

MODEL RESPIRASI BUAH SALAK PONDOH (*Salacca zalacca* cv. Pondoh) YANG DISIMPAN DALAM ATMOSFIR TERMODIFIKASI BERDASARAN KINETIKA ENZIM

(THE RESPIRATION MODELLING OF SALACCA (*Salacca zalacca* cv. Pondoh) FRUIT STORED IN THE MODIFIED ATMOSPHERE BASED ON ENZYME KINETICS)

Rofandi Hartanto¹, Suprodjo², Budi Rahardjo², Tranggono²,

ABSTRACT

The salacca (*Salacca zalacca* cv. Pondoh) fruits were stored in various modified atmosphere conditions in the impermeable cuvettes with the variation of oxygen concentration of 2, 4, 6 and 8%, carbon dioxide concentration of 1, 2, 3 and 4% and nitrogen concentration as the rest. The variation of temperature was 12, 20 and 24 C. Gases within each cuvette were replaced daily. The respiration rate of the fruit was modeled based on the enzyme kinetic theory.

The result showed that the respiration model follows the Michaelis-Menten enzyme kinetic, with CO₂ as the uncompetitive inhibitor. The model was fit to predict the respiration rate of the fruit.

Key words: modeling, modified atmosphere storage, respiration.

A. PENDAHULUAN

Buah-buahan adalah massa hayati yang masih melanjutkan proses metabolisme hingga kurun waktu tertentu. Proses metabolisme yang berlangsung pada massa hayati ini penting, mengingat nilai ekonomi komoditas tersebut, terutama dalam bentuk segarnya, amat bergantung pada pengendalian proses ini. Kader (1985) menyatakan bahwa perubahan-perubahan yang terjadi pada periode pasca panen pada produk segar ini tidak dapat dihentikan, tetapi dapat diperlambat dalam batas-batas tertentu.

Buah salak Pondoh (*Salacca zalacca* cv. Pondoh) adalah salah satu di antara komoditas khas Indonesia yang mempunyai prospek cukup baik. Buah ini memiliki keistimewaan, yang tidak dimiliki varietas lain, yaitu rasanya manis ketika masih muda. Kelemahannya adalah buah yang disimpan pada suhu kamar akan mulai rusak pada hari ke-14 (Tranggono dkk., 1992). Diperlukan upaya-upaya penanganan pasca panen yang tepat agar diperoleh masa simpan yang lebih lama, sehingga jangkauan pemasarannya menjadi lebih luas.

Penyimpanan di dalam atmosfer termodifikasi pada dasarnya adalah menghambat laju oksidasi biologis (respirasi). Respirasi sangat penting untuk pemeliharaan susunan selular dan integritas membran (Tranggono, 1992; Pantastico dkk., 1975). Penyimpanan dengan atmosfer termodifikasi adalah memanipulasi atmosfer mikro seperti konsentrasi O₂ dan CO₂, dan suhu, untuk mengendalikan respirasi. Atmosfer mikro ini dapat menunda pematangan,

pelunakan, peranan etilen bagi pematangan, dan proses perubahan warna pada buah (Pantastico dkk., 1975; Tranggono, 1992; Yang dan Chinnan, 1987).

Pengaruh konsentrasi O₂, CO₂ dan waktu terhadap laju respirasi telah dimodelkan oleh Yang dan Chinnan (1988) sebagai model empirik orde dua. Cameron dkk. (1989) telah menyusun model konsentrasi O₂ buah tomat dalam pengemasan atmosfer termodifikasi, dengan menyatakan laju respirasi sebagai fungsi konsentrasi O₂ dan waktu. Lee dkk. (1991) menyusun model laju respirasi sebagai fungsi konsentrasi O₂, maupun sebagai fungsi konsentrasi O₂ dan CO₂ yang berdasarkan teori kinetika enzim.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menyusun model respirasi buah salak Pondoh yang disimpan dalam atmosfer termodifikasi berdasarkan teori kinetika enzim.

