

PENGARUH SUHU TERHADAP PERMEABILITAS GAS PADA PLASTIK FILM UNTUK PENGEMASAN SECARA ATMOSFIR TERMODIFIKASI

THE EFFECT OF TEMPERATURE ON THE GAS PERMEABILITY OF POLYMERIC FILM FOR MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING

Rokhani Hasbullah¹✉, Agus Ghautsun Niam¹, Lilik Pujantoro¹, Sutrisno Mardjan¹

¹Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia.

✉Komunikasi Penulis, e-mail:rokhani@apps.ipb.ac.id

DOI:http://dx.doi.org/10.23960/jtep-lv7i3.133-141

Naskah ini diterima pada 17 September 2018; revisi pada 27 Desember 2018; disetujui untuk dipublikasikan pada 27 Desember 2018

ABSTRACT

Modified Atmosphere Packaging (MAP) in cold storage is a particular method to maintain the quality and freshness of minimally processed produce. The objectives of this research is to study the effect of temperature on the gas permeability of polymeric film for modified atmosphere packaging of minimally processed produce. Polymeric films of polyethylene stretch (10 ~m thickness) and polypropylene (10 ~m thickness) were used in this experiment. The gas permeability of the plastic films to O₂ and CO₂ were analyzed using gas chromatograph HP 5890 at temperature of 5, 10, 15, 20, and 25 °C based on a steady state concentration increase method. The results showed that the gas permeability increased with increasing temperature storage. An Arrhenius equation model expressed the temperature effect on gas permeability fitted very well with the coefficient of determination (R²) values ranging between 0.9586 and 0.9943.

Keywords: *gas permeability, polymeric film, modified atmosphere packaging, minimally process*

ABSTRAK

Pengemasan secara atmosfer termodifikasi (MAP) pada penyimpanan dingin merupakan cara yang tepat untuk menjaga kualitas dan kesegaran produk yang diolah secara minimal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh suhu terhadap permeabilitas gas pada plastik film untuk pengemasan secara atmosfer termodifikasi pada produk olahan minimal. Plastik film jenis polietilen stretch (ketebalan 10 mm) dan polipropilen (ketebalan 10 mm) digunakan dalam penelitian ini. Permeabilitas gas plastik film terhadap gas O₂ dan CO₂ dianalisis menggunakan kromatografi gas HP 5890 pada suhu 5, 10, 15, 20, dan 25 °C berdasarkan metode konsentrasi meningkat kondisi stabil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa permeabilitas gas meningkat dengan meningkatnya suhu penyimpanan. Model persamaan Arrhenius mampu menggambarkan pengaruh suhu terhadap permeabilitas gas sangat baik dengan nilai koefisien determinasi (R²) berkisar antara 0.9586 dan 0.9943.

Kata kunci: *permeabilitas gas, film polimer, modifikasi kemasan atmosfer, pengolahan minimal*

I. PENDAHULUAN

Pengemasan MAP

Pengemasan secara atmosfer termodifikasi (modified atmosphere packaging, MAP) dan penyimpanan dingin merupakan salah satu solusi untuk memperpanjang masa simpan buah-buahan atau sayuran terolah minimal. Seiring dengan tuntutan konsumen yang menginginkan produk yang “ready to serve” dan “ready to eat” pemasaran produk segar terolah

minimal memiliki prospek yang cerah. Di Thailand, pemasaran produk segar terolah minimal cukup berkembang pesat. Pengemasan MAP umumnya menggunakan film plastik yang memiliki permeabilitas tinggi sehingga terjadi efek modifikasi komposisi gas di dalam kemasan sehingga konsentrasi gas O₂ lebih rendah dan gas CO₂ lebih tinggi dari kondisi udara normal. Efek modifikasi atmosfer ini menyebabkan laju respirasi produk menurun sehingga dapat memperpanjang masa simpan produk. Film

plastik sudah banyak diaplikasikan pada buah-buahan/sayuran dan terbukti efektif dalam mempertahankan mutu buah-buahan selama penyimpanan. Film plastik juga memberikan perlindungan terhadap kehilangan air pada buah-buahan atau sayuran sehingga dapat mempertahankan kesegaran produk yang dikemas (Smock 1979).

