PENYUSUNAN DAN PENGUJIAN MODEL PENDUGAAN KONSENTRASI O_2 DAN CO_2 DALAM KEMASAN MODIFIED ATMOSPHERE SAYURAN TROPIKA

Development and Validation of Prediction Model for O_2 and CO_2 Concentration of Fresh Vegetables under Modified Atmosphere Packaging

Sutrisno[1], Ferry R. Yuda Y.P[2]

ABSTRACT

A mathematical model was developed to predict O_2 and CO_2 gaseous concentration for fresh vegetables under modified atmosphere packaging. Mathematicals models were developed by assump that the sides basin packing is permeable and the bottom package is impermeable.

Verification of the model were done by using the experimental data of read chilli, carrot and tomato, the models were generally significant enough to predict the gaseous condition of inside package for fresh vegetable products under MAP.

Key words: MAP, *prediction models, shelf life*, permeabilitas, laju respirasi.

PENDAHULUAN

Modified Atmosphere Packaging (MAP) adalah salah satu cara pengemasan untuk mengatur faktor-faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap kegiatan metabolik dan fisiologik komoditas yang disimpan. MAP dilakukan dengan mengatur komposisi udara di sekitar bahan sehingga berbeda dengan komposisi udara atmosfer dalam rangka menghambat proses metaboliknya sehingga umur simpan komoditas dapat diperpanjang.

Perancangan kemasan dengan menggunakan film dan kemasan wadah juga telah dilakukan. Kemasan wadah yang digunakan saat ini banyak menggunakan plastik dan *styrofoam*.

Dalam perancangannya, kemasan wadah ini juga harus dipertimbangkan terutama apakah sifat permeabilitas memang ada, karena akan mempengaruhi kondisi penyimpanan yang diinginkan.

Salah satu pengemasan yang sudah sering dilakukan adalah dengan plastik film. Menurut Smock (1979) didalam Yang Yang *et ai.* (1986)

[1] Staff Pengajar Jurusan Teknik Pertanian IPB
[2] Alumnus Jurusan Teknik Pertanian, FATETA-IPB

penggunaan film plastik sebagai bahan kemasan buah-buahan dan sayuran yang mudah rusak, akan dapat memperpanjang daya simpannya. Film kemasan ini akan memberikan lingkungan yang berbeda pada buah dan sayuran yang disimpan. Hal ini disebabkan laju perembesan O_2 ke dalam kemasan dan CO_2 ke luar kemasan sebagai akibat kegiatan respirasi bahan. Plastik film ini juga akan memberikan perlindungan terhadap kehilangan air sehingga produk yang dikemas masih terlihat segar.

Menurut Kader and Morris (1977) dalam Yang Yang *et al.* (1986), pengemasan buah dalam film permeabel merupakan sistem dinamik yang meliputi dua proses yang terjadi secara simultan, yakni proses pernapasan dan perembesan gas keluar atau kedalam kemasan. Oksigen secara terus menerus digunakan oleh buah untuk kegiatan pernapasannya yang akan menghasilkan CO_2, H_2O, dan energi panas. Sehingga, akan terjadi perbedaan konsentrasi antara bagian dalam dan luar kemasan yang mengakibatkan perembesan O_2 kedalam kemasan. Konsentrasi CO_2 pada saat yang bersamaan akan semakin bertambah dan mulai merembes keluar kemasan.

Castro *et al.* (1994) mengemukakan bahwa laju respirasi dipengaruhi oleh konsentrasi O_2 dan suhu. Pengaruh konsentrasi pada laju respirasi O_2 menjadi lebih tinggi pada suhu 25°C daripada 0°C. Laju respirasi pada suhu 25°C setelah 24 jam bertambah dari 20 menjadi 30 ml O_2/kg jam (bertambah 50%) ketika konsentrasi O_2 ditambah dari 5% menjadi 21%.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Gunadnya (1993) memperlihatkan bahwa semakin tinggi suhu maka semakin besar nilai koefisien permeabilitas. Disamping itu suhu penyimpanan juga mempengaruhi cepat atau lambatnya laju respirasi produk. Gunadnya (1993) mengemukakan dengan makin bertambahnya suhu, laju konsumsi O_2 dan produksi CO_2 salak semakin bertambah.

Menurut Brown (1992) sifat bahan kaca dan logam adalah tidak permeabel terhadap gas, transparan, tahan terhadap panas, dan kaku. PVC, *acrylic*, dan *polystyrene* ternyata mempunyai sifat melewatkan gas dengan koefisien permeabilitas tertentu.

