

**TEKNIK PENGUKURAN LAJU RESPIRASI PRODUK  
HORTIKULTURA PADA KONDISI AMOSFIR TERKENDALI  
Bagian I: Metode Sistem Tertutup**

*(Respiration rate measurement of horticultural product under controlled  
atmospheric condition)  
Part I: Closed System Method*

Rokhani Hasbullah<sup>1</sup>

**ABTRACT**

Data laju respirasi pada berbagai komposisi gas sangat diperlukan dalam perancangan penyimpanan segar hortikultura baik sistem penyimpanan secara *modified atmosphere* (MA) maupun *controlled atmosphere* (CA). Makalah ini membahas teknik pengukuran laju respirasi pada kondisi atmosfer terkendali menggunakan metode sistem tertutup (*closed system*) untuk mendapatkan data laju respirasi pada berbagai komposisi gas ( $O_2$  dan  $CO_2$ ). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa laju respirasi pada mangga dipengaruhi oleh komposisi gas, dimana laju respirasi meningkat dengan meningkatnya konsentrasi  $O_2$  dan menurunnya konsentrasi  $CO_2$ . Model matematika berdasarkan prinsip reaksi enzimatik cukup baik untuk memformulasikan laju respirasi sebagai fungsi dari konsentrasi  $O_2$  dan  $CO_2$ .

Diterima: 10 Nopember 2007; Disetujui: 6 Desember 2007

**PENDAHULUAN**

Buah-buahan/sayuran akan mudah rusak setelah dipanen, hal ini disebabkan karena buah-buahan/sayuran masih melakukan kegiatan metabolik setelah pemanenan. Salah satu proses metabolik yang terjadi adalah respirasi. Semakin tinggi laju respirasi, biasanya semakin pendek umur simpan hasil pertanian. Laju respirasi dipengaruhi oleh banyak faktor baik faktor internal maupun faktor eksternal. Faktor internal yaitu umur panen, ukuran buah, pelapis alami, jenis jaringan. Sedangkan faktor eksternal meliputi suhu, etilen, komposisi gas ( $O_2$

dan  $CO_2$ ), luka atau kerusakan mekanis pada buah/sayuran.

Penanganan pascapanen pada dasarnya ditujukan untuk menekan kerusakan dan memperpanjang masa simpan produk selama penyimpanan/transportasi. Cara penyimpanan hortikultura segar dianggap berhasil apabila mampu mengurangi laju proses pematangan dan sekaligus mencegah terjadinya pembusukan dan penyimpangan lainnya, sehingga kesegaran dapat dipertahankan pada tingkat yang dapat diterima oleh konsumen. Upaya memperpanjang masa simpan produk antara lain dilakukan baik

<sup>1</sup> Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus IPB Darmaga Bogor 16002, hasbullah@ipb.ac.id

pada tahap pra penyimpanan maupun selama penyimpanan yang meliputi pembersihan, sortasi/grading, pengendalian hama/penyakit pascapanen (irradiasi, fumigasi, perlakuan panas), pelilinan, pengemasan (atmosfera termodifikasi), penundaan kematangan menggunakan penyerap etilen atau penggunaan etilen inhibitor seperti 1-methylcyclopropena (1-MCP), penyimpanan dingin dan pengendalian komposisi gas pada ruang penyimpanan (teknik CA/MA).

Dalam perancangan sistem penyimpanan dengan teknik CA/MA diperlukan data respirasi pada kondisi atmosfer terkendali. Laju respirasi pada kondisi atmosfer terkendali dapat dilakukan dengan metode sistem tertutup (closed system) dan sistem terbuka (open system). Makalah ini akan membahas teknik pengukuran laju respirasi pada sistem tertutup dan mengkaji pengaruh komposisi gas ( $O_2$  dan  $CO_2$ ) terhadap laju respirasi buah mangga cv 'Irwin'.

