

*Research Methodology***Teknik Pengukuran Laju Respirasi Produk Hortikultura pada Kondisi Atmosfir Terkendali*****Respiration Rate Measurement of Horticultural Product under Controlled Atmosphere Conditions***Rokhani Hasbullah¹**Abstract**

The design of modified atmosphere packaging (MAP) requires steady state respiration rate data. The respiration rate of fresh produce is usually measured by the open system method where a steady stream of gas is passed through a respiration jar. It needs gas mixing unit to get certain level of controlled atmosphere (CA) conditions and an instrument to analyze gas composition. In this research, a gas chromatograph of Hewlett Packard of HP 5890 series with a thermal conductivity detector and suitable column was used to analyze the composition of oxygen, carbon dioxide and nitrogen simultaneously. The measuring result of respiration rate of broccoli under CA conditions indicated that the gas composition gave significant influences. The respiration rate at a constant CO₂ concentration decreases with decreasing O₂ concentration.

Keywords: broccoli, respiration rate, modified atmosphere packaging, gas chromatograph

Diterima: 10 Desember 2007; Disetujui: 21 Maret 2008

Pendahuluan

Produk hortikultura setelah dipanen masih tetap hidup dan meneruskan proses metabolisme dan respirasi. Usaha untuk memperpanjang masa simpan dilakukan dengan meminimumkan laju respirasi melalui pengaturan kondisi lingkungan penyimpanan. Laju respirasi produk hortikultura selain dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban juga dipengaruhi oleh komposisi gas terutama O₂ dan CO₂ di sekitar produk. Laju respirasi dapat ditekan dengan menurunkan konsentrasi O₂ dan menaikkan CO₂ di sekitar produk. Komposisi gas di sekitar produk tersebut dikendalikan melalui pencampuran dari dua atau lebih gas-gas seperti udara, N₂, O₂ dan CO₂.

Data laju respirasi pada berbagai komposisi gas sangat diperlukan dalam perancangan sistem pengemasan secara atmosfer termodifikasi (*modified atmosphere packaging, MAP*) maupun penyimpanan secara atmosfer terkendali (*controlled atmosphere storage, CAS*). Makalah ini membahas teknik pengukuran laju respirasi pada kondisi atmosfer terkendali menggunakan metode sistem terbuka (*open system*) untuk mendapatkan data laju respirasi pada berbagai komposisi gas (CO₂ dan O₂). Selain itu juga dibahas penggunaan gas khromatografi untuk menganalisis gas CO₂, O₂ dan N₂ secara simultan.

Perancangan Sistem MAP

Penyimpanan produk segar hortikultura dengan sistem MAP dilakukan dalam bentuk kemasan menggunakan plastik film yang mempunyai nilai

permeabilitas terhadap O₂ dan CO₂ tertentu tanpa melakukan monitoring terhadap komposisi gas selama penyimpanan. Komposisi gas di dalam kemasan MAP ditentukan dari komposisi gas awal yang terdapat di dalam kemasan, laju respirasi produk (laju konsumsi O₂ dan laju produksi CO₂), nilai permeabilitas plastik film kemasan dan suhu penyimpanan. Tahapan perancangan pengemasan sistem MAP adalah sebagai berikut:

- (1) Menentukan komposisi gas optimum dari produk yang akan dikemas. Pada komposisi gas yang optimum mutu produk dapat dipertahankan sehingga masa simpannya menjadi lebih lama. Konsentrasi O₂ (x₁) dan CO₂ (x₂) yang optimum berbeda-beda untuk setiap jenis komoditas.
- (2) Mengukur 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.

¹ Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus IPB Darmaga Bogor 16002, rokhani@ipb.ac.id

Komposisi gas optimum (x_1, x_2) yang dapat memperpanjang masa simpan produk telah diteliti sejak lama. Suatu kumpulan komposisi gas optimum yang direkomendasikan untuk penyimpanan segar produk hortikultura dapat dijumpai dalam Kader (1989) dan Saltveit (1989). Mannapperuma dan Singh (1990) menyusunnya dalam bentuk grafik hubungan konsentrasi $O_2 - CO_2$ seperti pada Gambar 1.

