

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 9, No. 2, Agustus 2021



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu bulan April, Agustus dan Desember, Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain meliputi teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB
Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

Dewan Redaksi:

Ketua : Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, IPB University)
Anggota : Abdul Hamid Adom (Scopus ID: 6506600412, University Malaysia Perlis)
(*editorial board*) Addy Wahyudie (Scopus ID: 35306119500, United Arab Emirates University)
Budi Indra Setiawan (Scopus ID: 55574122266, IPB University)
Balasuriya M.S. Jinendra (Scopus ID: 30467710700, University of Ruhuna)
Bambang Purwantana (Scopus ID: 6506901423, Universitas Gadjah Mada)
Bambang Susilo (Scopus ID: 54418036400, Universitas Brawijaya)
Daniel Saputera (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya)
Han Shuqing (Scopus ID: 55039915600, China Agricultural University)
Hiroshi Shimizu (Scopus ID: 7404366016, Kyoto University)
I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana)
Agus Arif Munawar (Scopus ID: 56515099300, Universitas Syahkuala)
Armansyah H. Tambunan (Scopus ID: 57196349366, IPB University)
Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, IPB University)
M. Rahman (Scopus ID: 7404134933, Bangladesh Agricultural University)
Machmud Achmad (Scopus ID: 57191342583, Universitas Hasanuddin)
Muhammad Makky (Scopus ID: 55630259900, Universitas Andalas)
Muhammad Yulianto (Scopus ID: 54407688300, IPB University & Waseda University)
Nanik Purwanti (Scopus ID: 23101232200, IPB University & Teagasc Food Research Center Irlandia)
Pastor P. Garcia (Scopus ID: 57188872339, Visayas State University)
Rosnah Shamsudin (Scopus ID: 6507783529, Universitas Putra Malaysia)
Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin)
Sate Sampattagul (Scopus ID: 7801640861, Chiang Mai University)
Subramaniam Sathivel (Scopus ID: 6602242315, Louisiana State University)
Shinichiro Kuroki (Scopus ID: 57052393500, Kobe University)
Siswoyo Soekarno (Scopus ID: 57200222075, Universitas Jember)
Tetsuya Araki (Scopus ID: 55628028600, The University of Tokyo)
Tusan Park (Scopus ID: 57202780408, Kyungpook National University)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, IPB University)
Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, IPB University)
Bendahara : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, IPB University)
Anggota : Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, IPB University)
Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, IPB University)
Liyantono (Scopus ID: 54906200300, IPB University)
Leopold Oscar Nelwan (Scopus ID: 56088768900, IPB University)
I Wayan Astika (Scopus ID: 43461110500, IPB University)
I Dewa Made Subrata (Scopus ID: 55977057500, IPB University)
Administrasi : Khania Tria Tifani (IPB University)

Penerbit: Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor bekerjasama dengan Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA).

Alamat: Jurnal Keteknik Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem,
Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@apps.ipb.ac.id
Website: <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknik Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah naskah pada penerbitan Vol. 9, No. 2, Agustus 2021. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Dr.Ir. I Wayan Budiastara, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University), Prof.Dr.Ir. Sutrisno M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University), Dr. Muhammad Yusro, M.PD, M.T, Ph.D (Fakultas Teknik-Universitas Negeri Jakarta), Dr. Jefri S. Bale, S.T, M.Eng (Fakultas Teknik-Universitas Nusa Cendana), Dr.Ir. Edward Saleh, M.S (Teknik Pertanian, Universitas Sriwijaya).

Technical Paper

Studi Respirasi Belimbing Wuluh pada Kondisi Penyimpanan Udara Termodifikasi Udara Pasif

Averrhoa Bilimbi Linn Aerobic Respiration Study in Passive Modified Atmosphere Storage

Kurniawan Yuniarto*, Univeritas Mataram, Indonesia
kurniawan2006@unram.ac.id

Anang Lastriyanto, Jurusan Teknik Pertanian Universitas Brawijaya, Indonesia
anang.lastriyanto@yahoo.co.id

Cahyo Mustiko Okta Muvianto, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Mataram, Indonesia
cahyo.muvianto@unram.ac.id

Nurtiti, Program Studi Teknik Pertanian Universitas Mataram, Indonesia
nurtiti008@gmail.com