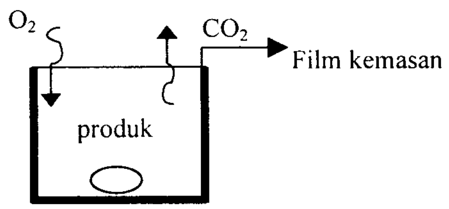
Penelitian ini bertujuan untuk menyusun model matematik pendugaan konsentrasi gas O_2 dan CO_2 di dalam kemasan MA serta mengujinya dengan beberapa produk sayur-sayuran.

PENDEKATAN TEORITIS

Pengukuran O_2 dan CO_2 sangat penting untuk menentukan total respirasi selama proses penyimpanan, walaupun pengukuran ini tidaklah mudah untuk dilakukan karena keterbatasan fungsi alat dan teknik yang digunakan. Teknik pendugaan konsumsi O_2 dan produksi CO_2 telah banyak dikembangkan dengan membuat model matematika. Model matematika disusun berdasarkan kondisi pengemasan dari produk sehingga prediksi yang dilakukan menggunakan model tersebut diharapkan mendekati hasil yang sebenarnya.

Model pendugaan konsentrasi O_2 dan CO_2 juga telah dibuat oleh

Edmond *et al.* (1991) yang mengikuti hukum Fick's dan persamaan Geankoplis (1983) sebagai berikut:



Gambar 1. Model pertukaran gas pada film kemasan

1. Perubahan konsentrasi O_2 terhadap waktu dalam kemasan

$$\frac{dy}{dt} = \frac{A_f K_f (y\alpha - y)}{VE_f} - \frac{WR_y}{V} \quad \text{.............................. (1)}$$

2. Perubahan konsentrasi CO_2 terhadap waktu dalam kemasan

$$\frac{dz}{dt} = \frac{A_f K_f (z\alpha - z)}{VE_f} + \frac{WR_z}{V} \quad \text{.............................. (2)}$$

dengan memasukkan :

$$K_f^* = \frac{A_f K_f}{E_f}$$

Kf* = permeabilitas efektif film (m^3/jam)

METODOLOGI PENELITIAN

Waktu Dan Tempat

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Pengolahan Pangan dan Hasil Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, Institut Pertanian Bogor, yang dilakukan mulai bulan April hingga bulan Juli 1998.

Alat Dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1 (satu) unit *Personal Computer IBM Compatible*. Software yang akan dipergunakan untuk penyusunan program pendu-gaan adalah *Microsoft Visual Basic* 4.0. Bahan yang dipergunakan adalah data perubahan konsentrasi O_2 dan CO_2 dari Cabe Merah, tomat, dan wortel dalam kemasan modified atmosphere hasil percobaan Zulkarnain (1997), Rusmono (1989), dan Sonny (1997).

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut : (i) penyusunan model matematika, (ii) pembuatan program komputer, dan (iii) verifikasi model pendugaan dengan hasil percobaan

1. Model Pendugaan Konsentrasi O_2 dan CO_2

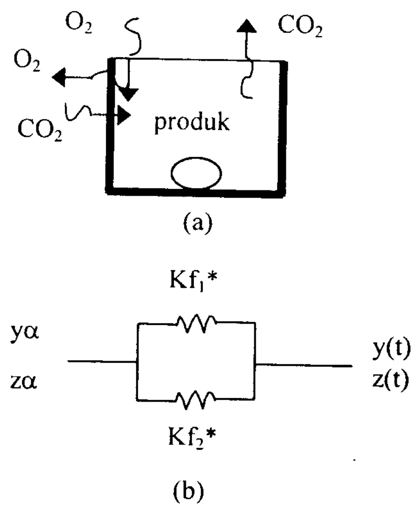
Dalam penyusunan model pendugaan perubahan konsentrasi O_2 dan CO_2 digunakan persamaan yang merupakan hasil modifikasi dari persamaan yang dikemukakan oleh Edmond *et al.* (1991), yaitu persamaan 1 dan 2.