Pengemasan MAP adalah pengemasan produk dengan menggunakan bahan kemasan yang dapat menahan keluar masuknya gas (terutama O₂ dan CO₂) sehingga konsentrasi gas di dalam kemasan berubah dan menyebabkan laju respirasi produk menurun, mengurangi pertumbuhan mikrobia, mengurangi kerusakan oleh enzim serta memperpanjang umur simpan. Pengemasan MAP dianggap berhasil apabila mampu mengurangi laju pematangan sekaligus mencegah terjadinya pembusukan dan penyimpangan lain serta mampu mempertahankan kesegaran produk yang dikemasnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi pengemasan MAP antara lain adalah faktor produk (varietas, tingkat kematangan, struktur permukaan, ukuran dimensi, berat produk, laju respirasi, dan lain-lain), faktor kemasan (jenis film plastik, nilai permeabilitasnya, luas permukaan dan ketebalannya), dan faktor lingkungan (suhu dan kelembaban ruang penyimpanan). Model matematik pengemasan MAP dapat dirumuskan dengan Persamaan berikut (Manapperuma *et al.* 1989).

$$\text{Oksigen} : V \frac{dx_1}{dt} = \frac{P_1 A}{b} (y_1 - x_1) - WR_1 \quad (1)$$

$$\text{Karbonioksida} : V \frac{dx_2}{dt} = \frac{P_2 A}{b} (y_2 - x_2) + WR_2 \quad (2)$$

Dimana:

- W = berat produk dalam kemasan (kg)
- R = laju respirasi (ml/kg.jam)
- A = luas permukaan plastik (m²)
- y = konsentrasi gas udara lingkungan (desimal)
- x = konsentrasi gas dalam kemasan (desimal)
- b = tebal film kemasan (mm)
- P = permeabilitas film kemasan (ml.mm/m².jam.atm)
- t = waktu (jam)

Persamaan (1) dan (2) dapat diintegrasikan menjadi sebuah persamaan untuk mendapatkan konsentrasi gas O₂ dan CO₂ optimum dalam kemasan yang digunakan dalam simulasi MAP, dengan persamaan yang mempunyai fungsi hubungan dari waktu, sebagai berikut (Fonseca 2000):

$$x_1(t) = x_1^s - (x_1^s - 0.21) \exp\left(-\frac{PA}{bV} t\right) \quad (3)$$

$$x_2(t) = x_2^s + (0.0003 - x_2^s) \exp\left(-\frac{PA}{bV} t\right) \quad (4)$$

Dimana:

- x(t) = konsentrasi gas pada waktu tertentu (desimal)
- x^s = konsentrasi gas pada *steady state* (desimal)
- t = waktu (jam)
- V = volume bebas (ml)
- P = permeabilitas kemasan (ml.mm.jam.atm/m²)
- A = luas permukaan kemasan (m²)
- b = ketebalan kemasan (mm)

Subskrip 1 dan 2 masing-masing menyatakan oksigen dan karbondioksida.

Dalam pengemasan sistem MAP, tahapan perancangan adalah sebagai berikut

- (1) Menetapkan komposisi gas optimum dari produk yang akan dikemas, yaitu konsentrasi O₂ (x₁) dan CO₂ (x₂) yang nilainya berbeda-beda untuk setiap jenis komoditas.
- (2) Menentukan laju respirasi produk pada komposisi gas optimum tersebut, meliputi laju konsumsi O₂ (R₁) dan laju produksi CO₂ (R₂).
- (3) Memilih jenis plastik film kemasan yang sesuai nilai permeabilitasnya, baik permeabilitas terhadap O₂ (P₁) maupun terhadap CO₂ (P₂).
- (4) Menetapkan ketebalan (b) dan luas permukaan (A) dari plastik film kemasan serta berat produk yang akan dikemas (W), sedemikian rupa sehingga memenuhi persamaan model matematika sistem pengemasan MAP pada kondisi kesetimbangan.
- (5) Apabila data respirasi tidak tersedia maka dilakukan simulasi dengan mengubah-ubah nilai W, b dan A sehingga menghasilkan komposisi gas di dalam kemasan mendekati komposisi optimum yang direkomendasikan.