Abstract

Passive modified atmosphere storage (P-MAS) is a popular fresh fruits and vegetables storage method. The P-MAS creates naturally gas composition alteration due to aerobic respiration rate during storage which implies to maturity and shelf life. This research studied Averrhoa bilimbi Linn respiration behaviour by applying P-MAS at ambient temperature for 24 hours storage period. The gas composition was measured using typical zirconium and infrared gas sensor to determine oxygen and carbondioxide concentration. Heat and humidity were also logged by modifying SHT10 sensor. Acid titratic and weight loss represented the substrat consumption during respiration. The result investigated fastest respiration rate achieved at about RO_2 28,60 ml $[O_2]$ $kg^{-1} h^{-1}$ and (RCO_2) was calculated 56,64 ml $[CO_2]$ $kg^{-1} h^{-1}$ for an hour storage. The RQ was calculated above 1,0 for all period storage which indicated consumed organic acid material. Titratic acid reduced by 0,03 mg equivalent/100 g and average weigh loss was at about 0,04 mg/cm² h. The Averrhoa bilimbi linn was categorized at sour-unripe during 24 hours storage period and exponantially regression predicted sour-ripe level achieved after 37 hours.

Keywords: *averrrhoa bilimbi linn, respiration, RQ, sensor, substrate*

Abstrak

Penyimpanan bahan pertanian di dalam wadah kedap memungkinkan terjadinya aktivitas perubahan komposisi gas secara pasif. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari aktivitas respirasi belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi*) di dalam wadah kedap udara tanpa adanya modifikasi suhu dan udara selama penyimpanan. Pengukuran data-data aktivitas respirasi belimbing wuluh secara aerobik dapat digunakan untuk menghitung laju respirasi dan penggunaan substrat. Perubahan metabolisme belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi*) setelah panen diukur aktivitas respirasi aerobiknya di dalam toples kedap udara selama 24 jam menggunakan sensor gas oksigen berbasis zirconium dan infrared. Pelepasan panas dan uap air di rekam menggunakan logger suhu dan kelembaban. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan respirasi paling cepat pada periode 1 jam penyimpanan dengan nilai laju respirasi oksigen (RO_2) 28,60 ml $[O_2]$ $kg^{-1} jam^{-1}$ dan laju respirasi karbondioksida (RCO_2) 56,64 ml $[CO_2]$ $kg^{-1} jam^{-1}$. Nilai *respiratory quotient* (RQ) diatas 1,0 menunjukkan respirasi menggunakan substrat asam organik. Substrat respirasi terhitung sebagai total asam diperoleh laju rerata konsumsi 0,03 mg equivalen/100 g jam dan susut bobot rata-rata 0,04 mg/cm² jam. Hasil uji empiris penyimpanan belimbing wuluh sampai periode 24 jam masuk dalam kategori *sour-unripe* dan menggunakan regresi eksponensial dapat diperoleh perubahan kematangan belimbing wuluh menjadi kategori *sour-ripe* akan didapatkan setelah periode penyimpanan mencapai 37 jam.

Kata kunci: belimbing wuluh, respirasi, RQ, sensor, substrat

Diterima: 28 Desember 2020; Disetujui: 7 Juni 2021

Latar Belakang

Respirasi adalah salah satu topik yang cukup menarik pada bidang teknologi pascapanen karena berhubungan dengan umur simpan produk. Proses pemanenan buah akan menjadi titik awal terjadinya kenaikan laju respirasi dan permulaan proses penurunan mutu akibat stres fisiologis (Belay, Caleb, and Opara 2016). Aktivitas respirasi komoditas pertanian secara aerobik ditandai dengan konsumsi oksigen, pelepasan karbondioksida dan uap air, pembentukan *adenosine triphosphate* (ATP) dari *adenosine diphosphate* (ADP) (Arvanitoyannis, Bouletis, and Ntounias 2014). Ragam data respirasi komoditas hasil pertanian telah diketahui seperti mangga (Agudelo and Restrepo 2016; Devanesan, Karupiah, and Abirami 2012; Mangaraj *et al.* 2014); jambu (Mangaraj *et al.* 2014; Mangaraj and Goswami 2011); apel (Rux *et al.* 2017; Torrieri, Cavella, and Masi 2009); pisang (Bhande, Ravindra, and Goswami 2008); sayuran (Fonseca, Oliveira, and Brecht 2002; Kirtil and Oztop 2016; Rux *et al.* 2017; Viškelis, Bobinaitė, and Lepse 2012).

Sintesa maupun dekomposisi substrat pangan seperti asam organik dan gula terjadi selama aktivitas respirasi bahan hasil pertanian. Hasil perbandingan dari nilai laju respirasi karbondioksida terhadap laju respirasi oksigen menghasilkan nilai "respiratory quotient" (RQ) dan dapat menunjukkan jenis substrat yang terpakai selama respirasi. Nilai RQ sayur segar bervariasi antara 0.7-1.3 untuk respirasi secara aerobik dan nilai RQ sebesar 1.0 apabila substrat karbohidrat. Sebagai tambahan, nilai RQ kurang dari 1 dapat terjadi apabila sumber substrat berupa lemak dan nilai RQ lebih dari 1 memanfaatkan asam organik (Iqbal *et al.* 2009), seperti pada respirasi aerobik buah pear yang memiliki nilai RQ berkisar 1.2-1.4 (Helena Gomes *et al.* 2010).