#### **Teknik Penyimpanan secara MAP/CAS**

Komposisi udara di ruang penyimpanan mempunyai pengaruh yang besar terhadap sifat-sifat hortikultura segar yang disimpan. Agar tujuan penyimpanan tercapai, modifikasi komposisi udara disekitar komoditi tersebut perlu dilakukan. Modifikasi komposisi udara dilakukan dengan menurunkan kandungan  $O_2$  dan atau meningkatkan kandungan  $CO_2$ . Penyimpanan dengan memodifikasi lingkungan atmosfer disekitar produk dapat berupa penyimpanan atmosfer terkendali (controlled atmosphere storage, CAS) atau pengemasan atmosfer termodifikasi (modified atmosphere packaging, MAP). Penyimpanan dengan teknik CAS atau MAP berarti menyimpan komoditi tersebut dengan lingkungan udara yang mempunyai komposisi gas berbeda dengan udara normal.

CAS maupun MAP merupakan teknik

penyimpanan untuk memperpanjang masa simpan produk dengan mengubah secara proporsional gas-gas atmosfer di sekitar produk. Umumnya komposisi gas yang digunakan mengandung  $O_2$  dibawah tingkat konsentrasi atmosfer (kurang dari 21 %) dan  $CO_2$  di atas tingkat konsentrasi atmosfer (lebih dari 0.03 %). Nitrogen digunakan sebagai gas pengisi inert untuk mencapai sisa volume. Ada beberapa perbedaan mendasar antara penyimpanan sistem CAS dan MAP.

Pada sistem CAS komposisi gas dalam ruang penyimpanan diukur secara terus menerus dan perlu menginjeksikan gas atau campuran gas tertentu untuk mempertahankan komposisi gas yang diinginkan. Dalam prakteknya sistem CAS memerlukan gas-gas pengendali seperti  $O_2$ ,  $CO_2$  dan  $N_2$  serta sejumlah peralatan untuk pengaturan dan pengendalian komposisi gas yang secara praktis diterapkan untuk penyimpanan dalam bentuk curah. Sedangkan sistem MAP merupakan sistem statis tanpa melakukan monitoring komposisi gas selama penyimpanan (penyimpanan dalam bentuk kemasan). Komposisi gas pada penyimpanan sistem MAP ditentukan dari komposisi gas awal yang terdapat di dalam kemasan, laju konsumsi  $O_2$  dan laju produksi  $CO_2$  oleh produk, sifat permeabilitas dari kemasan dan suhu penyimpanan.

Begitu pentingnya peranan komposisi atmosfer dalam penyimpanan produk segar hortikultura, maka kondisi CA optimum yang dapat memperpanjang masa simpan telah diteliti sejak lama. Komposisi atmosfer yang direkomendasikan untuk penyimpanan segar hortikultura dapat dilihat pada Tabel 1 (Kader, 1989; Saltveit, 1989).

#### **Pengaruh Suhu dan Komposisi Gas terhadap Laju Respirasi**

Produk pertanian setelah dipanen masih melakukan proses hidup, hal ini ditandai dengan masih terjadinya proses

Tabel 1. Komposisi gas optimum yang direkomendasikan untuk buah-buahan/sayuran (Kader, 1989; Saltveit, 1989).

Komoditas	Suhu °C	Komposisi gas (%)	
		O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Apel	0 – 5	1 – 3	1 – 5
Adpokat	5 – 13	2 – 5	3 – 10
Pisang	12 – 15	2 – 5	2 – 5
Mangga	10 – 15	3 – 5	5 – 10
Pepaya	10 – 15	3 – 5	5 – 10
Buncis	5 – 10	2 – 3	4 – 7
Mentimun	8 – 12	3 – 5	0
Brokoli	0 – 5	1 – 2	5 – 10
Tomat hijau	12 – 20	3 – 5	0 – 3
tomat matang	8 – 12	3 – 5	0 – 5

Tabel 2. Laju respirasi beberapa produk hortikultura pada berbagai suhu (Hardenburg et al., 1990)