Permeabilitas Plastik Film

Kemasan plastik saat ini mendominasi industri makanan di Indonesia, menggeser penggunaan kemasan logam dan gelas. Hal ini disebabkan karena kelebihan dari kemasan plastik yaitu ringan, fleksibel, multiguna, kuat, tidak bereaksi, tidak berkarat dan bersifat termoplastis (*heat seal*), dapat diberi warna dan harganya yang murah. Kelemahan dari plastik karena adanya zat monomer dan molekul kecil dari plastik yang mungkin bermigrasi ke dalam bahan pangan yang dikemas. Kader dan Moris (1977) mengemukakan bahwa pengemasan buah dalam film plastik yang permeabel merupakan sistem dinamik dan meliputi dua proses yang terjadi bersamaan yaitu proses pernapasan dan perembesan O_2 dan CO_2 ke luar dan ke dalam kemasan. Oksigen secara terus-menerus digunakan oleh buah untuk kegiatan pernapasannya menghasilkan CO_2 , H_2O dan energi panas, akibatnya terjadi perbedaan konsentrasi O_2 antara bagian dalam dan bagian luar kemasan sehingga O_2 mulai merembes ke dalam kemasan. Konsentrasi CO_2 dalam kemasan yang semakin meningkat dalam waktu yang bersamaan akan merembes ke luar kemasan.

Beberapa metode yang telah dikembangkan untuk pengukuran permeabilitas gas dapat dibedakan berdasarkan prinsip kerjanya menjadi: metode tekanan meningkat, volume meningkat dan konsentrasi meningkat. Prinsip tekanan meningkat dan volume meningkat merupakan metode standar ASTM D 1434 (Brown, 1992). Sedangkan prinsip konsentrasi meningkat kondisi mantap (*steady state*) merupakan standar ASTM D 3985 (Brown, 1992) Metode ini semula hanya diterapkan untuk gas oksigen karena terbatasnya teknik pendeteksian gas, peralatan yang digunakan dalam metode ini terdiri dari sel permeabilitas dengan dua ruangan yang dipisahkan oleh sample film plastic yang akan diuji. Salah satu ruangan dialiri dengan gas oksigen murni, sedangkan ruangan lainnya dialiri dengan campuran gas 98 % nitrogen dan 2 % hidrogen. Konsentrasi gas oksigen yang terpermeasi ke dalam aliran gas nitrogen diukur menggunakan sensor oksigen setelah kondisi mantap (*steady*) tercapai.

Pengujian dengan menggunakan metode tekanan meningkat, volume meningkat dan konsentrasi meningkat kondisi tak mantap (*unsteady*) telah dilaporkan oleh Taylor and Proctor (1960). Metode tersebut direkomendasikan untuk pengujian permeabilitas gas pada film plastic alam. Pada mulanya dalam metode konsentrasi meningkat kondisi tak mantap, pengukuran konsentrasi gas dilakukan dengan menggunakan peralatan Orsat. Karel et al (1963) memperkenalkan penggunaan kromatografi gas untuk pengukuran konsentrasi gas sehingga metode ini dapat dikembangkan untuk menentukan permeabilitas gas-gas lain termasuk uap organik serta memungkinkan dilakukan pengulangan sampling.