Teknik penyimpanan komoditas bahan hasil pertanian yang baik akan ditandai dengan laju respirasi yang cukup lambat dan stabil selama penyimpanan. Teknologi penyimpanan udara termodifikasi modifikasi udara ruang penyimpanan (MAS) cukup sukses sebagai metode dalam memperpanjang umur simpan hortikultura segar (Yousuf, Qadri, and Srivastava 2018). Pengaturan udara secara aktif (MAS aktif) sudah terbukti dapat memperpanjang masa simpan komoditas segar. Namun, teknik MAS pasif lebih banyak digunakan karena dalam praktik penerapannya berbiaya lebih murah dan tidak butuh instrumen yang kompleks (Sandhya 2010). Perubahan konsentrasi gas di dalam ruang kosong dalam MAS pasif dapat menggambarkan berbagai dinamika respirasi selama penyimpanan. Penggunaan MAS aktif telah dicobakan dalam pengamatan respirasi beberapa jenis buah dan sayur segar seperti anggur (Costa *et al.* 2011), tomat (Paulsen, Barrios, and Lema 2019), jagung manis (Liu *et al.* 2021), jeruk (Barrios *et al.*

2014) dan aprikot (Pretel, Souty, and Romojaro 2000).

Penghitungan nilai laju respirasi komoditas pertanian sangat penting untuk memprediksi lama umur simpan atau tujuan menjaga kondisi kematangan selama penyimpanan. Kepentingan pengambilan data respirasi selama penyimpanan untuk kepentingan penghitungan nilai laju respirasi umumnya menggunakan metode kromatografi gas. Namun, pengukuran konsumsi O₂ dan pelepasan CO₂ saat ini lebih cenderung memanfaatkan teknologi sensor dibandingkan dengan metode kromatografi gas. Aplikasi wireless sensor network (WSN) membantu dalam pengukuran perubahan kualitas komoditas pertanian (Bochtis *et al.* 2011); kondisi penyimpanan (Pigments, Lead, and Coatings 2006); laju respirasi (Fonseca *et al.* 2002; Mette Marie Lokke *et al.* 2011; Willett 2014). Selain itu, sensor gas seperti oksigen dan karbondioksida dalam pengamatan respirasi juga sudah banyak didukung piranti mikrokontroler dimana peran monitoring dan perekaman komposisi gas dapat dilakukan secara bersamaan (González-buesa and Salvador 2019).

Studi tentang respirasi komoditas pertanian eksotik akan menjadi salah satu topik yang cukup menarik. Berdasarkan laju respirasi akan terukur kecepatannya, nilai RQ akan memberikan jawaban terkait jenis substrat yang akan digunakan, uap air akan memberikan informasi perubahan kelembaban dan suhu menginformasikan pelepasan panas. Menerapkan pengukuran konsumsi oksigen dan pelepasan gas karbondioksida dengan teknologi sensor dapat diperoleh informasi laju respirasi aerobik MAS pasif selama penyimpanan. Untuk itu, penelitian ini memiliki tujuan mengukur perubahan parameter respirasi selama penyimpanan belimbing wuluh di dalam wadah kedap dan menentukan jenis substrat respirasi melalui penghitungan nilai RQ.

Bahan dan Metode

Bahan baku yang digunakan adalah belimbing wuluh (*A. bilimbi*) yang tumbuh di kecamatan Ampenan, Kota Mataram. Belimbing dipilih berdasarkan tingkat kematangan seragam yang ditunjukkan warna hijau lebih dari 90%. Rerata berat belimbing per biji adalah 15.5±0.5 g dan total berat belimbing untuk analisa respirasi 100 g. Bahan analisa total asam adalah KOH pro analis 0.01 N (Merck, Germany), indikator *phenolphthalein* dan akuades.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor karbondioksida infrared tipe GC-0016 dengan wilayah pembacaan antara 0.04-100% (SST Sensing, UK), sensor oksigen zirconium tipe TR250Z wilayah pembacaan 0-100% (Fujikura, Jepang). Logger suhu dan kelembaban (Keyworks, Indonesia) dengan dukungan sensor SHT 10,

termokopel type K, microsd, RTC, ADS 1115 dan AD8495. Suplai daya logger suhu menggunakan aki 12V. Wadah belimbing wuluh menggunakan toples kedap dimana bagian penutupnya dibor untuk jalur kabel sensor gas, suhu dan kelembaban. Selanjutnya lubang ditutup dengan lilin malam bagian dalam maupun luar tutup yang berlubang untuk mempertahankan kedapannya.