Asumsi yang digunakan pada persamaan pendugaan adalah :

a. Pertukaran gas terjadi hanya pada film kemasan dan dinding-dinding wadah kemasan (apabila digunakan wadah) sedangkan alas wadah kemasan kedap.
b. Perubahan suhu penyimpanan tidak mempengaruhi sifat permeabilitas wadah kemasan yang bersifat rigid atau kaku
c. Kondisi penyimpanan dari kemasan adalah steady state
d. Kemasan dalam keadaan baik (tidak rusak)
e. Seluruh permukaan produk mengalami respirasi

f. Laju respirasi tidak berdasarkan fungsi suhu

Dari beberapa asumsi di atas maka model pertukaran gas yang terjadi untuk penyusunan model pendugaan diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Model pertukaran gas dari dan ke dalam kemasan
(a). skema kemasan
(b). analogi resistansi model

Untuk nilai koefisien permeabilitas film kemasan dan ketebalan film diambil dari beberapa literatur seperti terdapat pada Tabel 1.

2. Program Komputer

Program komputer dibuat dengan *Microsoft Visual Basic 4.0*, menggunakan beberapa parameter input yang diambil dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan oleh Zulkarnain (1997), Sonny (1997), dan Rusmono (1989).

3. Verifikasi Hasil Pendugaan

Hasil pendugaan akan diuji dengan menggunakan uji kebebasan-suai yaitu dengan uji khi-kuadrat. Masing-masing hasil pendugaan akan diuji pada beberapa taraf nyata dengan asumsi Ho : sebaran hasil pendugaan seragam dengan percobaan. Apabila nilai χ^2 hitung lebih besar daripada χ^2 tabel pada suatu taraf nyata maka asumsi Ho ditolak selainnya Ho diterima.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model Pendugaan Konsentrasi O_2 dan CO_2

Penyusunan model pendugaan konsentrasi O_2 dan CO_2 dilakukan berdasarkan pertukaran gas dari film kemasan dan wadah (Gambar 2), yang merupakan sistem paralel, sehingga peristiwa pertukaran gas pada film kemasan dan wadah terjadi secara bersamaan. Dengan demikian analogi pendekatannya dapat disamakan pada perhitungan resistansi pada listrik. Disamping itu model dikembangkan berdasarkan asumsi-asumsi yang telah dibuat terdahulu.

Hasil akhir persamaan pendugaan yang disusun sebagai berikut :

1. Perubahan Konsentrasi O_2
   a. Perubahan konsentrasi O_2 akibat kemasan film
   $$\frac{dy}{dt} = \frac{A_{f1}K_{f1}(y\alpha - y)}{VE_{f1}} \ldots \quad (3)$$
   b. Perubahan konsentrasi O_2 akibat wadah kemasan
   $$\frac{dy}{dt} = \frac{A_{f2}K_{f2}(y\alpha - y)}{VE_{f2}} \ldots. \quad (4)$$
   c. Perubahan konsentrasi O_2 oleh laju respirasi produk
   $$\frac{dy}{dt} = -\frac{WR_y}{V} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Tanda minus berarti berkurangnya konsentrasi O_2 akibat digunakan untuk pernapasan oleh produk.

Dari ketiga persamaan di atas maka dalam satu sistem pengemasan, perubahan konsentrasi O_2 adalah penjumlahan ketiga persamaan tersebut sesuai pendapat Fishman *et al.* (1996) pada sistem paralel sehingga persamaan menjadi :

$$K_f^* = \frac{A_f K_f}{E_f}$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{(K_{f1}^* + K_{f2}^*)(y_\alpha - y)}{V} - \frac{WR_y}{V} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

Dengan menggunakan metode pengintegralan maka akan diperoleh persamaan :

$$y_s = y_\alpha - \frac{WR_y}{K_{f1}^* + K_{f2}^*} \quad \ldots\ldots \quad (7)$$

$$y(t) = y_s + (y_\alpha - y_s)\exp\left(-\frac{(K_{f1}^* + K_{f2}^*)t}{V}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

dimana,

y(t) = konsentrasi O_2 dalam kemasan sesaat

ys =konsentrasi O_2 dalam keseimbangan yang diduga

2. Perubahan Konsentrasi CO_2
   a. Perubahan konsentrasi CO_2 akibat kemasan film

$$\frac{dz}{dt} = \frac{A_{f1} K_{f1} (z_\alpha - z)}{V E_{f1}} \quad \ldots\ldots \quad (9)$$

   b. Perubahan konsentrasi CO_2 akibat wadah kemasan

$$\frac{dz}{dt} = \frac{A_{f2} K_{f2} (z_\alpha - z)}{V E_{f2}} \quad \ldots\ldots \quad (10)$$

   c. Perubahan konsentrasi CO_2 oleh laju respirasi produk

$$\frac{dz}{dt} = -\frac{WR_z}{V} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