Teori

Michaelis dan Menten *cit.* Lee dkk. (1991) mengembangkan teori kinetika reaksi dengan melihat pengaruh substrat terhadap laju reaksi yang melibatkan enzim, sebagai berikut:

$$\frac{d[B]}{dt} = \frac{V_{\max} \cdot [B]}{K_m + [B]} \quad (1)$$

dengan V_{\max} menyatakan ketersediaan maksimum dari sisi reaktan untuk suatu reaksi, atau laju reaksi maksimum dan K_m menyatakan tetapan Michaelis.

Besarnya laju respirasi yang dinyatakan dengan konsumsi O₂ adalah:

$$\frac{d[O_2]}{dt} = \frac{V_{\max} \cdot [O_2]}{K_m + [O_2]} \quad (2)$$

Dengan adanya CO₂ sebagai inhibitor *uncompetitive* maka persamaan (2) menjadi:

$$v_{[O_2][CO_2]} = \frac{V_{\max} \cdot [O_2]}{K_m + \left(1 + \frac{[CO_2]}{K_{CO_2}}\right) [O_2]} \quad (3)$$

Persamaan (2) dan (3) digunakan untuk memodelkan laju respirasi buah salak Pondoh yang disimpan di dalam atmosfer termodifikasi.

¹ Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung, Lampung.

² Guru Besar Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

B. BAHAN DAN METODE

a. Sampel

Sebagai sampel adalah buah salak Pondoh (*Salacca zalacca* cv. Pondoh) matang, diperoleh dari kebun salak dari Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Sebelum disimpan dalam atmosfer termodifikasi, buah dibersihkan dari kotoran yang mungkin ada, dan diangin-anginkan untuk menghilangkan panas lapang.

b. Bahan dan Alat

Gas O₂, CO₂ dan N₂ diperoleh dari perusahaan PT. Aneka Gas Cabang Yogyakarta. Kuvet dengan volume 3300 ml digunakan untuk menyimpan dalam atmosfer termodifikasi. Kulkas pendingin digunakan untuk perlakuan suhu 12 dan 20 °C. Ruang AC digunakan untuk perlakuan suhu 24 °C. Oxygen analyzer "Uras" digunakan untuk analisa gas O₂ dan CO₂.

c. Cara Penelitian

Sebanyak 10 butir sampel yang seragam dimasukkan ke dalam kuvet. Sebelum disimpan, sampel dicelup dalam larutan benlate untuk menghindari serangan jamur. Setelah kuvet ditutup rapat, udara di dalamnya diambil dengan cara dihisap dengan pompa hisap. Kemudian diisi dengan gas N₂. Diambil N₂ sejumlah CO₂ + O₂ yang akan diisikan dengan menggunakan spet. Dimasukkan berturut-turut gas O₂ dan CO₂ (Tabel 1).

Komposisi udara penyimpan dikembalikan pada kondisi semula setiap hari. Pada setiap tiga jam sekali pada hari pertama, selanjutnya setiap dua hari sekali diambil sampel gas. Perubahan konsentrasi gas O₂ dan CO₂ diukur

dengan "Uras" Oxygen Analyzer dari sampel gas yang diambil.

Table 1 Gas compositions to store the samples and temperature treatments.

No.	CO ₂ :O ₂ :N ₂	Temp. (C)
1	1:2:97	12
2	1:4:95	12
3	1:6:93	12
4	1:8:91	20
5	2:2:96	12
6	2:4:94	12
7	2:6:92	12
8	2:8:90	20
9	3:2:95	12
10	3:2:95	10
11	3:2:95	24
12	3:4:93	12
13	3:6:91	12
14	3:8:89	20
15	4:2:94	24
16	4:4:92	24
17	4:6:90	24
18	4:8:88	20
19	0:21:79	24

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai konstanta model dari masing-masing perlakuan penyimpanan dalam atmosfer termodifikasi disajikan dalam Tabel 2. Grafik obsevasi dan prediksi laju respirasi buah salak Podoh yang disimpan dalam atmosfer termodifikasi disajikan dalam Gambar 1.

Table 2. Constant value of V_{max} , K_m , K_I and R^2 of *salak Pondoh* fruit stored in each modified atmosphere condition.