Model matematik untuk pengemasan sistem atmosfer termodifikasi (MAP) dinyatakan dalam persamaan berikut yang terdiri dari 11 variabel (Mannapperuma *et al.*, 1989).

$$WR_1 = P_1 A \frac{(c_1 - x_1)}{b} \tag{1}$$

$$WR_2 = P_2 A \frac{(x_2 - c_2)}{b} \tag{2}$$

dimana:

W = berat produk dalam kemasan, kg

R = laju respirasi, ml/kg-jam

P = permeabilitas film kemasan, ml mm/m²-jam-atm

A = luas permukaan plastik, m²

c = konsentrasi gas udara lingkungan, desimal

x = konsentrasi gas dalam kemasan, desimal

b = tebal film kemasan, mm

subskrip 1 dan 2 masing-masing menyatakan O_2 dan CO_2

Apabila persamaan (1) dan (2) digabung maka akan diperoleh persamaan (3).

$$x_2 = c_2 + (1/\beta) (c_1 - x_1) (R_2/R_1) \tag{3}$$

dimana β adalah rasio permeabilitas CO_2 terhadap O_2 yang merupakan parameter penting dalam merancang pengemasan sistem MAP. Persamaan

(3) menghasilkan garis lurus dengan kemiringan $1/\beta$ pada grafik hubungan konsentrasi $O_2 - CO_2$.

Dalam proses perancangan kemasan MAP, jenis produk akan menentukan parameter R_1 (laju konsumsi O_2) dan R_2 (laju produksi CO_2) serta komposisi gas yang direkomendasikan (x_1 dan x_2). Sedangkan nilai c_1 dan c_2 adalah 0.21 dan 0.003 masing-masing untuk gas O_2 dan CO_2 di udara. Dengan demikian akan diperoleh nilai β . Dengan nilai β tersebut maka dapat ditentukan jenis film plastik yang memiliki permeabilitas terhadap O_2 dan CO_2 yang sesuai. Sehingga dalam perancangan sistem MAP hanya tiga variabel saja yang ditentukan, yaitu ketebalan plastik (b), luas permukaan plastik (A) dan berat produk dalam kemasan (W). Kriteria untuk penilaian tiga variabel ini dapat diilustrasikan dengan menuliskan kembali persamaan (1) dan (2) dengan menampilkan parameter baru yaitu Φ .

$$x_1 = c_1 - (R_1/P_1) \Phi \tag{4}$$

$$x_2 = c_2 + (R_2/P_2) \Phi \tag{5}$$

dimana $\Phi = Wb / A$

Teknik Pengukuran Laju Respirasi Metode Sistem Terbuka

Pada pengukuran laju respirasi metode sistem terbuka, campuran gas yang diketahui konsentrasinya dialirkan melalui "respiration chamber" yang berisi produk yang akan diukur respirasinya. Setelah kondisi kesetimbangan tercapai, gas yang keluar dari "respiration chamber" dianalisis komposisinya. Laju produksi CO_2 atau konsumsi O_2 ditentukan berdasarkan berat produk, laju aliran gas dan perbedaan konsentrasi antara inlet dan outlet gas pada "respiration chamber".

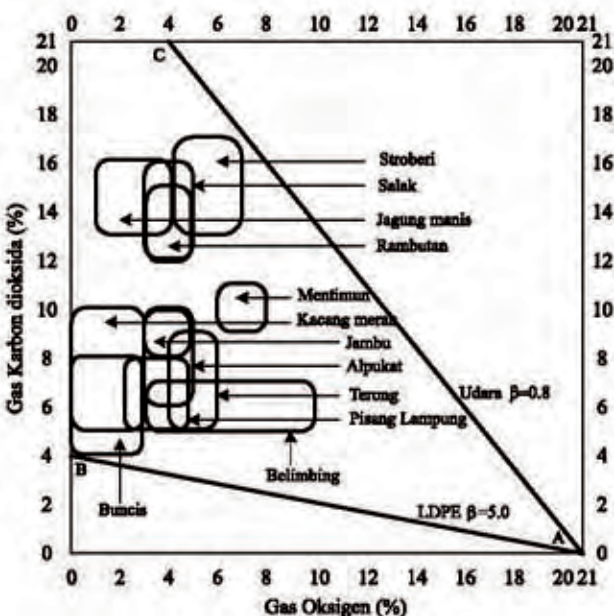
Prinsip pengukuran laju respirasi metode sistem terbuka secara skematik diperlihatkan pada Gambar 2. Udara masuk (inlet) dengan komposisi oksigen X_1 %, karbondioksida X_2 % dan nitrogen X_3 % dialirkan dengan laju aliran tertentu (Q ml/jam) ke dalam stoples berisi produk dengan berat tertentu (W). Proses respirasi dari produk di dalam stoples tersebut akan mengeluarkan gas CO_2 dan menyerap gas O_2 sehingga udara keluar (outlet) akan memiliki komposisi gas yang berbeda, yakni menjadi Y_1 %, Y_2 % dan Y_3 % berturut-turut untuk O_2 , CO_2 dan N_2 .