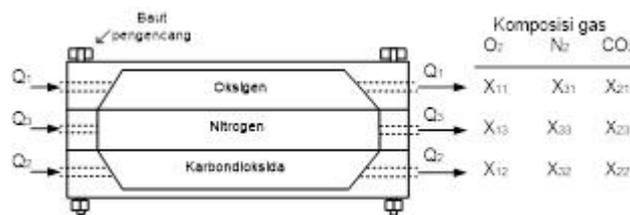
Gilbert and Pegaz (1969) memperkenalkan sel untuk pengujian permeabilitas dengan tiga ruangan yang menggunakan dua lembar sample film plastic yang sama. Mannapperuma and Singh (1990) telah mengembangkan alat seperti yang digunakan Gilbert and Pegaz (1969) untuk pengukuran permeabilitas gas metode konsentrasi meningkat kondisi mantap (*steady state*). Prinsip dari metode ini ialah apabila dua ruangan dipisahkan oleh film yang masing-masing ruangan dialiri dengan gas murni yang berbeda untuk jangka waktu yang cukup lama sampai tercapai kondisi mantap (*steady state*), maka tiap ruangan tersebut akan berisi rembesan dari gas yang lain. Besarnya fraksi rembesan gas ini tergantung pada laju rembesan dari komponen gas dan laju alirannya. Prinsip ini dapat diimplementasikan untuk menentukan permeabilitas film plastic terhadap gas CO , O , dan N , secara simultan.

II. BAHAN DAN METODE

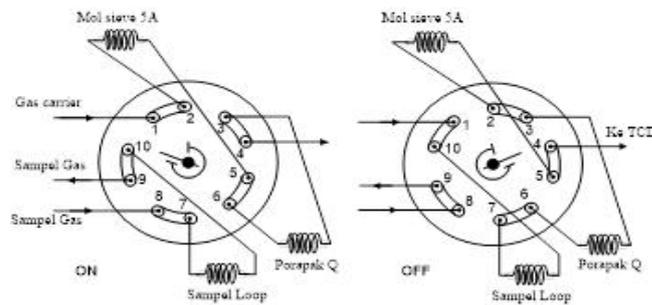
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah film plastic, gas helium, oksigen, karbondioksida, nitrogen dan udara tekan. Sedangkan alat yang digunakan adalah tabung gas, regulator, klep buka tutup, klep jarum, soap bubble flow meter, sel permeabilitas, kromatografi gas HP 5890, "ten port valve", dan komputer dekstop.



Gambar 1. Instrumen ukur permeabilitas gas



Gambar 2. Skema sel uji permeabilitas gas



Gambar 3. Sampling gas secara otomatis menggunakan “ten port valve” untuk menganalisis gas O₂, CO₂ dan N₂ secara simultan.

Pengukuran permeabilitas film plastik terhadap gas CO₂, O₂, dan N₂ secara simultan dilakukan dengan menerapkan metode konsentrasi meningkat kondisi mantap (*steady state concentration increase method*) menggunakan sel permeabilitas dengan tiga ruang seperti yang telah dikembangkan oleh Mannapperuma dan Singh (1990). Analisis gas dilakukan menggunakan GC HP 5890 dengan detektor TCD (*thermal conductivity detector*). Instrumen pengukuran permeabilitas gas diperlihatkan pada Gambar 1.

Untuk menghitung nilai permeabilitas digunakan persamaan kesetimbangan massa pada tiap gas yang terpermeasi dalam setiap aliran gas (Mannapperuma dan Singh 1990).

Notasi subskrip ganda digunakan untuk menyatakan konsentrasi gas dalam setiap aliran gas seperti diilustrasikan dalam Gambar 2 (Hasbullah, 2000). Subskrip pertama menyatakan gas terpermeasi, sedangkan subskrip kedua menyatakan gas pembawanya. Kesetimbangan massa untuk oksigen termeasi dalam aliran nitrogen dapat ditulis seperti pada persamaan (5). Terjadi kemungkinan untuk mendapatkan rembesan oksigen dalam aliran karbondioksida karena adanya permeasi sekunder. Hal ini dinyatakan dalam bagian kedua dari ruas kanan pada persamaan tersebut. Jika persamaan ini disusun kembali maka diperoleh persamaan (6) yang menyatakan nilai permeabilitas film plastik terhadap gas oksigen.