No	C/O/N	T	V_{max}	K_m	K_I	R^2
1	1/2/97	12	36.9	90.5	208.45	0.987
2	1/4/95	12	34.72	84.71	261.82	0.999
3	1/6/93	12	54.95	126.65	182.02	0.993
4	1/8/91	20	80.65	220.87	206.67	0.996
5	2/2/96	12	57.14	160.27	175.01	0.989
6	2/4/94	12	59.52	198.43	240.22	0.999
7	2/6/92	12	79.37	206.69	180.31	0.998
8	2/8/90	20	81.97	296.7	244.44	0.995
9	3/2/95	12	74.07	56.5	84.38	0.999
10	3/2/95	20	70.42	258.35	284.02	0.987
11	3/2/95	24	128.21	215.35	77.78	0.996
12	3/4/93	12	72.46	195.19	172.5	0.999
13	3/6/91	12	81.3	240.36	205.02	0.996
14	3/8/89	20	119.05	412.83	280.03	0.991
15	4/2/94	24	64.94	161.97	275.41	0.989
16	4/4/92	24	121.95	532.38	410.56	0.99
17	4/6/90	24	232.56	1285.8	165.38	0.998
18	4/8/88	24	217.39	684.8	94.29	0.982
19	0/21/79	24	500.32	133.7	28.57	0.995

Perlakuan penyimpanan buah salak Pondoh dengan atmosfer termodifikasi dengan komposisi konsentrasi O₂ 2-8 % v/v, konsentrasi CO₂ 1-4% v/v dan suhu 12, 20 dan 24 °C dapat mengendalikan respirasi dengan laju yang bervariasi.

Persamaan kinetika enzim Michaelis-Menten dapat digunakan untuk menyatakan laju respirasi buah salak Pondoh, dengan O₂ sebagai substrat terbatas, dan CO₂ sebagai inhibitor uncompetitive, mengikuti persamaan (3) di atas.

