, S., Welt, B. A., Purwadaria, H. K., & Sunarti, T. C. 2016a. Infrared and Raman studies on polylactide acid and polyethylene glycol-400 blend. *AIP Conference Proceedings*, 1725(2016). <https://doi.org/10.1063/1.4945555>
- Yuniarto, K., Purwanto, Y. A., Purwanto, S., Welt, B. A., Purwadaria, K., & Sunarti, T. C. 2016b. Thermal Properties , Crys-tallization and Oxygen Permeability Plasticized Poly ( Lactic acid ) Film Reinforced Na-Montmorillonite. *Makara Journal of Technology*, 20(1), 1-6. [journal. ui.ac.id /technology/journal/article/view/3048](http://journal.ui.ac.id/technology/journal/article/view/3048)
- Yuniarto, K., Welt, B. A., Purwanto, A., Purwadaria, H. K., & Abdellatief, A. 2014. Effect of Plasticizer on Oxygen Permeability of Cast Polylactic acid (PLA) Films Determined using Dynamic Accumulation Method. *Journal of Applied Packaging Research*, 6(2), 51-57.