Mannapperuma dan Singh (1990) menentukan laju respirasi pada metoda sistem terbuka berdasarkan kesetimbangan massa O_2 dan CO_2 . Sedangkan kesetimbangan massa N_2 digunakan untuk menghitung laju aliran gas masuk. Persamaan kesetimbangan massa tersebut ditunjukkan dalam persamaan berikut.

$$\text{Kesetimbangan } O_2 : R_1 = (GX_1 - QX_1)/W \tag{6}$$

$$\text{Kesetimbangan } CO_2 : R_2 = (QY_2 - GY_2)/W \tag{7}$$

$$\text{Kesetimbangan } N_2 : G = Q(Y_3/X_3) \tag{8}$$



Gambar 1. Grafik hubungan konsentrasi gas oksigen dan karbondioksida yang direkomendasikan untuk pengemasan buah-buahan/sayuran secara MAP.

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 O₂, CO₂, dan N₂.

Teknik Pencampuran Gas

Dalam praktiknya untuk menentukan laju respirasi pada kondisi atmosfer terkendali memerlukan peralatan untuk pengaturan komposisi gas. Pengaturan komposisi gas dapat didasarkan atas hubungan massa, volume atau tekanan dengan memperhatikan hukum-hukum yang berlaku untuk gas. Teknik pencampuran gas dapat dibedakan dalam sistem statik dan sistem dinamik (Kader, 1992). Dalam sistem statik pencampuran dapat dilakukan berdasarkan perbandingan berat (prosedur gravimetrik), volume atau tekanan. Pencampuran gas berdasarkan tekanan dapat dilakukan dengan cara stoples atau ruangan divakum terlebih dahulu hingga tekanan mencapai 30 mmHg. Kemudian gas-gas CO₂, O₂ dan N₂ diinjeksikan dan konsentrasinya dikendalikan secara manometrik. Konsentrasi gas dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$K_1 = \frac{100V_1}{V_1 + V_2 + V_3} = \frac{100P_1}{P_1 + P_2 + P_3} \tag{9}$$

$$K_2 = \frac{100V_2}{V_1 + V_2 + V_3} = \frac{100P_2}{P_1 + P_2 + P_3} \tag{10}$$

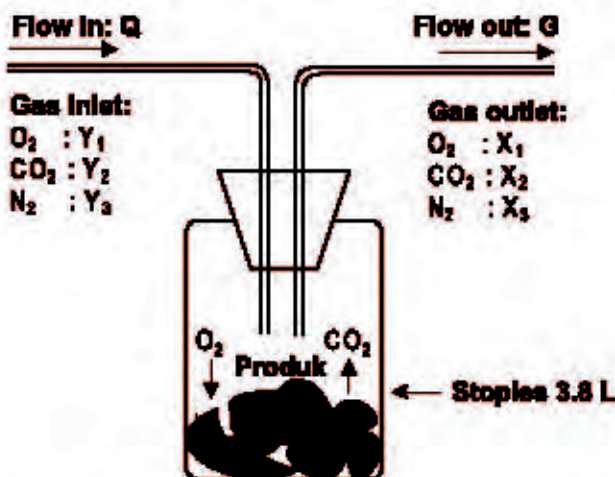
Dimana:

K = konsentrasi gas, %

V = volume, ml

P = tekanan, mmHg

subskrip 1, 2, dan 3 masing-masing menyatakan gas O₂, CO₂, dan N₂.



