

MODEL PERUBAHAN KOMPOSISI GAS CO₂ DAN O₂ BUAH SALAK PONDOH (*Salacca edulis*, Reinw) PADA PENGEMASAN PLASTIK POLIETILEN DALAM ATMOSFIR TERMODIFIKASI
*(The Model of Composition Exchange of CO₂ and O₂ for Salak Pondoh (*Salacca edulis*, Reinw) Fruit Packed with Polyethylene Plastic at Modified Atmosphere)*

Amin Rejo¹⁾, Budi Rahardjo²⁾, dan Tranggono²⁾

ABSTRACT

Storing fruit with high concentration of carbondioxyde and low concentration of oxygen could be utilized to retard respiration rate, moisture loss, fruit repening, enzyme activities and microbial growth. Mathematical models were developed for respiration of salak pondoh (*Salacca edulis* Reinw., cultivar pondoh), permeability of polyethylene plastic packaging and gas exchange in packaging. The apparatus used in the experiment was a packaging tube covered with 0.08 mm thick polyethylene plastic, in which the samples were contained. The packaging tube was flowed with modified atmosphere. Spectrophotometry and gas chromatography were used to assay the gas, and data obtained from model and from experiment were compared. The results showed that the models can predict the respiration rate

$$R_{CO_2} = 11.75 C_{CO_2}^{-0.08} C_{O_2}^{1.47} e^{-0.22(t)}$$

and

$$R_{O_2} = 16.946 C_{O_2}^{-0.485} O_2^{0.264} e^{-0.063(t)}$$

permeability of polyethylene plastic packaging

$$D_{CO_2} = 0.623 e^{-9.074(67.13/R - 1/T)}$$

and

$$D_{O_2} = 0.077 e^{-21.144(75.79/R - 1/T)}$$

and gas exchange in packaging ($C_{m+1} = C_m + \Delta C_n$).

Keywords: Model, Salak Pondoh, Modified atmosphere.

PENDAHULUAN

Salak pondoh (*Salacca edulis* Reinw., cultivar pondoh) merupakan salah satu hasil hortikultura asli Indonesia dan telah dirintis menjadi komoditi ekspor. Indonesia yang merupakan produsen salak dengan produksi tahun 1994 sebesar 292.241 ton meningkat sampai 1997 sebesar 525.461 ton dan menurun pada tahun 1998 sebesar 253.248 ton. Sampai saat ini belum banyak memperoleh keuntungan dari potensi tersebut untuk ekspor ke mancanegara walaupun ekspor buah segar indonesia selalu meningkat dari tahun ke tahun yaitu 1994 sebesar 48.894.892 ton dan meningkat sampai tahun 1998 sebesar 80.965.606 ton.

Padahal menurut Winarno (1995), bahwa permintaan buah tropis dunia dari tahun 1995-2015 diperkirakan akan meningkat 6,50 % per tahun. Sehingga dengan meningkatnya permintaan buah-buahan tropis di pasaran dunia secara langsung akan berpengaruh terhadap permintaan salak.

Sebenarnya prospek pengembangan budidaya salak secara komersial dan dikelola dalam skala agribisnis semakin cerah. Hal ini terbukti dari pemasaran salak yang bukan hanya dilakukan untuk pasar lokal saja tetapi juga pasaran luar negeri. Walaupun total produksi buah salak

di Indonesia sudah cukup tinggi namun mutunya masih rendah. Hal ini mengingat bahwa salak pondoh sebagaimana halnya produk biologis lainnya yang akan menyebabkan kualitas menurun cepat sehingga umur simpan salak menjadi pendek. Umur simpan buah akan sangat dipengaruhi oleh laju respirasi yang dapat dikendalikan antara lain dengan memanipulasi kandungan gas CO₂ atau O₂ dalam kemasan.. Untuk mendapatkan produk yang tetap baik dan dapat disimpan lama, diperlukan mengatur proses pernapasan dari produk. Untuk memperoleh hasil optimum dari pengemasan yakni memperpanjang umur simpan serta mempertahankan penampakan sayuran dan buah segar, jenis plastik harus betul-betul dipilih disesuaikan dengan karakteristik fisik dan karakteristik respirasinya.