Tabel 1. Koefisien permeabilitas kemasan

Jenis Film Kemasan	Tebal (mil)	10^o C		15^oC		20^oC		25^oC	
		O_2	CO_2	O_2	CO_2	O_2	CO_2	O_2	CO_2
LDPE *	0.99	-	-	-	-	-	-	1002	3600
PP *	0.61	265	364	294	430	-	-	229	656
StrecthFilm*	0.57	342	888	473	748	-	-	4143	6226
PVC**	1.57	-	-	-	-	97.2	550.59		
PS ***	-	-	-	-	-	-	-	365	900
ANMA***	-	-	-	-	-	-	-	0.5-0.8	1.6

* Hasil Penelitian Gunadnya (1993), satuan (ml.mil/m^2 jam.atm)

** PVC=Polyvinilchlorida (ml mil/m^2 jam atm), Domininghaus (1993)

*** PS = Polystyrene, satuan dalam (cc.mil/100 inc^2.day.atm), Brown (1992)

*** ANMA = Acrylonitrilemethylacrylatecopolimer, satuan (cc.mil/100 inc^2.day.atm), Modern Plastic Encylopedia (1990)

Tanda positif berarti bertambahnya konsentrasi CO_2 akibat hasil pernapasan produk.

Seperti pada perubahan konsentrasi O_2, perubahan konsentrasi CO_2 adalah penjumlahan ketiga persamaan tersebut sehingga persamaan menjadi:

$$K_f^* = \frac{A_f K_f}{E_f}$$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{(K_{f1}^* + K_{f2}^*)(z_a - z)}{V} - \frac{WR_z}{V} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

Dengan cara yang sama dengan pendugaan konsentrasi O_2 maka diperoleh persamaan sebagai berikut

$$z_s = z_a - \frac{WR_z}{K_{f1}^* + K_{f2}^*} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

$$z(t) = z_s + (z_a - z_s)\exp\left(-\frac{(K_{f1}^* + K_{f2}^*)t}{V}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (14)$$

dimana,

z(t) = konsentrasi CO_2 dalam kemasan sesaat

zs = konsentrasi CO_2 dalam kesetimbangan yang diduga

Laju respirasi sebagai masukan pada model persamaan, tidak berdasarkan dari fungsi suhu, tetapi menggunakan nilai yang telah ditetapkan pada beberapa kondisi suhu. Demikian juga koefisien permeabilitas film dan wadah tidak berdasarkan fungsi suhu, tetapi berdasarkan nilai yang telah ditetapkan pada suhu tertentu.

Model persamaan yang telah disusun dapat digunakan untuk menduga perubahan konsentrasi O_2 dan CO_2 pada setiap jenis pengemasan baik buah maupun sayuran dengan menggunakan wadah dan film kemasan.

Pendugaan Konsentrasi O_2 dan CO_2 Pada Pengemasan Wortel, Cabe Merah, dan Tomat

Pendugaan pada pengemasan wortel, digunakan tiga kemasan wadah yaitu *acrylic*, *polystyrene*, dan PVC. Hal ini dimaksudkan untuk melihat pengaruh penggunaan jenis kemasan yang berbeda. Disamping itu juga dilakukan pendugaan dengan luas kemasan film yang berbeda untuk masing-masing kemasan wadah. Sedangkan variabel berat, laju respirasi, dan tebal kemasan sama.

Dari pendugaan yang dilakukan (Gambar 3 dan 4), perubahan kosentrasi O_2 dan CO_2 ternyata berbeda antara jenis kemasan *acrylic*, *polystyrene* (PS), dan PVC. Perubahan O_2 pada pengemasan dengan wadah dari jenis *acrylic* cenderung lebih cepat turun daripada jenis kemasan *polystyrene* dan PVC. Hal ini disebabkan laju masuknya O_2 (perme-abilitas O_2) *acrylic* paling kecil, sehingga jumlah O_2 yang ada di dalam kemasan lebih cepat menurun akibat proses respirasi produk. Sebaliknya penurunan konsentrasi O_2 pada kemasan wadah dari jenis *polystyrene* agak lambat akibat permeabilitas kemasan wadah lebih besar sehingga jumlah O_2 di dalam kemasan banyak karena adanya infiltrasi O_2 dari luar kemasan.