Gambar 2. Skematik sistem pengukuran laju respirasi metoda sistem terbuka.

Dalam sistem dinamik, gas dialirkan secara kontinu berdasarkan perbandingan volume (pada tekanan dan suhu konstan). Teknik pencampuran dilakukan dengan mengatur laju aliran dari masing-masing gas menggunakan klep ulir (needle valve). Teknik lain adalah dengan mengendalikan aliran gas menggunakan pipa kapiler dari bahan gelas dengan diameter dan panjang tertentu (Rokhani, 1992). Penggunaan pipa kapiler menghasilkan aliran lebih konstan, namun sangat sensitif terhadap kontaminasi debu, kotoran atau uap air. Untuk mempertahankan aliran gas pada tekanan konstan digunakan barostat, yaitu dengan mengalirkan gas ke dalam kolom air pada ketinggian tertentu.

Bahan dan Metode

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan adalah brokoli yang diperoleh dari kelompok Tani Pacet Segar Sukabumi Jawa Barat. Bahan-bahan lainnya adalah gas helium dan udara tekan untuk pengoperasian kromatografi gas (GC) dan gas-gas O₂, CO₂, dan N₂ untuk mengatur komposisi gas yang diinginkan. Sedangkan peralatan yang digunakan adalah unit pencampur gas, stoples, inkubator, kromatografi gas Hewlett Packard seri HP 5890 dan timbangan.

Prosedur

Brokoli setelah disortasi, dibersihkan dan dicuci, kemudian dimasukkan ke dalam beberapa stoples gelas (glass jar) dengan volume 3.8 liter. Berat produk pada setiap stoples sekitar 0,5 kg. Stoples ditutup rapat dengan penutup yang terbuat dari karet pejal dengan dua buah lubang untuk inlet dan outlet gas (Gambar 3). Sampel kemudian disimpan pada inkubator pada suhu tertentu (5 dan 15 °C) dengan kelembaban diatas 90 persen. Lubang inlet pada stoples kemudian dialiri gas dengan komposisi gas tertentu yang dikendalikan melalui unit pencampur gas pada laju aliran sekitar 40 ml/menit. Outletnya



Gambar 3. Sampel brokoli untuk pengukuran laju respirasi.

dihubungkan ke kromatografi gas yang dilengkapi dengan integrator untuk mencetak kromatogram yang dihasilkan.

Untuk menganalisis gas-gas CO₂, O₂, dan N₂ secara simultan digunakan kolom *stainless steel* yaitu masing-masing berisi *molecular sieve 5A* dan *porapak Q* yang dirangkaikan dengan menggunakan klep *ten port valve* model *sequence reverse* (Rokhani, 1996). Kolom berisi *porapak Q* mampu memisahkan CO₂ dengan hasil pemisahan yang baik. Sedangkan kolom dengan *molecular sieve 5A* mampu memisahkan O₂ dan N₂. Rangkaian kolom-kolom tersebut pada *ten port valve* adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Sampel gas diinjeksikan ke GC secara otomatis melalui "ten port valve" yang dilengkapi dengan "sample loop" volume 0.5 ml. Pada saat klep pada posisi OFF, sampel gas akan mengalir dan mengisi "sample loop". Sedangkan pada posisi ON maka sampel gas akan didorong oleh gas pembawa (*carrier gas*), yaitu helium, menuju kolom *porapak* untuk memisahkan gas CO₂. Posisi ON berlangsung sekitar satu menit kemudian klep segera dikembalikan ke posisi OFF sehingga gas pembawa akan mengalir melalui kolom *molecular sieve* dan akan memisahkan gas O₂ dan N₂.