LANDASAN TEORI

Laju respirasi dapat diukur dengan menentukan jumlah substrat yang hilang, O₂ yang diserap CO₂ yang dikeluarkan, panas yang dihasilkan dan energi yang timbul. Model matematik pengaruh konsentrasi gas CO₂, O₂ dan waktu dikembangkan dengan model matematik Yang dan Chinnan, (1988).

$$R_t = R_0 e^{-kt} \dots\dots\dots 1)$$

dimana:

- R_t = laju respirasi fungsi konsentrasi CO₂, O₂, t, T (mg/kg.jam)
- R₀ = (R₀ RO₂^{CO₂} RCO₂^{CO₂})
- k = konstanta
- t = waktu, jam
- T = suhu mutlak °K, 273.15 + °C

Suhu merupakan faktor lingkungan paling penting yang menentukan umur pasca panen buah segar karena pengaruhnya besar terhadap laju reaksi biologis seperti respirasi. Dalam batas kisaran suhu fisiologis, laju reaksi biologis meningkat dua sampai tiga kalinya untuk setiap peningkatan suhu 10 °C. Untuk menghitung fungsi suhu terhadap respirasi dapat dicari dengan menggunakan persamaan Exama, A. et al., (1993).

$$k_T = k_0 e^{-(E_a/RT)} \dots\dots\dots 2)$$

dimana:

- k_T = laju respirasi fungsi suhu, mg/kg.jam
- k₀ = laju respirasi awal fungsi suhu, mg/kg.jam
- E_a = aktivasi energi respirasi, kJ/mol
- R = tetapan gas, 8.314 Nm/mol °K

1) Staf Jurusan Teknologi Pertanian FP. UNSRI
 2) Staf Fakultas Teknologi Pertanian UGM

Kedua faktor k_0 dan E_a dikenal sebagai parameter Arrhenius. Plot dari $\log k_T$ terhadap $1/T$ adalah linier untuk sejumlah besar reaksi dan pada temperatur sedang. E_a (aktivasi energi) dapat dihitung dengan persamaan (3), sedangkan untuk menghitung k_0 dengan persamaan (4).

$$\ln k = k_0 e^{-E_a/RT} \dots\dots\dots 3)$$

$$k_0 = k_T/e^{-E_a/RT} \dots\dots\dots 4)$$

Perpindahan massa melalui lapisan membrane terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi gas atau tekanan uap bagian diantara kedua sisi permukaan membrane. Pertukaran massa gas melalui lapisan plastik secara mikroskopik mengikuti hukum Fick (Geankplis, 1983).

$$N_i = -D_i A dc/dx \dots\dots\dots 5)$$

dimana:

- N_i = laju perpindahan massa i, mg/kg.jam
- A = luas permukaan membrane, m^2
- D_i = diffusitas bahan i, m^2/jam

Perpindahan massa dalam kemasan merupakan perpindahan massa dari atmosfer dalam kemasan ke atmosfer udara luar atau sebaliknya. Hukum kekekalan massa menyatakan bahwa jumlah massa gas i selalu konstan atau jumlah massa tetap. Perubahan konsentrasi gas yang terdapat didalam kemasan dapat diprediksi dengan menggunakan rumus (6).

$$M_m + M_g = M_k + \Delta M \dots\dots\dots 6)$$

dimana:

- M_m = massa masuk kedalam kemasan, mol/m^3
- M_k = massa keluar kemasan, mol/m^3
- M_g = Massa tergenerasi, mol/m^3
- ΔM = massa terakumulasi, mol/m^3

Asumsi yang diberlakukan untuk menyederhanakan model adalah: perubahan kelembaban, produksi etilen, konsentrasi karbon lainnya diabaikan, dan tidak terjadi penyusutan volume dan berat.