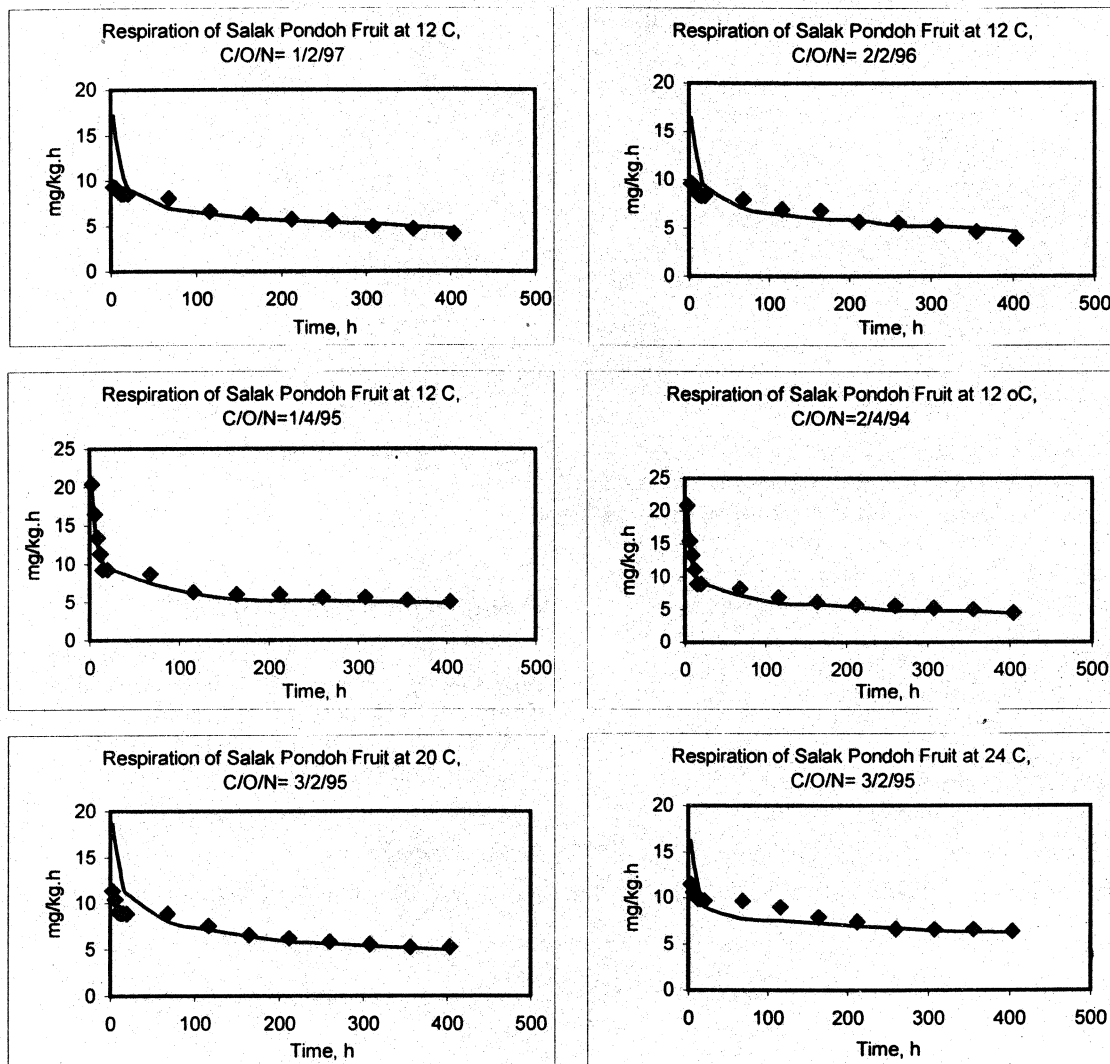


Fig. 1. Respiration rate of *salak Pondoh* fruit (♦:observed, —: predicted) during storage in the modified atmosphere.

Kinetika enzim Michaelis-Menten yang digunakan untuk menyatakan pengaruh konsentrasi gas-gas terhadap respirasi, sesungguhnya menggambarkan proses yang berlangsung di dalam organel-organel sel. Untuk buah segar, proses tersebut selanjutnya terjadi antara sel-sel pada organ dengan atmosfer sekeliling produk. Pengaruh substrat terbatas (O₂) bersama-sama inhibisi uncompetitive (CO₂) seperti dinyatakan dalam persamaan (4). Menurut Chevillotte (1973), dalam hal reaksi tersebut bisa dianggap sebagai representasi enzim tunggal, penggunaan tipe Michaelis-Menten dapat digunakan. Dalam penelitian ini asumsi reaksi menyeluruh dengan representasi persamaan (3) dapat digunakan dengan baik, lebih lanjut dapat dikonfirmasi dari nilai koefisien determinasi (R²) yang nilainya 0,99 untuk seluruh perlakuan.

Kedekatan nilai observasi dan prediksi menunjukkan bahwa penggunaan kinetika enzim Michaelis-Menten untuk memodelkan konsumsi O₂ pada produk segar dapat digunakan dengan baik. Pada penggunaan konsentrasi O₂ 4, 6 dan 8% nampak bahwa nilai prediksi sangat dekat dengan nilai observasi. Tetapi pada penggunaan konsentrasi O₂ 2% nilai awal reaksi hampir keseluruhannya tidak tepat--nilai observasi di bawah nilai prediksi. Hal ini mungkin disebabkan ketersediaan substrat yang sudah sangat sedikit sehingga mempengaruhi laju respirasi sejak awal buah dikenai perlakuan.

Nilai V_{max} meningkat dengan meningkatnya suhu. V_{max} terbesar pada perlakuan suhu 24 °C, meskipun pada perlakuan 4/2/92 lebih kecil di banding pada perlakuan 20 °C pada berbagai komposisi gas. Nilai V_{max} paling kecil adalah pada semua perlakuan suhu 12 oC. V_{max} yang

menyatakan laju reaksi maksimum adalah sesuai dengan pengaruh suhu pada umumnya, yaitu bahwa kenaikan suhu akan mempercepat reaksi.