Pendugaan konsentrasi O_2 dan CO_2 pada rancangan kemasan wortel (Gambar 5) relatif mendekati nilai percobaan walaupun ada beberapa perbedaan. Perbedaan yang terjadi dapat disebabkan oleh tidak semua permukaan wortel mengalami respirasi akibat adanya permukaan yang berhimpit. Parameter yang digunakan dalam pendugaan juga berpengaruh terhadap perbedaan ini terutama laju respirasi O_2 pada suhu 5^0C yang ternyata lebih tinggi daripada suhu yang lebih tinggi yaitu 10^0C. Penyimpanan pada suhu kamar membuat laju respirasi produk semakin besar yang ditunjukkan data percobaan dengan perubahan konsentrasi gas yang cukup cepat.

Pendugaan pada rancangan kemasan cabe merah (Gambar 6) ternyata mendekati nilai percobaan. Perbedaan yang terjadi disebabkan penggunaan parameter koefisien permeabilitas yang diasumsikan sama pada kondisi suhu tertentu akibat belum adanya data yang memadai. Selain itu, parameter laju respirasi pada suhu 5^0C ternyata lebih tinggi daripada suhu 10^0C.

Pendugaan pada rancangan kemasan tomat (Gambar 7) ternyata mendekati nilai percobaan yang dilakukan. Namun demikian terjadi juga beberapa perbedaan nilai pada waktu tertentu yang dapat disebabkan tidak konstannya laju respirasi produk pada saat percobaan .

Dari perhitungan yang dilakukan menunjukkan bahwa nilai pendugaan dapat menggambarkan nilai percobaan yang sesungguhnya. Hal ini ditunjukkan dari uji khi-kuadrat dimana nilai pendugaan diterima dalam beberapa taraf nyata. Kemudian dapat dilihat bahwa kemasan wadah berpengaruh terhadap komposisi gas di dalam kemasan. Pengaruh ini akan semakin besar manakala permeabilitas wadah yang digunakan cukup besar.

Tabel 2. Data percobaan Sonny (1997)

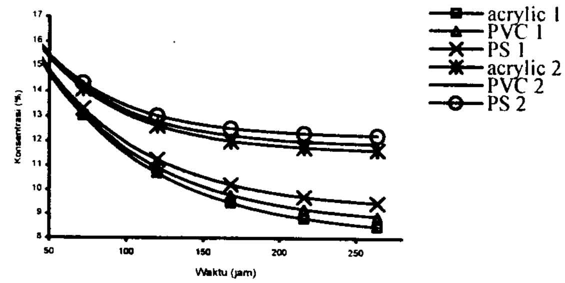
Luas (m^2)	Suhu (^0C)	Berat (kg)	Laju Respirasi		Vol bebas (ml)
			R O_2 (ml/kg jam)	R CO_2 (ml/kg jam)	
0.019	5	0.5	3.02		500
				2.98	
		0.75	3.02		650
				2.98	
	10	0.5	2.94		500
				2.48	
		0.75	2.94		650
				2.48	
0.026	5	0.5	3.02		850
				2.98	
		0.75	3.02		1150
				2.98	
	10	0.5	2.94		850
				2.48	
		0.75	2.94		1150
				2.48	

Tabel 3. Data percobaan Zulkarnain (1997)

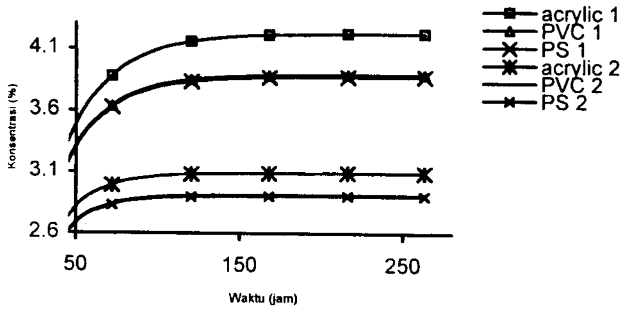
Luas (m^2)	Suhu (^0C)	Berat (kg)	Laju Respirasi		Kondisi Optimum (%)	Vol bebas (ml)
			R O_2 (ml/kg jam)	R CO_2 (ml/kg jam)		
0.0092	5	0.2	6.12	4.56	4-8	713.6
	10	0.2	4.97	4.64	4-8	713.6
		0.2	4.97	4.64	4-8	393.6
		0.2	4.97	4.64	4-8	473.6
0.0120	5	0.2	6.12	4.56	4-8	713.6
	10	0.2	4.97	4.64	4-8	713.6