METODE PENELITIAN

Percobaan ini dilakukan dengan mengikuti metode Deily dan resvi (1981). Buah salak pondoh diambil dari kebun petani di kecamatan Turi Sleman. Sebelum dimasukkan ke dalam kemasan ditimbang sebanyak 100 sampai 250 gram dan dibersihkan. Kemudian memasukan buah salak pondoh kedalam kemasan plastik polietilen yang berbentuk tabung dengan atmosfernya yang sudah dimodifikasi dengan volume 1000 ml, ketebalan plastik 0,8 mm dengan komposisi gas yaitu CO_2 0 %, 5 %, 10 % dan 15 % dan O_2 5%, 10 %, 15 % dan 20%. Kemasan disimpan pada berbagai ruang penyimpanan dengan suhu 10 °C, 15 °C, 20 °C dan suhu kamar. Untuk model respirasi setiap 3 hari sekali dilakukan injeksi gas kedalam kemasan, sedangkan model permeabilitas dan pertukaran gas tidak dilakukan. Setiap 3 hari satu kali selama 4 minggu penyimpanan diambil sampel gasnya dan dianalisa dengan alat Spektrofotometer dan kromatografi gas. Untuk menyatakan apakah model dapat diandalkan maka dilakukan uji validitas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh CO_2 dan O_2 terhadap Laju Respirasi

Dari hasil pengamatan penyimpanan dengan berbagai konsentrasi yang disimpan pada suhu 20 °C akan menunjukkan penurunan. Dengan konsentrasi 0% CO_2 dan 20% O_2 umur simpan buah salak pada suhu 20 °C hanya dapat disimpan selama 18 hari. Sedangkan konsentrasi lainnya dapat disimpan sampai hari ke 30. Berdasarkan persamaan (1) analisis pengaruh konsentrasi CO_2 , O_2 dan waktu terhadap respirasi akan didapatkan suatu model persamaan (7) dan (8).

$$R_{CO_2} = 11.75 C_{CO_2}^{-0.08} C_{O_2}^{1.47} e^{-0.22(t)} \dots\dots\dots 7)$$

$$R_{O_2} = 16.946 C_{CO_2}^{-0.485} C_{O_2}^{0.264} e^{-0.063(t)} \dots\dots\dots 8)$$

Pada konsentrasi gas dalam kemasan 0% CO_2 dan 5% O_2 pada suhu 10 °C diawal penyimpanan relatif tinggi, sedangkan akhir penyimpanan hari ke 30 sudah rendah sekali. Hasil prediksi dapat dihitung dengan menggunakan model persamaan (7) dan (8), hubungan antara hasil prediksi dengan observasi dikatakan erat dengan koefisien determinasi mencapai 0.90. Hasil perhitungan pengaruh suhu penyimpanan terhadap laju respirasi (k) pada penyimpanan buah salak seperti pada Tabel 1.

Table 1. Respiration Rate at Storage Temperatur

Temperature Storage (°C)	Respiration Rate			
	CO_2		O_2	
	Observed	Predicted	Observed	Predicted
10	0.008	0.048	0.013	0.007
15	0.019	0.130	0.015	0.049
20	0.229	0.220	0.063	0.077
26.7	0.313	0.290	0.113	0.100

Dari hasil analisis dengan persamaan (2) pengaruh suhu terhadap respirasi akan didapatkan model persamaan (9) dan (10) untuk CO_2 dan O_2

$$k_{CO_2} = 1.632 e^{-5384(44.74/R 1/T)} \dots\dots\dots 9)$$

$$k_{O_2} = 1.137 e^{-1699(14.12/R 1/T)} \dots\dots\dots 10)$$

Persamaan (9) dan (10) menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu penyimpanan akan semakin tinggi respirasi yang terjadi, dan berarti umur simpan buah salak makin pendek. Hal ini dikarenakan suhu merupakan faktor lingkungan yang paling penting dan akan menentukan umur pasca panen sayuran dan buahan karena berpengaruh terhadap laju reaksi biologi. Dalam batasan kisaran suhu fisiologis, laju reaksi biologis meningkat dua sampai tiga kalinya untuk setiap peningkatan suhu 10 °C (Van't Hoff). Hubungan antara hasil perhitungan dengan model menunjukkan hubungan yang erat karena dapat menghasilkan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.93 dan 0.85. k_0 dan aktivasi energi (E_a) CO_2 dan O_2 seperti pada Tabel 2.