Komoditi	Laju respirasi (mg/kg-jam)			
	0°C	4-5°C	10°C	15-16°C
Apel	3-6	5-11	14-20	18-31
Asparagus	27-80	55-136	90-304	160-327
Brokoli	19-21	32-37	75-87	161-186
Kubis	4-6	9-12	17-19	20-32
Wortel	10-20	13-26	20-42	26-54
Kembang kol	16-19	19-22	32-36	30-37
Jagung manis	30-51	43-83	104-120	151-175

respirasi. Respirasi adalah suatu reaksi kimia dimana hidrokarbon (gula) dari jaringan komoditi dioksidasi dengan O<sub>2</sub> yang berasal dari lingkungan sekitarnya menghasilkan CO<sub>2</sub> dan air (H<sub>2</sub>O). Reaksi kimia sederhana untuk proses respirasi dapat dituliskan sebagai berikut :



Dalam proses respirasi dilepaskan energi dalam bentuk panas yang merupakan energi yang tersimpan selama proses fotosintesis. Semakin cepat laju respirasi maka semakin besar jumlah panas yang dilepaskan per satuan waktu. Laju respirasi besarnya bervariasi tergantung jenis komoditi, akan tetapi terutama

dipengaruhi oleh suhu dan komposisi gas disekitar komoditi tersebut (Kader, 1989; Saltveit, 1989; Manapperuma and Singh, 1987). Pada beberapa komoditi, laju respirasi meningkat kira-kira dua atau tiga kali lipat untuk kenaikan suhu sebesar 10°C. Pengaruh suhu terhadap laju respirasi beberapa komoditi dapat dilihat pada Tabel 2.

Dalam perancangan penyimpanan secara atmosfer termodifikasi (MA) maupun secara atmosfer terkontrol (CA) data mengenai laju respirasi pada komposisi gas yang dapat mempertahankan mutu sangat diperlukan. Sehingga banyak peneliti berupaya melakukan penelitian untuk menentukan laju respirasi pada berbagai

Tabel 3. Laju respirasi apel varietas "golden delicious" pada berbagai komposisi gas (Mannapperuma *et al.*, 1989).

Komposisi gas (%)		Laju respirasi (ml/kg-jam)
(O <sub>2</sub> )	(CO <sub>2</sub> )	
5.0	2.0	1.60
5.0	8.0	2.74
5.0	14.0	3.66
5.0	20.0	4.41
5.03	20.9	4.56

komposisi gas. Lee *et al.* (1991) melakukan pengukuran laju respirasi brokoli pada berbagai komposisi gas dengan metode "open system". Hasilnya menunjukkan bahwa laju respirasi semakin menurun dengan meningkatnya konsentrasi CO<sub>2</sub> pada konsentrasi O<sub>2</sub> konstan. Demikian pula pada CO<sub>2</sub> konstan, laju respirasi meningkat dengan semakin meningkatnya konsentrasi O<sub>2</sub>. Mannapperuma *et al.* (1989) juga telah melakukan pengukuran laju respirasi pada berbagai komposisi gas untuk buah apel varietas "golden delicious" yang disimpan pada suhu 20°C seperti pada Tabel 3.

Suatu model berdasarkan prinsip reaksi enzimatik untuk mendiskripsikan laju respirasi sebagai fungsi dari konsentrasi O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> telah diperkenalkan oleh Lee *et al.* (1991):

$$R = \frac{V_m x_1}{K_m + (1 + x_2/K_i)x_1} \quad (1)$$

dimana R adalah laju respirasi (ml/kg.h), V<sub>m</sub> adalah laju respirasi maksimum (ml/kg.h), K<sub>m</sub> adalah konstanta Michaelis-Menten (%O<sub>2</sub>), dan K<sub>i</sub> adalah konstanta inhibisi (%CO<sub>2</sub>).