$$Q_{3X_{13}} = \frac{P_1 A}{b(X_{11} - X_{13})} + \frac{P_1 A}{b(X_{12} - X_{13})} \quad (5)$$

$$P_1 = \frac{Q_3 b X_{13}}{A(X_{11} + X_{12} - 2X_{13})} \quad (6)$$

Kesetimbangan massa untuk karbondioksida terpermeasi dalam aliran nitrogen adalah seperti dinyatakan dalam persamaan (7) dengan menyusun kembali persamaan tersebut maka diperoleh persamaan (8) yang menyatakan nilai permeabilitas film plastik terhadap gas karbondioksida.

$$Q_{3X_{23}} = \frac{P_2 A}{b(X_{21} - X_{23})} + \frac{P_2 A}{b(X_{22} - X_{23})} \quad (7)$$

$$P_2 = \frac{Q_3 b X_{23}}{A(X_{21} + X_{22} - 2X_{23})} \quad (8)$$

Pengaruh suhu terhadap nilai permeabilitas gas dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan Arrhenius seperti pada persamaan (9). Dengan mengetahui model persamaan Arrhenius maka dapat diduga nilai permeabilitas pada suhu tertentu. Dimana P = koefisien permeabilitas gas (ml.mm/m².hari.atm), P₀ = faktor preekspensial (ml.mm/m².hari.atm), E_a = energi aktivasi (kJ/mol), R=konstanta gas (8.314 J/mol.K), dan T = suhu (K).

$$P = P_0 \text{Exp} \left(- \frac{E_a}{RT} \right) \quad (9)$$

Komposisi gas meliputi O₂, CO₂ dan N₂ dianalisis secara simultan menggunakan kromatografi gas (Gas chromatograph, GC) HP5890 dengan detektor TCD (thermal conductivity detector). Kondisi operasi GC adalah suhu kolom 70 °C, suhu

injeksi 90 °C, suhu ten port 80 °C, suhu detektor 150 °C. Jenis kolom yang digunakan adalah packed column jenis molecular sieve 5A dan porapak R yang dihubungkan dengan “ten port valve” yang memungkinkan pemisahan gas-gas O₂, CO₂ dan N₂ secara simultan. Gambar 3 menunjukkan “ten port valve” untuk sampling gas secara otomatis. Posisi ten port valve adalah “ON” pada menit ke 0.02 dan “OFF” setelah 2.0 menit. Puncak sinya gas CO₂, O₂ dan N₂ masing-masing terjadi pada “retention time” berturut-turut 3 menit, 4 menit dan 5 menit. Sebelum digunakan untuk menganalisis gas-gas pada sampel plastik, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi dengan menggunakan gas 1 % O₂, 1 % CO₂ dan 1 % N₂ dalam gas helium.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

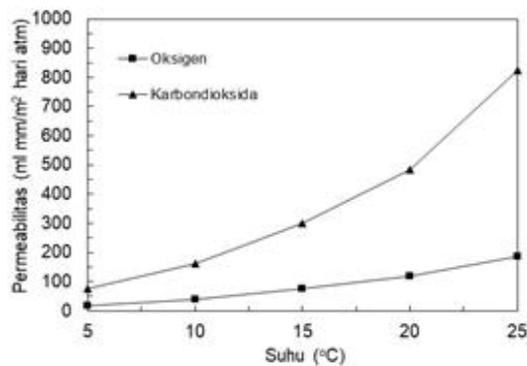
Hasil analisis konsentrasi gas O₂, CO₂ dan N₂ selama percobaan pengukuran permeabilitas film plastik jenis polietilen stretch dan polipropilen disajikan pada Tabel 1 dan 2. Koefisien permeabilitas gas ditentukan menggunakan Persamaan (8) dan (10). Gambar 4 menunjukkan permeabilitas gas dari film plastik jenis polietilen stretch dan polipropilena pada beberapa suhu penyimpanan. Dari gambar tersebut nampak adanya pengaruh yang kuat dari suhu penyimpanan terhadap permeabilitas gas baik permeabilitas terhadap O₂ maupun CO₂. Semakin tinggi suhu penyimpanan semakin tinggi nilai permeabilitas gas pada film plastik.