Table 2. Value of k_0 and E_a

Gas	k_0	E_a (kJ/mol)
CO_2	1.632	44.762
O_2	1.137	14.128

Activasi energi (Ear) akan sangat tergantung dari jenis komoditi seperti pada Apel, Lemon, dan Jeruk masing-masing mempunyai activasi energi 65.7 kJ/mol, 63.6 kJ/mol, dan 72.8 kJ/mol (Ryall and Pentzer, 1974). Pengaruh utama suhu pada membran sel buahan adalah pada fluiditas lipid membran. Lipid membran yang dalam kondisi cair pada suhu tinggi berubah menjadi seperti gel dan immobil dibawah suhu kritis. Hal ini mempengaruhi sifat membran terutama aktivitas enzim yang berkaitan dengan membran serta berperan dalam menghasilkan energi dan sintesis protein.

Pengaruh suhu terhadap permeabilitas

Pengaruh suhu penyimpanan terhadap permeabilitas gas CO₂ dan O₂ pada penyimpanan buah salak seperti pada Tabel 3.

Table 3. Respiration Rate Gas Permeability at Some Storage Temperatur

Temperature Storage (°C)	Permeability			
	CO ₂		O ₂	
	Observed	Predicted	Observed	Predicted
10	0.280	0.251	0.011	0.009
15	0.285	0.340	0.016	0.018
20	0.368	0.396	0.020	0.397
26.7	0.450	0.445	0.028	0.034

Suhu penyimpanan berpengaruh terhadap permeabilitas gas CO₂ dan O₂ pada kemasan plastik. Dengan berubahnya suhu penyimpanan maka akan terjadi perubahan permeabilitas. Berdasarkan analisis pengaruh suhu terhadap permeabilitas gas melewati plastik dengan menggunakan persamaan (5) didapatkan model persamaan (11) dan (12)

$$D_{CO_2} = 0.623 e^{-9.074 (67.13/R - 1/T)} \dots\dots\dots 11)$$

$$D_{O_2} = 0.077 e^{-21.144 (75.79/R - 1/T)} \dots\dots\dots 12)$$

Hasil prediksi CO₂ dan O₂ pada Tabel 3 didapatkan dengan menggunakan persamaan (11) dan (12), yaitu 1/T sebagai variabel bebasnya dan ln Di sebagai variabel terikatnya. Hubungan antara hasil prediksi dan observasi dapat dikatakan erat dengan koefisien determinasi (R²) sebesar 0.93 dan 0.94.

Table 4. Initial Permeability (D₀) dan Ead of CO₂ and O₂

Gas	D ₀ (mol m/m ² .kpa.det)	Ead (kJ/mol)
CO ₂	0.623	67.133
O ₂	0.077	75.797

Hubunga antara data permeabilitas prediksi dengan observasi dapat dikatakan sangat erat sekali karena menghasilkan koefisien determinasi (R²) sebesar 0.93 dan 0.94. Hal ini terjadi karena permeabilitas gas melalui membrane akan makin cepat dengan kenaikan suhu sesuai dengan persamaan Arrhenius. Dari persamaan Arrhenius tampak bahwa permeabilitas akan makin besar dengan naiknya suhu. Namun kenaikan suhu juga akan mempercepat aktifitas enzim, respirasi dan lainnya. Dilihat dari persamaan laju perembesan massa nampak bahwa semakin besar driving force akan semakin cepat