#### Teknik Pengukuran Laju Respirasi

Dalam proses respirasi beberapa senyawa penting yang dapat digunakan

untuk mengukur laju respirasi adalah perubahan kandungan glukosa, jumlah ATP, CO<sub>2</sub> yang diproduksi dan O<sub>2</sub> yang dikonsumsi. Dari keempat cara tersebut, pengukuran dengan menghitung produksi CO<sub>2</sub> dan konsumsi O<sub>2</sub> lebih sederhana dan praktis. Untuk tujuan pengukuran laju respirasi tersebut diperlukan sampel gas sebagai hasil dari kegiatan respirasi. Metode pengambilan sampel gas dapat dilakukan secara internal yaitu dari dalam jaringan buah, maupun secara eksternal yaitu dari gas yang ditimbulkan oleh jaringan buah. Pengukuran laju respirasi dengan mengambil sampel gas secara internal telah dilakukan oleh Saltveit (1982). Dibandingkan cara internal, pengambilan sampel gas secara eksternal lebih sederhana dan tidak merusak buah. Terdapat dua metode dalam pengambilan sampel gas secara eksternal, yaitu metode statis atau sistem tertutup (closed system) dan metode dinamis atau sistem terbuka (open system).

Dalam metode sistem tertutup bahan ditempatkan dalam suatu wadah tertutup dimana gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan terakumulasi dan gas O<sub>2</sub> yang dikonsumsi menjadi berkurang konsentrasinya. Metode sistem tertutup lebih cepat dalam persiapannya, sederhana, hanya membiarkan bahan pada wadah tertutup sampai terjadi perubahan konsentrasi gas dan waktunya relatif singkat. Namun demikian metode ini tidak dapat digunakan untuk menentukan respirasi pada kondisi atmosfer terkendali (CA) untuk periode penyimpanan yang lama dan kebocoran yang kecil saja dapat menyebabkan kesalahan yang besar. Laju respirasi dihitung dengan mengetahui berat bahan, volume bebas wadah dan perbedaan konsentrasi setelah waktu tertentu. Mannapperuma and Singh (1990) menyatakan persamaan laju respirasi sistem tertutup pada suhu tertentu dengan satuan ml/kg-jam seperti pada persamaan (1) dan (2).

$$R_1 = \frac{V dx_1}{W dt} \quad (2)$$

$$R_2 = -\frac{V dx_2}{W dt} \quad (3)$$

dimana

R = laju respirasi, ml/kg-jam

x = konsentrasi gas, desimal

t = waktu, jam

V = volume bebas "respiration chamber", ml

W = berat produk, kg

subskrip 1, 2 = masing-masing menyatakan gas O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>.

Dalam metode sistem terbuka, campuran gas yang diketahui konsentrasinya dialirkan melalui "respiration chamber". Setelah kondisi kesetimbangan tercapai, produksi CO<sub>2</sub> atau konsumsi O<sub>2</sub> dihitung dengan mengetahui berat bahan, laju aliran dan perbedaan konsentrasi antara inlet dan outlet gas pada "respiration chamber". Metode sistem terbuka lebih sulit dalam persiapannya, melibatkan unit pencampur gas dan lebih boros dalam pemakaian gas. Akan tetapi dapat digunakan untuk menentukan respirasi selama periode penyimpanan yang cukup lama dan sangat bermanfaat dalam penelitian penyimpanan sistem atmosfer terkendali (CA).

Mannapperuma and Singh (1990) menentukan laju respirasi pada metoda sistem terbuka berdasarkan kesetimbangan massa oksigen dan karbondioksida. Sedangkan kesetimbangan massa nitrogen digunakan untuk menghitung laju aliran gas masuk. Persamaan kesetimbangan untuk oksigen, karbondioksida, dan nitrogen ditunjukkan dalam persamaan berikut.