Tabel 4. Data percobaan Rusmono(1989)

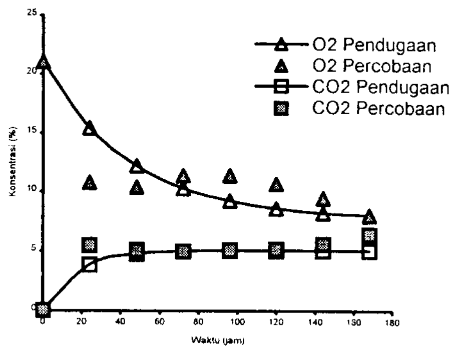
Luas (m^2)	Suhu (^0C)	Berat (kg)	Laju Respirasi		Vol bebas (ml)
			R O_2 (ml/kg jam)	R CO_2 (ml/kg jam)	
0.0358	15	0.523	5.209	5.413	404
0.0374	20	0.545	6.054	5.912	395



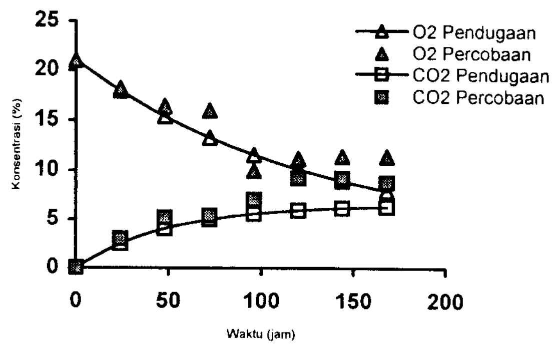
Gambar 3. Grafik pendugaan O_2 pada pengemasan Wortel dari beberapa jenis kemasan wadah dengan luasan *strecth film* 0.019 m^2 (1) dan *strecth film* 0.026 m^2 (2) pada suhu 10^0 C serta berat 0.5 kg.



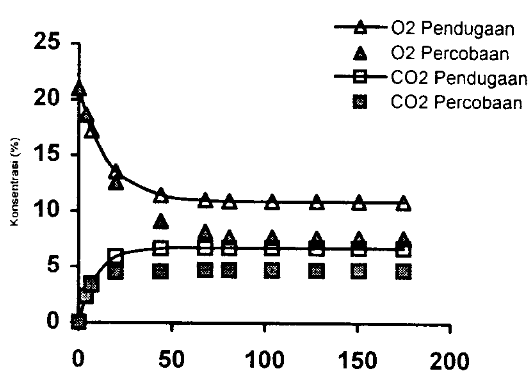
Gambar 4. Grafik pendugaan CO_2 pada pengemasan Wortel dari beberapa kemasan wadah dengan kondisi luasan strecth film 0.019 m^2 (1) dan strecth film 0.026 m^2 (2) pada suhu 10^0C serta berat 0.5 kg.



Gambar 5. Grafik pendugaan O_2 dan CO_2 pada pengemasan Wortel suhu 5^0C, berat 0.5 kg, luas strecth film 0.019 m^2, dengan wadah kaca, volume bebas 500 ml.



Gambar 6. Grafik pendugaan O_2 dan CO_2 pada pengemasan Cabe Merah suhu 10^0C, luasan strecth film 0.0092 m^2, dengan wadah *acrylic*, volume bebas 713.6 ml.



Gambar 7. Grafik pendugaan O_2 dan CO_2 pada pengemasan Tomat suhu 15^0C, luas strecth film 0.0358 m^2, dengan wadah *polystyrene* volume bebas 404 ml.

KESIMPULAN

Pendugaan yang dilakukan pada cabe merah, wortel, dan tomat dengan menggunakan beberapa jenis kemasan wadah yang dipakai yaitu antara lain *acrylic*, *polystyrene*, dan PVC terlihat bahwa perubahan konsentrasi O_2 dan CO_2 yang paling cepat adalah dengan menggunakan kemasan wadah *acrylic*. Hal ini disebabkan permeabilitasnya paling kecil bila dibandingkan dengan jenis kemasan wadah *polystyrene* dan PVC.