laju perpindahannya. Berarti makin besar perbedaan konsentrasi atau tekanan makin besar laju perpindahan massanya. Sedangkan jenis kemasan plastik berpengaruh terhadap aktivasi energi plastik (Ead) pada kemasan plastik. Selama penyimpanan dengan berubahnya suhu penyimpanan maka akan terjadi perubahan energi Ead. Menurut Bixler and Sweeting (1971) melaporkan hasil penelitian terhadap polyethylene-low density (0.922 g/ml), polyethylene-high density (0.964 g/ml), masing-masing menghasilkan activasi energi CO₂ 43.1 kJ/mol, 34,3 kJ/mol. Hal ini pada suhu rendah tekanan parsial gas rendah dan juga aktivasi biologinya rendah sedangkan pada suhu tinggi akan terjadi sebaliknya. Menurut Rahardjo, B., (1993) dari persamaan Arrhenius juga nampak bahwa untuk kenaikan suhu yang sama, kenaikan keaktifan juga ditentukan oleh activasi energi (Ead). Makin besar Ead akan makin lambat perubahan permeabilitas yang disebabkan karena suhu.

Perubahan Gas didalam Kemasan

Perubahan konsentrasi gas dalam kemasan dari hasil pengamatan seperti pada Gambar 1, 2, 3 dan 4.

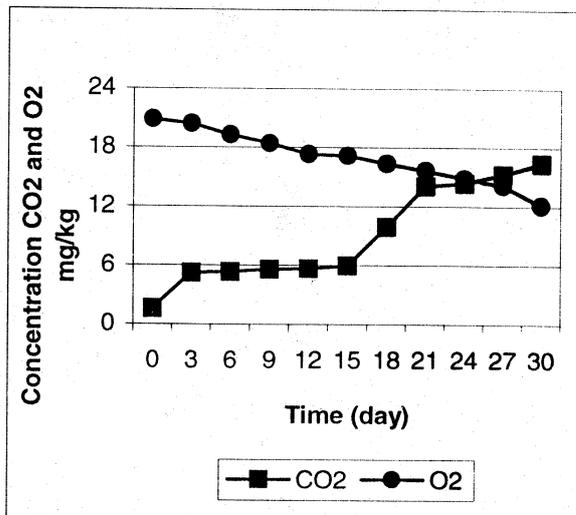


Fig 1. Concentration exchange of CO₂ and O₂ ad 10°C.

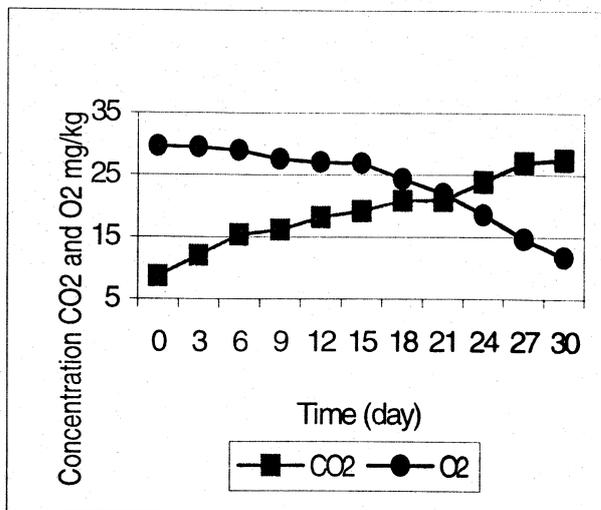


Fig 2. Concentration exchange of CO₂ and O₂ ad 15 °C.

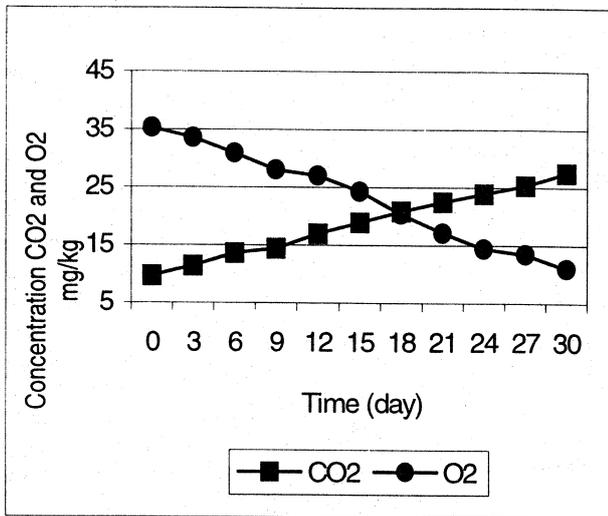


Fig 3. Concentration exchange of CO₂ and O₂ and 20 °C.