Kesetimbangan O<sub>2</sub> :

$$R_1 = (G x_1 - Q y_1) / W \quad (4)$$

Kesetimbangan CO<sub>2</sub> :

$$R_2 = (Q y_2 - G x_2) / W \quad (5)$$

Kesetimbangan N<sub>2</sub>: G = Q(y<sub>3</sub>/x<sub>3</sub>) (6)

dimana

R = laju respirasi, ml/kg-jam

G = laju aliran gas masuk, ml/jam

Q = laju aliran gas keluar, ml/jam

x = konsentrasi gas masuk, desimal

y = konsentrasi gas keluar, desimal

subskrip 1, 2, dan 3 masing-masing menyatakan gas O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, dan N<sub>2</sub>.

### Teknik Analisis Komposisi Gas

Dalam pengukuran laju respirasi, penetapan konsentrasi gas-gas terutama O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> mutlak diperlukan. Beberapa cara penentuan komposisi gas antara lain secara titrasi, metode orsat, *oxygen analyzer*, *infrared analyzer*, dan metode kromatografi gas (GC). Cara titrasi terbatas hanya pada penetapan gas CO<sub>2</sub> sebagai hasil kegiatan respirasi. Gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari proses respirasi selama waktu tertentu ditangkap oleh suatu absorber (larutan NaOH). Jumlah CO<sub>2</sub> yang terserap dapat dihitung dengan cara menitrasi absorben menggunakan asam kuat (HCl). Dalam metode orsat juga dilakukan absorpsi terhadap gas CO<sub>2</sub> maupun O<sub>2</sub> selama proses respirasi. Metode orsat secara umum membutuhkan sampel yang benar, perlu waktu lama dan dalam skala mikro menjadikan sangat rumit. *Oxygen analyzer* membutuhkan sampel gas yang lebih kecil tetapi terbatas penggunaannya untuk analisis oksigen dalam aliran kontinyu. *Infrared CO<sub>2</sub> analyzer* terbatas penggunaannya hanya pada analisis gas CO<sub>2</sub>. Dalam metode ini, sifat CO<sub>2</sub> yang mampu menyerap radiasi sinar infra merah pada panjang gelombang tertentu digunakan untuk mengukur konsentrasi CO<sub>2</sub> dari sampel gas.

Secara umum beberapa metode yang dikemukakan di atas memiliki beberapa keterbatasan antara lain waktu analisis

cukup lama, jumlah sampel besar, terbatas hanya untuk analisis CO<sub>2</sub> atau O<sub>2</sub> saja. Keterbatasan-keterbatasan tersebut menyebabkan metode analisis gas dengan kromatografi gas (GC) berkembang pesat. Keuntungan penggunaan GC antara lain sampel yang dibutuhkan tidak terlalu banyak (sekitar 0.5 ml) waktu operasi pendek (sekitar 10 menit) serta persiapan sampel gas tidak terlalu rumit dan tidak melibatkan berbagai reaksi kimia.

Dengan menggunakan GC berbagai jenis gas dapat dianalisis tergantung jenis kolom yang digunakan. Penggunaan kolom untuk memisahkan campuran gas beragam sesuai dengan perkembangan teknologi. Kolom berisi arang aktif maupun silika gel dapat digunakan untuk memisahkan CO<sub>2</sub> dari campuran gas, sedangkan alumina menyerap gas ini secara permanen. Kolom berisi porapak Q mampu memisahkan CO<sub>2</sub> dengan hasil pemisahan yang baik. Sedangkan kolom dengan *molecular sieve* mampu memisahkan oksigen dengan nitrogen. Dalam pengukuran respirasi sebagai laju

konsumsi O<sub>2</sub> dan laju produksi CO<sub>2</sub> diperlukan suatu kolom yang sekaligus dapat memisahkan gas-gas CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, dan N<sub>2</sub>. Beberapa peneliti menggunakan kolom yang berbeda. Lee et al. (1991) menggunakan kolom CTR I (Alltech Associates, Inc., Deerfield, IL). Mannapperuma and Singh (1987) dan Rokhani (1992) menggunakan dua buah kolom *stainless steel* yaitu masing-masing berisi *molecular sieve* 5A dan porapak Q yang dirangkai dengan menggunakan klep "ten port valco". Rokhani (1996) menggunakan kolom WG-100 keluaran Shimadzu Jepang untuk menganalisis gas CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> secara simultan.