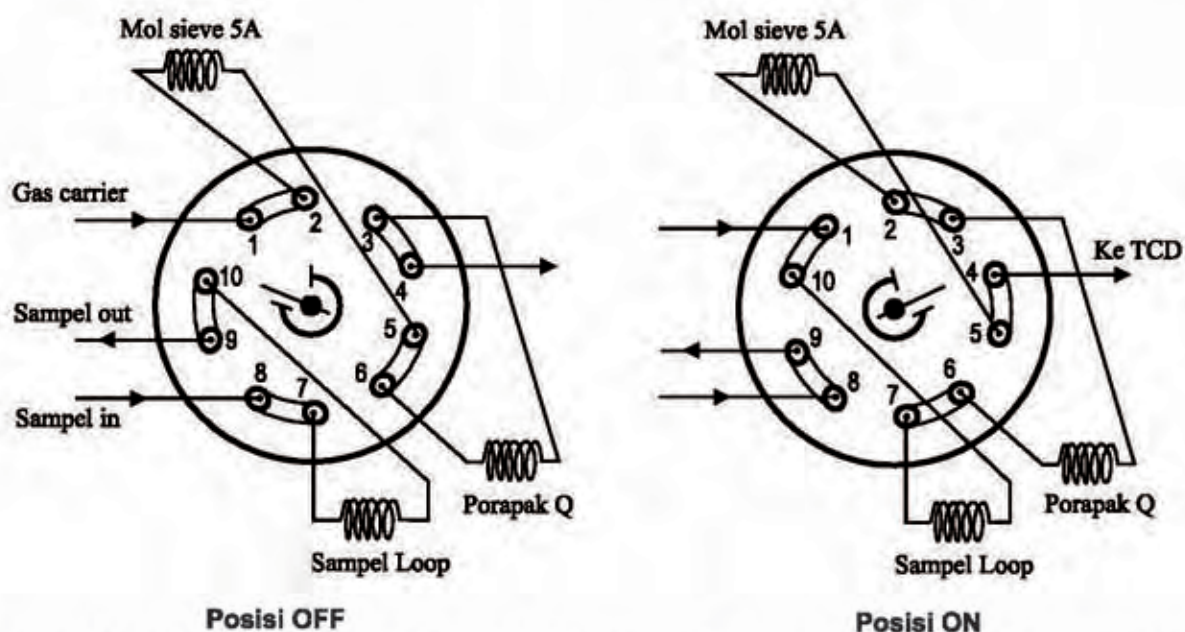
Jenis detektor yang digunakan adalah TCD (Thermal Conductivity Detector) dengan gas helium sebagai gas pembawa (*carrier gas*). Prinsip kerjanya adalah bahwa perbedaan mobilitas dari molekul-molekul gas di dalam kolom akan memisahkan gas-gas tersebut dan kemudian sifat konduktivitas panas dari gas-gas tersebut dideteksi oleh detektor. Aliran gas helium akan membawa gas-gas yang telah dipisahkan oleh kolom ke detektor TCD dimana perbedaan sifat konduktivitas panasnya dikonversikan ke dalam sinyal listrik. Perubahan sifat konduktivitas panas dari gas-gas yang melalui detektor dideteksi

dengan memonitor besarnya arus yang dibutuhkan untuk mempertahankan suhunya. Perubahan ini dicatat oleh kromatogram dalam bentuk puncak (*peak*). Konsentrasi sampel gas dihitung berdasarkan perbandingan dari ketinggian atau area *peak* yang dihasilkan oleh gas sampel terhadap ketinggian atau area *peak* dari gas standar yang telah diketahui konsentrasinya. Gas standar berisi campuran dari gas-gas CO₂, O₂ and N₂ masing-masing sebesar 5%, 21 % dan 74 % digunakan untuk kalibrasi.

Hasil dan Pembahasan

Kondisi operasi GC adalah suhu kolom 50 °C, suhu injeksi 70 °C dan suhu detektor 150 °C. Laju aliran gas pembawa (*helium*) adalah 30 ml/menit. Keluaran dari kromatogram menunjukkan bahwa *peak* pertama adalah gas CO₂ hasil pemisahan oleh kolom *porapak Q*, *peak* kedua dan ketiga masing-masing adalah gas O₂ dan N₂ dari hasil pemisahan oleh kolom *molecular sieve 5A*. Gambar 5 menunjukkan kromatogram dimana puncak dari gas-gas CO₂, O₂ dan N₂ terjadi pada menit ke 2.1, 3.7 dan 4.8.