Tabel 1. Konsentrasi gas setelah kondisi “steady state” selama pengukuran permeabilitas gas pada film stretch

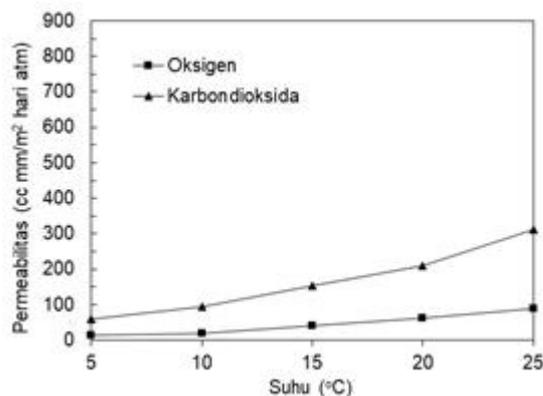
Laju Aliran Gas	Suhu (°C)	Konsentrasi Gas (%)		
		O ₂	CO ₂	N ₂
Oksigen 15 ml/menit	5	99,610	0,364	0,026
	10	99,481	0,451	0,068
	15	99,315	0,553	0,133
	20	99,213	0,634	0,154
	25	98,812	0,953	0,236
Karbon dioksida 15 ml/jam	5	0,057	99,909	0,035
	10	0,011	99,911	0,079
	15	0,019	99,850	0,132
	20	0,034	99,815	0,152
	25	0,040	99,700	0,261
Nitrogen 10 ml/jam	5	0,051	0,230	99,719
	10	0,121	0,498	99,382
	15	0,230	0,907	98,864
	20	0,358	1,451	98,191
	25	0,561	2,428	97,012

Tabel 2. Konsentrasi gas setelah kondisi “steady state” selama pengukuran permeabilitas gas pada film polipropilen

Laju Aliran Gas	Suhu (°C)	Konsentrasi Gas (%)		
		O ₂	CO ₂	N ₂
Oksigen 15 ml/menit	5	99,552	0,433	0,016
	10	99,437	0,530	0,034
	15	99,333	0,615	0,053
	20	99,172	0,715	0,114
	25	99,032	0,833	0,136
Karbon dioksida 15 ml/menit	5	0,008	99,982	0,011
	10	0,028	99,949	0,024
	15	0,035	99,917	0,048
	20	0,038	99,895	0,068
	25	0,042	99,840	0,118
Nitrogen 10 ml/menit	5	0,037	0,082	99,882
	10	0,058	0,138	99,804
	15	0,110	0,259	99,632
	20	0,185	0,403	99,413
	25	0,266	0,568	99,167



Gambar 4. Permeabilitas gas plastik polietilen stretch pada berbagai suhu penyimpanan



Gambar 5. Permeabilitas gas plastik polipropilen pada berbagai suhu penyimpanan

Pengaruh suhu terhadap permeabilitas gas film plastik jenis polietilen stretch dan polipropilen disajikan pada Gambar 4 dan 5. Permeabilitas gas meningkat dengan meningkatnya suhu dengan bentuk hubungan eksponensial.