Jenis detektor yang biasa digunakan untuk pemisahan gas adalah TCD (Thermal Conductivity Detector) dengan gas pembawa helium. Prinsip kerjanya adalah bahwa perbedaan mobilitas dari molekul-molekul gas dalam kolom akan memisahkan gas-gas tersebut dan kemudian sifat konduktivitas panas dari gas-gas tersebut dideteksi oleh detektor. Aliran gas helium membawa gas-gas yang telah dipisahkan oleh kolom ke



Gambar 1. Sampel buah pada pengukuran respirasi metode sistem tertutup.

Tabel 4. Laju respirasi mangga 'Irwin' pada berbagai komposisi gas (Rokhani, 2002).

Komposisi gas (%)		Laju respirasi (ml/kg.jam)	
O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Konsumsi O <sub>2</sub>	Produksi CO <sub>2</sub>
1,9	1,1	11,0	10,8
2,0	6,4	8,8	9,6
1,8	11,1	7,5	7,3
2,2	17,2	7,0	6,7
9,8	1,0	14,2	13,6
9,5	5,9	12,5	11,5
9,3	11,1	9,7	9,5
9,6	17,4	7,6	7,5
20,2	1,5	16,4	15,7
17,9	6,5	14,2	13,4
19,4	11,6	11,9	10,8
18,1	17,1	8,2	8,5

detektor TCD dimana perbedaan sifat konduktivitas panasnya dikonversikan ke dalam sinyal elektrik. Perubahan sifat konduktivitas panas dari gas-gas yang melalui detektor dideteksi dengan memonitor besarnya arus yang dibutuhkan untuk mempertahankan suhunya. Perubahan ini dicatat oleh recorder dalam bentuk peak. Perbandingan dari ketinggian atau area peak yang dihasilkan oleh gas sampel terhadap ketinggian atau area peak dari gas standar yang telah diketahui konsentrasinya digunakan untuk menghitung konsentrasi gas sampel.

### METODOLOGI

Pada makalah ini dibahas teknik pengukuran laju respirasi pada kondisi atmosfer terkendali menggunakan metode sistem tertutup. Buah mangga cultivar 'Irwin' dengan tingkat kematangan penuh digunakan sebagai sampel untuk pengukuran laju respirasi. Sampel buah ditempatkan pada wadah tertutup (stoples gelas volume 4.3 L) pada berbagai komposisi gas (CO<sub>2</sub>: 1%, 6%, 11% dan 17% dikombinasikan dengan O<sub>2</sub>: 2%,

10% dan 18%). Komposisi gas dikendalikan dengan cara mengalirkan gas CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> ke dalam stoples.

Gambar 1 memperlihatkan sampel buah untuk pengukuran laju respirasi. Tiga buah mangga dengan berat total sekitar 1.2 kg (volume tercatat) dimasukkan dalam stoples tersebut dan disimpan pada suhu 13 °C. Setelah sampel berada dalam kondisi atmosfer terkendali selama sekitar 8-10 jam, dilakukan sampling gas di dalam stoples menggunakan siring 1 mL secara periodik pada interval waktu 2-3 jam. Sampel gas dianalisis komposisinya menggunakan kromatografi gas (Shimadzu) dengan kolom jenis WG-100. Laju respirasi dihitung berdasarkan perubahan konsentrasi gas O<sub>2</sub> atau CO<sub>2</sub>, volume bebas, interval waktu dan berat sampel seperti pada persamaan (2) dan (3).