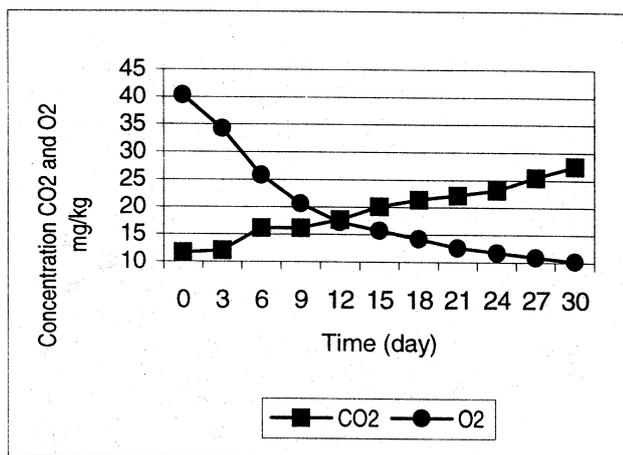


Fig 4. Concentration exchange of CO₂ and O₂ and 26.7 °C.

Pengaruh lama penyimpanan terhadap konsentrasi CO₂ dan O₂ Menunjukkan semakin lama penyimpanan akan meningkatkan konsentrasi CO₂ dalam kemasan, namun semakin menurun konsentrasi O₂ dalam kemasan. Hal ini terjadi karena pada komoditas yang disimpan dalam ruang yang atmosfernya dikendalikan selalu terjadi akumulasi CO₂ yang dibebaskan oleh proses respirasi buah salak. Keadaan ini dapat dipertahankan pada tingkat kandungan tertentu atau dihilangkan dengan jalan mengabsorpsi dengan bahan yang menyebabkan O₂ turun. Berubahnya susunan udara dalam ruang penyimpanan akan mendorong kepada keadaan tidak seimbang karena metabolisme yang abnormal. Suhu penyimpanan buah salak berpengaruh terhadap konsentrasi gas CO₂ dan O₂ pada kemasan plastik. Hasil penyimpanan salak dengan konsentrasi 10% CO₂ dan 10% O₂ pada suhu 10 °C umur simpan lebih tinggi dari suhu 15 °C dan 20 °C dan demikian juga pada suhu 20 °C lebih tinggi dari suhu kamar (26.7 °C). Semakin tinggi suhu penyimpanan semakin tinggi produk CO₂ yang terjadi, namun karena terjadi perbedaan konsentrasi yang ada dalam kemasan dan diluar kemasan maka semakin tinggi tekanan parsial gas tersebut, ini akan mengakibatkan terjadinya perpindahan gas dari konsentrasinya tinggi ke rendah. Sedangkan

konsentrasi CO₂ dalam kemasan lebih tinggi dari yang diluar kemasan, sehingga akan terdiffusi ke udara luar.

Hasil prediksi didapatkan dengan menggunakan persamaan (6), dan hubungan kedua hasil prediksi dan observasi dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6. Hubungan kedua hasil tersebut dikatakan erat karena menghasilkan koefisien determinasi (R²) sebesar 0.96 dan untuk O₂ sebesar 0.93.