Tabel 3 menunjukkan nilai permeabilitas gas pada berbagai suhu dan nilai rasio permeabilitas

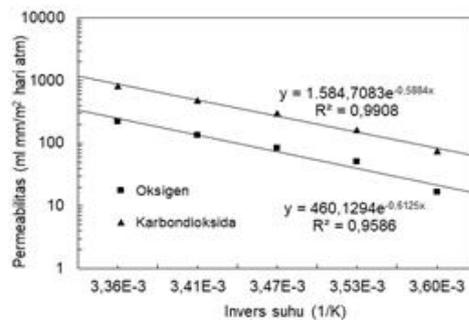
(b) pada film plastik jenis polietilen stretch dan polietilen yang digunakan pada percobaan ini. Rasio permeabilitas merupakan perbandingan antara permeabilitas gas CO₂ terhadap permeabilitas gas O₂. Nilai rasio permeabilitas adalah salah satu parameter penting dalam perancangan pengemasan secara atmosfer termodifikasi (MAP) untuk produk segar.

Parameter penting lainnya dalam merancang pengemasan MAP adalah komposisi gas (O_2 dan CO_2) yang optimum dan laju respirasi dari komoditas yang akan dikemas (Mannapperuma dan Singh, 1990). Parameter-parameter ini menentukan komposisi gas O_2 dan CO_2 di dalam kemasan yang targetnya adalah menekati komposisi gas yang optimum sehingga masa simpan produk dapat ditingkatkan (Zagory, 1992). Film dengan nilai rasio tinggi akan memungkinkan CO_2 relatif lebih mudah lolos dari kemasan sehingga tidak terjadi akumulasi gas CO_2 di dalam kemasan. Di sisi lain, film dengan nilai rasio yang lebih rendah akan memungkinkan penumpukan CO_2 yang lebih besar didalam kemasan yang akan mempengaruhi mutu produk yang dikemas.

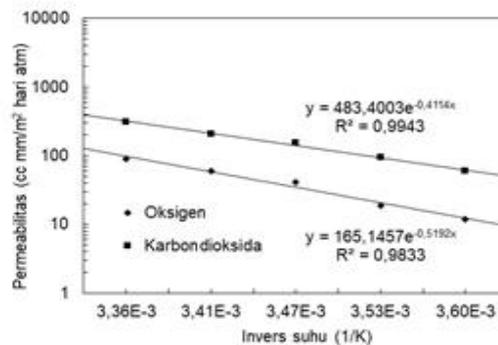
Rasio permeabilitas film plastik jenis polietilen stretch dan polipropilen dalam percobaan ini pada suhu 5-25 °C bervariasi antara 4.0 sampai 4.5 untuk film plastik jenis polietilen stretch dan antara 2.1 sampai 2.4. Untuk polipropilen, rasio permeabilitas yang diperoleh lebih rendah dari nilai rasio permeabilitas untuk film plastik jenis polietilen stretch. Hasbullah *et al.* (2000) melaporkan nilai rasio permeabilitas sebesar 2 untuk film plastik polipropilen dan 4.0 untuk film plastik polietilen stretch pada suhu 25 °C. Berbagai faktor mempengaruhi pengukuran permeabilitas gas adalah kondisi pengujian, karakteristik film plastik dan metode uji. Untuk polietilen stretch, permeabilitas rasio mendekati nilai film polietilen densitas rendah (LDPE) yang dilaporkan oleh Mannapperuma dan Singh (1989) menggunakan metode yang sama.

Tabel 3. Nilai permeabilitas gas dan rasio permeabilitas () pada film plastik jenis polietilen stretch dan polipropilen

Suhu (°C)	Permeabilitas gas (ml.mm/m ² .hari.atm)				Nilai s	
	Pes		PP		PEs	PP
	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂
5	16,7	75,1	12,0	26,6	4,5	2,2
10	39,6	163,1	19,0	44,9	4,1	2,4
15	75,8	299,6	36,1	84,2	4,0	2,3
20	118,4	484,6	60,8	131,6	4,1	2,2
25	187,0	825,6	88,6	185,7	4,4	2,1



Gambar 6. Plot Arrhenius dari permeabilitas gas terhadap invers suhu pada plastik polietilen stretch



Gambar 7. Plot Arrhenius dari permeabilitas gas terhadap invers suhu pada plastik dan polipropilen

Table 4. Nilai pra-exponensial dan energi aktivasi pada persamaan Arrhenius untuk plastik jenis polietilen stretch dan polipropilen