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 4 menyajikan data hasil pengukuran laju respirasi buah mangga 'Irwin' pada berbagai komposisi gas (Rokhani, 2002). Laju respirasi buah semakin meningkat apabila buah berada

pada kondisi dimana konsentrasi  $O_2$  tinggi dan konsentrasi  $CO_2$  rendah. Pada konsentrasi  $O_2$  antara 17,9-20,2 %, peningkatan konsentrasi  $CO_2$  dari 1,5 % ke 17,1 % menurunkan laju konsumsi  $O_2$  dari 15,7 ml/kg-jam menjadi 8,5 ml/kg-jam. Hal yang sama juga terjadi pada laju produksi  $CO_2$ , yaitu menurun dari 16,4 ml/kg-jam menjadi 8,2 ml/kg-jam.

Dari data eksperimen laju respirasi pada berbagai komposisi gas seperti ditunjukkan pada Tabel 4 dapat disajikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 2 dan 3. Dari gambar tersebut terlihat bahwa invers respirasi berkorelasi linier dengan konsentrasi  $CO_2$ . Kurva dari ketiga konsentrasi  $O_2$  yang berbeda mendekati paralel dengan nilai  $R^2$  bervariasi antara 0.898 dan 0.977. Selanjutnya data tersebut dianalisis menggunakan regresi linier berganda (SAS Institute, 1994) untuk memprediksi laju respirasi pada berbagai konsentrasi  $O_2$  dan  $CO_2$  (persamaan 6).

Hasil analisis diperoleh parameter model respirasi adalah  $V_m=19.8$  ml/kg.h,  $K_m=0.8$  % $O_2$ ,  $K_i=15.5$ % $CO_2$  untuk laju konsumsi  $O_2$  dan  $V_m=18.3$  ml/kg.h,  $K_m=0.8$  % $O_2$ ,  $K_i=18.5$  % $CO_2$  untuk laju produksi  $CO_2$  dengan nilai koefisien determinasi masing-masing 0.920 dan 0.917. Dengan demikian laju respirasi buah mangga pada berbagai konsentrasi  $O_2$  dan  $CO_2$

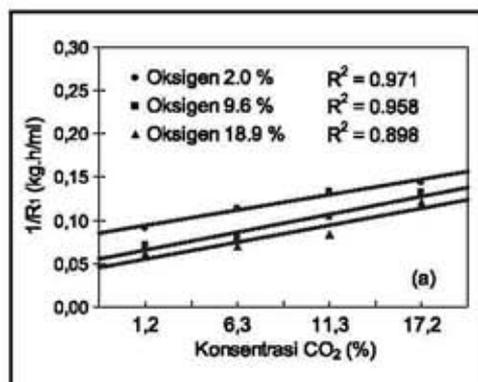
dapat dinyatakan dalam persamaan (7) untuk laju konsumsi  $O_2$  dan persamaan (8) untuk laju produksi  $CO_2$ , dimana  $x_1$  menyatakan konsentrasi  $O_2$  dan  $x_2$  menyatakan konsentrasi  $CO_2$ . Dari kedua persamaan tersebut maka besarnya laju respirasi baik sebagai laju konsumsi  $O_2$  ( $R_1$ ) maupun laju produksi  $CO_2$  ( $R_2$ ) pada berbagai komposisi gas ( $O_2$  dan  $CO_2$ ) dapat ditentukan nilainya.

$$R_1 = \frac{19.8x_1}{0.8 + (1 + x_2 / 15.5)x_1} \quad (7)$$

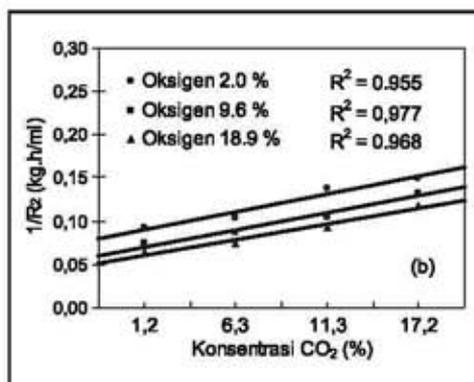
$$R_2 = \frac{18.3x_1}{0.8 + (1 + x_2 / 18.5)x_1} \quad (8)$$