Nilai K_m bervariasi, tetapi dapat dinyatakan bahwa pada setiap kenaikan konsentrasi O_2 akan diikuti dengan kenaikan nilai K_m . Nilai K_m terendah adalah pada perlakuan 3/2/95 pada suhu 12 °C yaitu 56.5, sedangkan tertinggi pada perlakuan 4/8/88 suhu 24 °C, yaitu sebesar 684.8. Nilai K_i bervariasi pada berbagai konsentrasi CO_2 yang digunakan. Pada kontrol, nilai K_i adalah paling rendah, mungkin berarti bahwa hampir tidak ada penghambatan CO_2 karena CO_2 0%.

D. KESIMPULAN

Respirasi buah salak Pondoh yang disimpan pada berbagai kondisi atmosfer termodifikasi dengan komposisi O_2 2, 4, 6 dan 8%, CO_2 1, 2, 3 dan 4% dan sisanya N_2 dengan suhu penyimpanan 12, 20 dan 24 °C mengikuti model kinetika enzim Michaelis-Menten, dengan CO_2 sebagai inhibitor *uncompetitive*.

DAFTAR PUSTAKA

- Cameron, A. C., W. Boylan-Pett and J. Lee. 1989. Design of Modified Atmosphere Packaging Systems: Modeling Oxygen Concentration Within Sealed Packages of Tomato Fruits. *J of Food Sci.* Vol. 54(6): 1413-1416, 1421.
- Cheviolette, P. 1973. Relation between the reaction cytochrome-oxidase-oxygen and oxygen uptake in cells in vivo. *J. Theor. Biol.*, 39:277-295.
- Emond, J. P., F. Castaigne, C. J. Toupin and D. Desilets. 1991. Mathematical Modeling of Gas Exchange in Modified Atmosphere Packaging. *Trans. of The ASAE.* Vol. 34(1): 239-245.
- Kader, A.A. 1985. Modified Atmosphere and Low Pressure Systems During Transport and Storage. *Postharvest Technology of Horticultural Crops.* Pp. 58-64. The Regent of The University of California, Division of Agriculture and Natural Resources.
- Lee, D. S., P. E. Haggar, J. Lee and K. L. Yan. 1991. Model for Fresh Produce Respiration in Modified Atmosphere Based on Principles of Enzyme Kinetics. *J. Food Sci.* Vol. 56(6): 1580-1585.
- Pantastico, Er. B. (ed). 1975. *Postharvest Physiology: Handling and Utilization of Tropical and Sub-Tropical Fruits and Vegetables.* The AVI, Connecticut.
- Rahardjo, B. dan A. Redjo. 1994. Simulasi Model Pengemasan Buah Tomat Dalam Atmosfir Termodifikasi Dengan Plastik Lembaran. *Makalah Simposium Nasional Hortikultura.* Malang.
- Redjo, A. 1996. *Model Pertukaran Gas CO_2 dan O_2 Buah Salak Pondoh Pada Pengemasan Plastik Polyethylene Dalam Atmosfir Termodifikasi.* Tesis Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Talasila. 1995. Modified Atmosphere Packaging Under Varying Surrounding Temperature. *Trans. of The ASAE* Vol. 38(3): 869-876.
- Tranggono, Suhardi dan Umar Santoso. 1992. *Memperpanjang Umur Simpan Buah Salak Pondoh dengan Penyimpanan dalam Atmosfir Termodifikasi.* Laporan Penelitian (tidak dipublikasikan). PAU Pangan dan Gizi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Yang, C. C. and M. S. Chinnan. 1988. Modeling The Effect of O_2 and CO_2 on Respiration and Quality of Storage Tomatoes. *Trans. of The ASAE* Vol. 31(3): 920-925.
- Yang, C. C. and M. S. Chinnan. 1987. Modeling of Color Development of Tomatoes In Modified Atmosphere Storage. *Trans. Of The ASAE.* Vol. 30(2): 548-553.

ARTI SIMBOL DAN LAMBANG

- B = molekul, senyawa t = waktu
 CO_2 = karbon dioksida V_{max} = laju reaksi maksimum
 K_m = tetapan Michaelis $[]$ = konsentrasi
 K_i = tetapan Michaelis untuk inhibitor
 O_2 = oksigen