Model pendugaan yang disusun dapat digunakan untuk memprediksi perubahan konsentrasi O_2 dan CO_2 dalam kemasan dengan baik. Kemasan wadah berpengaruh terhadap komposisi gas di dalam kemasan, dimana pengaruh ini akan semakin membesar manakala permeabilitas wadah yang digunakan cukup besar.

NOTASI PERSAMAAN

y = konsentrasi O_2, (ml O_2/ml gas)
z = konsentrasi CO_2, (ml CO_2/ml gas)
A_{f1} = luas kemasan film (m^2)
K_{f1} = koefisien permeabilitas film (ml mil/m^2 jam)
Af_2 = luas kemasan wadah (m^2)
Kf_2 = koefisien permeabilitas wadah (ml mil/m^2 jam)
$y\alpha$ = konsentrasi O_2 diluar kemasan (ml O_2/ml gas)
$z\alpha$ = konsentrasi CO_2 diluar kemasan (ml CO_2/ml gas)
Ef_1 = ketebalan film kemasan (mil)
Ef_2 = ketebalan wadah (mil)
W = berat produk (kg)
Ry = laju pemakaian O_2 (ml/kg jam)
Rz = laju pemakaian CO_2 (ml/kg jam)
t = waktu (jam)
V = volume bebas (ml)

DAFTAR PUSTAKA

Brown, W. E. 1992. Plastic in Food Packaging Properties, Design, and Fabrication. Marcel Dekker, Inc. New York. USA.

Castro, J.M., M.A.Rao, J.H. Hotchkiss and D.L. Downing. 1994. Modified atmosphere packaging of head lettuce. J. Food Processing and Preservation. 4 (2) : 295-304.

Domininghaus, H. 1993. Plastics for Engineer Material, Properties, Application. Hans Publishers, Munich Vienna New York Barcelona,Germany.

Edmond, J.P., F. Castaigne, C.J. Toupin and D. Desilets. 1991. Mathematical modeling of gas exchange in modified atmosphere packaging. J. Food and Process Engineering. 34(1) : 239-245.

Fishman, S., V. Rodov, J. Peretz and S. Ben-yehoshua. 1995. Model for gas exchange dynamics in modified atmosphere package of fruit and vegetables. J. Food Science. 60 : 1078-1083.

Hayakawa, K., Yair S. Henig and Seymour G. Gilbert. 1975. Formulae for predicting gas exchange of fresh produce in polymeric film package. J. Food Science. 40 : 186-191.

Henig, Y.S. 1975. Computer analysis of the variables affecting respiration and quality of produce packaged in polymeric film. J. Food Science. 40 : 1033-1035.

Gunadnya, IBP. 1993. Pengkajian Penyimpanan Salak Segar

(*Sallaca edulis* Reinw). Thesis. Fakultas Pasca Sarjana, FATETA, IPB. Bogor.

Momon Rusmono. 1989. Simulasi Model Pendugaan Masa Simpan Tomat Segar Dalam Sistem Penyimpanan "Modified Atmosphere". Thesis. Fakultas Pasca Sarjana IPB. Bogor.

Modern Plastic Encyclopedia. 1991. Mc Graw-Hill. Inc USA. Mid October 1990 Vol : 67 number 11 : 592

Zulkarnain, M. 1997. Perancangan Kemasan Cabe Merah Untuk mencapai Kondisi Optimum Modified Atmosphere. Skripsi. Jurusan Teknik Pertanian, FATETA-IPB. Bogor.

Ryall, A.L and Werner J. Lipton. 1983. Handling, Transportation, and Storage of Fruits and Vegetables. AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut. USA.

Sonny, N.A. 1997. Perancangan Kemasan Wortel Untuk Mencapai Kondisi Umum Modified Atmosphere. Skripsi. Jurusan Teknik Pertanian, FATETA-IPB. Bogor.

Yang Yang, S., I.G.P Mahendrayana; I. Wayan Budiastra dan H.K. Purwadaria. 1986. Penyimpanan tomat (Lycopersicum esculentum mill) dengan *modified atmosphere*. Makalah Seminar Teknik Pertanian. Universitas Brawijaya Malang, 17-18 November 1986.

Talasila, P.C and A.C. Cameron. 1995. Modeling frequency distribution of steady state O_2 partial pressures in modified atmosphere packages. J. Food Process Engineering. 4 : 199-217.

Winarno, F.G dan M.A. Wirakartakusumah. 1981. Fisiologi Lepas Panen. Penerbit PT Sastra Hudaya, Jakarta.