Jenis plastik	Gas	Pra eksp. (ml.mm/m ² . hari.atm)	Energi Akktifasi (J/mol)	R ²
Polietilen stretch	O ₂	460,13	5,09	0,9586
	CO ₂	1 584,71	4,89	0,9908
Polipropilen	O ₂	165,15	4,32	0,9833
	CO ₂	483,40	3,42	0,9943

Permeabilitas gas disajikan dalam bentuk plot Arrhenius pada Gambar 6 dan 7. Parameter-parameter persamaan Arrhenius seperti konstanta pra eksponensial (Po) dan energi aktivasi (Ea) ditunjukkan pada Tabel 4. Korelasi permeabilitas gas untuk O₂ dan CO₂ dengan suhu penyimpanan cukup baik yang ditunjukkan dengan tingginya nilai koefisien determinasi (R²). Nilai R² hubungan antara permeabilitas gas dengan suhu penyimpanan berkisar antara 0.9586 dan 0.9943. Hasil ini menunjukkan bahwa persamaan Arrhenius dapat digunakan dengan tepat untuk menggambarkan pengaruh suhu terhadap permeabilitas gas pada film plastik.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Permeabilitas gas dari film plastik jenis polietilen stretch dan polipropilen meningkat dengan meningkatnya suhu penyimpanan secara eksponensial.
2. Model Arrhenius cukup baik untuk menggambarkan pengaruh suhu terhadap permeabilitas gas pada film plastik dengan nilai koefisien determinasi (R²) berkisar antara 0.9586 dan 0.9943.
3. Rasio permeabilitas gas CO₂ terhadap gas O₂ pada suhu 5-25 °C berkisar antara 4.0 sampai 4.5 untuk film plastik polietilen stretch dan antara 2.1 sampai 2.4 untuk film plastik polipropilen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai dari Program Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT) Tahun Anggaran 2018 Nomor: 1695/IT3.11/PN/2018 Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM), Institut Pertanian

Bogor. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Ristek-Dikti dan LPPM IPB yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Brown (1992). *Plastics in food packaging: properties, design, and fabrication*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Gilbert, S. G. and Pegaz, D. (1969). Find new ways to measure gas permeability, *Package Engineering*, 14(1): 66-69.
- Hasbullah, R, Gardjito, A. M. Syarief and T. Akinaga. (2000). Gas permeability characteristics of plastic films for packaging of fresh produce. *J. Society of Agricultural Structures, Japan*, 31: 79-86.
- Kader AA, Morris LL. (1977). Relative Tolerance of Fruits and Vegetables to Elevated CO₂ and Reduce O₂ Levels. Michigan (US): Michigan State University Hort Report 2.
- Karel, M, Issenberg, P, Ronsivalli, L. and Jurin, V. (1963). Application of Gas chromatography to the measurement of gas permeability of Packaging materials. *Food Technology*. 91:327
- Mannapperuma, J. D, and Singh, R. P. (1990). Modeling of gas exchange in polymeric packages of fresh fruits and vegetables, Paper for ASAE Winter Meeting, Chicago, December 1990.
- Mannapperuma, J. D., Zagory, D., Singh, R. P. And Kader, A. A. (1989). Design of polymeric packages for modified atmosphere storage of fresh produce. Presented at the Fifth International Controlled Atmosphere Research Conference, Wenatchee, WA, USA, June 14-16, 1989.
- Smock, R.M. (1979). *Controlled Atmosphere of Fruits Horticultural Reviews Vol. 1*.

- Westport (US): The AVIPublishing Co. Inc.
- Taylor, A.A.M. and Proctor, B.E. (1960). Measurement of O₂ permeability. *Modern Packaging*. 33(10):131
- Zagory, D.(1992). Extended shelf life packages for produce: new technology, new opportunities. Presented at the 9th Annual Foodplas Conference; Plastics Institute of America, Orlando, FL, March 3-5, 1992.