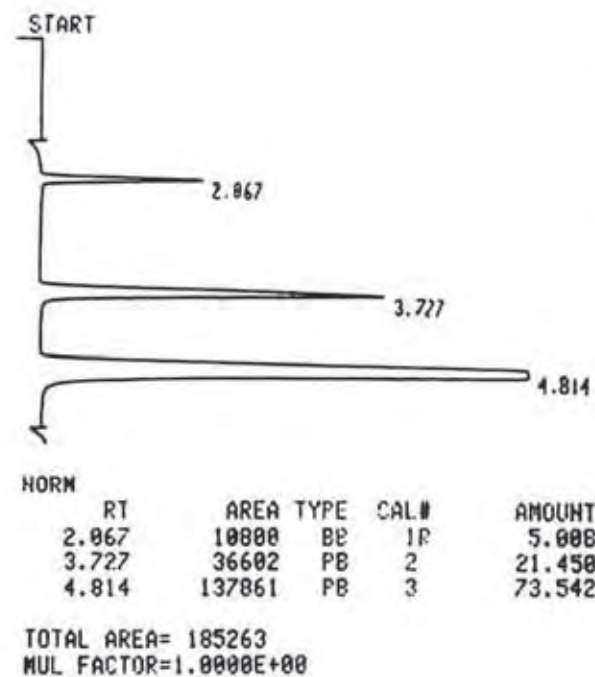
Komposisi gas awal dan laju alirannya pada masing-masing sampel disajikan pada Tabel 1. Gas dengan komposisi tertentu tersebut dialirkan melalui stoples yang berisi sampel brokoli dan karena proses respirasi brokoli maka komposisi gas berubah bergantung jumlah sampel dan laju respirasinya. Komposisi gas dianalisis setelah delapan jam sejak gas dialirkan dan diamati hingga tujuh hari penyimpanan. Laju respirasi dihitung menggunakan persamaan (6) dan (7). Hasilnya disajikan pada Tabel 2 dan 3 masing-masing pada pengukuran suhu 5 °C dan 15 °C.



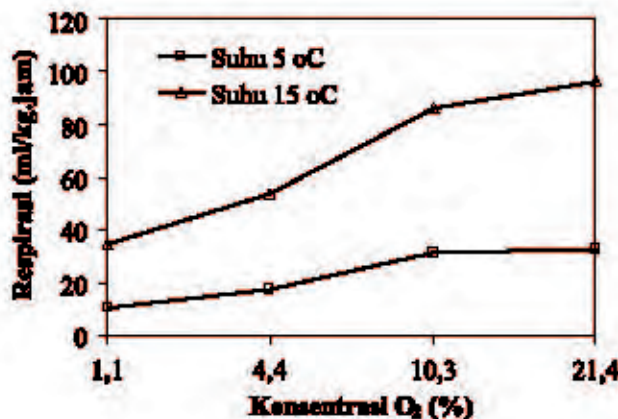
Gambar 4. Rangkaian kolom *molecular sieve 5A* dan *porapak Q* pada *ten port valve* untuk memisahkan gas CO₂, O₂ dan N₂ secara simultan.

Table 1. Komposisi gas awal dan laju aliran pada pengukuran laju respirasi brokoli metode sistem terbuka.

Nomor sampel	Komposisi gas (%)		Laju aliran gas ml/jam
	O ₂	CO ₂	
1	1.1	4.5	36.6
2	4.4	4.9	40.1
3	10.3	5.0	40.2
4	21.4	5.0	42.1



Gambar 5. Kromatogram hasil analisis gas pada pengukuran laju respirasi.



Gambar 6. Pengaruh konsentrasi O₂ dan suhu penyimpanan pada laju respirasi brokoli, diukur pada konsentrasi CO₂ 4.9 %.

Tabel 2. Pengaruh konsentrasi O₂ terhadap laju respirasi brokoli pada konsentrasi CO₂ 4.9% dan suhu penyimpanan 5 °C.

Hari ke	Konsentrasi O ₂			
	1.1 %	4.4 %	10.3 %	21.4 %
1	10.6 (9.2)	20.0 (18.5)	32.5 (24.4)	31.7 (21.8)
2	11.3 (9.9)	19.4 (15.6)	32.9 (21.5)	35.1 (26.2)
3	10.6 (9.5)	15.8 (15.1)	32.7 (22.9)	29.5 (26.5)
4	10.0 (7.8)	12.4 (11.6)	29.1 (20.9)	24.3 (26.3)
6	9.9 (9.9)	16.3 (10.8)	29.2 (26.7)	33.2 (26.3)
8	10.6 (11.3)	18.6 (17.8)	34.6 (33.0)	39.4 (30.6)
7	10.6 (8.5)	19.4 (15.6)	29.7 (22.4)	36.4 (24.7)

Keterangan: Angka di dalam tabel masing-masing menunjukkan laju konsumsi O₂ dan laju produksi CO₂ (di dalam kurung).