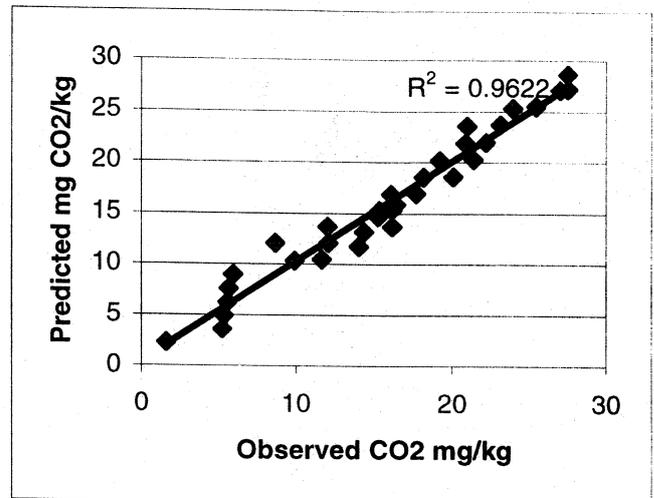


Fig 5. Relationship between observed and predicted CO₂ at some storage temperature

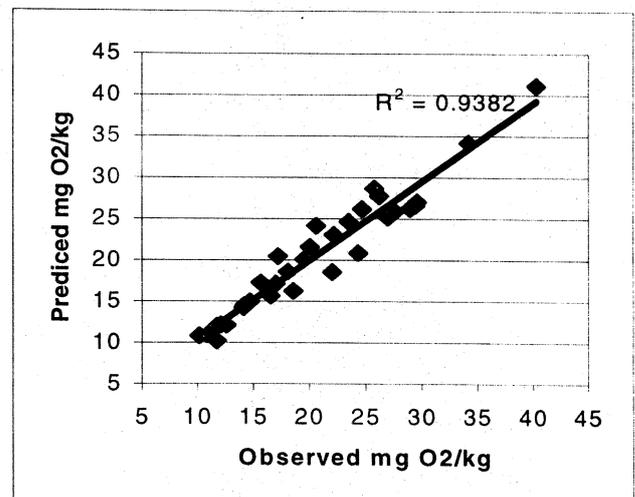


Fig 6. Relationship between observed and predicted O₂ at some storage temperature

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi gas, waktu dan suhu dalam penyimpanan sangat mempengaruhi laju respirasi, permeabilitas gas yang melewati kemasan, dan perubahan konsentrasi gas dalam kemasan. Model respirasi didapatkan $R_{CO_2} = 11.75 C_{CO_2}^{-0.08} C_{O_2}^{1.47} e^{-0.22 (t)}$ dan $R_{O_2} = 16.946 C_{CO_2}^{-0.485} O_2^{0.264} e^{-0.063 (t)}$, Permeabilitas $D_{CO_2} = 0.623 e^{-9.074 (67.13/R - 1/T)}$ dan $D_{O_2} = 0.077 e^{-21.144(75.79/R - 1/T)}$ sedangkan perubahan komposisi gas $C_{in+1} = C_{in} + \Delta C_n$.

DAFTAR PUSTAKA

- Bixler, H.J. and Sweeting, O.J. 1971. Barrier Properties of Polymer films in Science and Technology of Polymer films Interscience, New York.
- Deily, K.R., dan S.S.H. Risvi. 1981. Optimaization of parameters for Packaging of Frispeachesin Polymeric Films. J.Food. Process Eng.
- Exama, A., Arul, J., Lencki, R.W., Lee, L.Z., and Toupin, C.D. 1993. Suitability of Plastic Films for Modified Atmosphere Packaging Fruits and Vegetables. Journal of Food Sciene. Vol. 58, No 6.
- Rahardjo, B. 1993. Kemasan dan Umur Simpan. Bahan Kuliah Singkat. Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi, UGM.
- Rahardjo, B dan Rejo, A. 1994. Simulasi Model Pengemasan Buah Tomat dalam Atmosfir Termodifikasi dengan Plastik Lembaran. Simposium Nasional Hortikultura di UNIBRAW.
- Yang, C.C, and M.S. Chinnan. 1988. Modeling the Effec of CO₂ and O₂ on Respiration and Quality of Stored Tomatoes Transactions of the ASAE.
- Winarno, F.G. 1995. Strategi Pengembangan Produksi Buah-buahan untuk Pasar Domestik. Seminar Nasional Pengembangan Buah-buahan dalam Rangka Hari Pangan Sedunia. Jakarta.