## KESIMPULAN DAN SARAN

1. Metode sistem tertutup dapat dipergunakan untuk mengukur laju respirasi pada kondisi atmosfer terkendali. Akan tetapi periode pengukurannya hanya beberapa jam, tidak dapat dipergunakan untuk mengukur respirasi selama penyimpanan.
2. Laju respirasi dipengaruhi oleh komposisi gas, dimana laju respirasi meningkat dengan meningkatnya konsentrasi  $O_2$  dan menurunnya konsentrasi  $CO_2$ .



Gambar 2. Plot konsentrasi  $CO_2$  dengan invers dari laju konsumsi  $O_2$  ( $R_1$ ).



Gambar 3. Plot konsentrasi  $CO_2$  dengan invers dari laju produksi  $CO_2$  ( $R_2$ ).

3. Model matematika berdasarkan prinsip reaksi enzimatik cukup baik untuk memformulasikan laju respirasi sebagai fungsi dari konsentrasi O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>. Pada mangga 'Irwin' diperoleh nilai koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) sebesar 0.920 untuk laju konsumsi O<sub>2</sub> dan 0.917 untuk laju produksi CO<sub>2</sub>.
4. Metode sistem tertutup tidak dapat digunakan untuk pengukuran laju respirasi pada kondisi atmosfer terkendali selama penyimpanan, oleh karena itu perlu dilakukan pengukuran dengan metode sistem terbuka.

#### PUSTAKA

- Haggar, P.E., D.S. Lee, and K.L. Yam. 1992. Application of an enzyme kinetics based respiration model to closed system experiments for fresh produce. *J. Food Proc. Eng.* 15, 143-157.
- Handerburg, R.E., A.E. Watada and C.Y. Wang. 1986. *The Commercial Storage of Fruit, Vegetables and Florist and Nursery Stocks*. United States Dept of Agriculture, Agricultural Research Service, Agriculture Handbook No. 66.
- Kader, A.A. 1992. Modified atmosphere during transport and storage. In *Postharvest Technology of Horticultural Crops* (Kader, ed.). University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Publication No 3311.
- Kader, A.A., D. Zagory and E.L. Kerbel. 1989. Modified atmosphere packaging of fruit and vegetables. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 28, 1-30.
- Lee, D.S., P.E. Haggar, J. Lee, and K.L. Yam. 1991. Model for fresh produce respiration in modified atmosphere based on principles of enzyme kinetics. *J. Food Science*, 56, 1580-1585.
- Lee, K.S., I.S. Park and D.S. Lee. 1996. Modified atmosphere of a mixed prepared vegetable salad dish. *J. Food Science and Technol.* 31, 7-13.
- 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.
- Mannapperuma, J.D. and Singh, R.P. (1987): A computer-aided model for gas exchange in fruits and vegetables in polymeric packages, ASAE Paper No. 87-6526. Chicago, USA.
- Rokhani, H. 1992. Modified atmospheric packaging of fruits and vegetables research instrumentation. Training report in Department of Agricultural Engineering University of California Davis, California, USA.
- Rokhani, H. 1996. Disain system pengukuran laju respirasi buah-buahan/sayuran pada ruang atmosfer terkendali. Laporan Akhir Penelitian. Proyek Operasi dan Perawatan Fasilitas (OPF) IPB Bogor.
- Rokhani, H. 2002. Studies on the postharvest treatments for export preparation of tropical fruits: Mango. Dissertation. Graduate School of Kagoshima University, Japan.
- Saltvelt, M.E. 1989. A summary of CA and MA requirements and recommendations for the storage of harvested vegetables. Proceedings of the Fifth International Controlled Atmosphere Research Conference, June 14-16. Wenatchee, WA, USA.
- SAS Institute. 1994. *SAS/STAT User's Guide*. Version 6 Fourth edition. SAS Institute. Inc., Cary, N.C.