Tabel 3. Pengaruh konsentrasi O₂ terhadap laju respirasi brokoli pada konsentrasi CO₂ 4.9% dan suhu penyimpanan 15 °C.

Hari ke	Konsentrasi O ₂			
	1.1 %	4.4 %	10.3 %	21.4 %
1	39.0 (42.5)	55.0 (54.2)	76.2 (51.8)	92.18 (65.7)
2	36.5 (30.25)	52.3 (50.1)	74.9 (56.3)	96.20 (67.6)
3	34.4 (35.1)	48.8 (48.8)	75.4 (59.1)	96.78 (79.2)
4	34.5 (23.3)	50.2 (49.4)	86.1 (52.8)	110.67 (68.6)
5	33.8 (21.3)	50.5 (43.8)	91.7 (84.1)	105.28 (74.9)
6	33.7 (32.3)	51.8 (50.1)	105.9 (53.9)	97.02 (71.8)
7	34.4 (37.2)	57.2 (38.2)	93.4 (58.0)	92.37 (71.8)

Keterangan: Angka di dalam tabel masing-masing menunjukkan laju konsumsi O₂ dan laju produksi CO₂ (di dalam kurung).

Gambar 6 menunjukkan laju respirasi rata-rata pada konsentrasi CO₂ konstan dan konsentrasi O₂ bervariasi pada suhu penyimpanan 5 °C dan 15 °C. Gambar tersebut menunjukkan bahwa pada konsentrasi CO₂ konstan sebesar 4.9 %, respirasi brokoli menurun dengan semakin rendahnya kandungan O₂. Hasil ini mempertegas penelitian yang dilakukan Lee et al. (1991) pada brokoli dimana hasilnya menunjukkan bahwa laju respirasi brokoli menurun dengan meningkatnya konsentrasi CO₂ dan menurunnya konsentrasi O₂. Suhu penyimpanan juga berpengaruh sangat nyata terhadap laju respirasi dimana respirasi menurun dengan rendahnya suhu penyimpanan.

Nilai 'Respiratory Quotion' (RQ) yang menunjukkan rasio laju produksi CO₂ terhadap laju konsumsi O₂ berkisar antara 0.64 dan 0.97. Hal ini menunjukkan bahwa proses metabolisme berlangsung secara normal dengan menggunakan substrat karbohidrat, protein atau lemak dengan ketersediaan oksigen yang cukup. Pada kondisi respirasi anaerobik umumnya nilai RQ lebih besar dari satu.

Kesimpulan dan Saran

1. Metode sistem terbuka dapat digunakan untuk mengukur laju respirasi pada kondisi atmosfer terkendali selama masa penyimpanan buah-buahan/sayuran.
2. Penggunaan kolom jenis *porapak Q* dan *molecular sieve 5A* yang dirangkai menggunakan 'ten port valve' mampu menganalisis gas CO₂, O₂ dan N₂ secara simultan.
3. Laju respirasi dipengaruhi oleh komposisi gas, dimana laju respirasi dapat ditekan dengan menurunkan konsentrasi O₂ dan menaikkan konsentrasi CO₂. Selain itu, laju respirasi juga dapat ditekan dengan menurunkan suhu penyimpanan.
4. Metode sistem terbuka sangat membantu dalam mengkaji respirasi pada kondisi atmosfer terkendali selama masa penyimpanan, namun diperlukan peralatan yang cukup presisi untuk mengatur aliran gas dan untuk menganalisis komposisinya.

Daftar Pustaka

- Gunadnya IBP. 1993. Pengkajian Penyimpanan Salak Segar (*Salacca edulis* Reinw) dalam Kemasan Film dengan "Modified Atmosphere" [Tesis]. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- 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. Haggard, 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.
- 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.
- 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.
- Saltveit, 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.