Prosedur Penelitian

Persiapan

Belimbing wuluh dipetik pada pagi hari pukul 10.00 WIB dan dilakukan sortasi berdasarkan keseragaman ukuran-warna-berat. Selanjutnya, belimbing dihancurkan dengan mortar dan diambil filtratnya untuk analisa kadar total asam. Sisa belimbing segar di masukkan ke dalam toples untuk pengamatan dinamika respirasi. Setelah respirasi selesai, berat belimbing di timbang untuk mengukur penyusutan bobot. Selanjutnya, belimbing dihancurkan, di saring dan di ambil filtratnya. Filtrat dianalisa total asamnya. Nilai total asam sebelum dan setelah penyimpanan dibandingkan untuk pengamatan konsumsi substrat.

Penyimpanan MAS Pasif

Belimbing wuluh berat 100 g di masukkan ke dalam toples. Selanjutnya sensor oksigen, karbondioksida, suhu dan kelembaban ruang di pasang di dalam toples kondisi bebas atau tergantung. Sensor suhu tipe K ditancapkan di dalam belimbing wuluh. Selanjutnya, toples ditutup rapat dan pengukuran di mulai dengan cara mengatur interval waktu perekaman data dan lama pengukuran di dalam menu *graphical user interface* (GUI) yang telah disediakan oleh Gaslab (USA). Pengambilan data respirasi setiap 10 menit dengan periode penyimpanan dari 1, 6, 12, 21 dan 24 jam. Selama penyimpanan belimbing wuluh akan diperoleh data-data parameter suhu bahan, konsentrasi oksigen dan karbondioksida ruang penyimpanan, suhu dan kelembaban ruang penyimpanan. Setelah selesai penyimpanan di dalam toples respirasi, belimbing wuluh ditimbang dan dihancurkan untuk memperoleh data susut bobot dan total asam. Data komposisi gas di dalam ruang MAS pasif diunduh langsung dan disimpan di ruang penyimpanan komputer.

Logger suhu dan kelembaban dengan modul mengumpulkan data-data parameter suhu dan kelembaban baik di dalam ruang penyimpanan maupun di dalam daging buah belimbing secara otomatis. Data-data tersebut tersimpan di dalam microSD secara realtime.

Pengukuran susut bobot

Perubahan berat ditentukan dengan cara menimbang belimbing wuluh sebelum dan sesudah

perlakuan penyimpanan selesai. Hasil nilai berat belimbing wuluh dimasukkan ke dalam persamaan penghitungan susut bobot. Persamaan untuk menghitung susut bobot seperti yang disampaikan peneliti lain (Liu *et al.* 2021).

$$\text{Laju susut bobot} = \frac{\text{berat awal}-\text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \times 100\% \quad (1)$$

Total asam tertitrasi

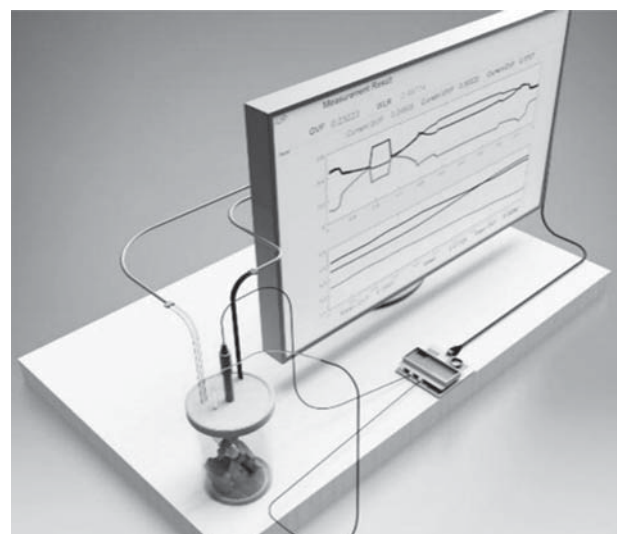
Pengukuran total asam tertitrasi belimbing wuluh dilakukan seperti metode analisa total asam (Liu *et al.* 2021). Belimbing wuluh dihancurkan dengan mortal. Selanjutnya disaring untuk memisahkan padatan dengan cairannya. Larutan belimbing wuluh sebanyak 10 ml dimasukkan ke dalam erlenmeyer 100 ml dan ditambahkan 3 tetes indikator fenolptalin. Larutan sampel dititrasi dengan 0.0 N KOH sampai berubah warna merah jambu tidak hilang selama 30 detik. Penghitungan nilai total asam di tunjukkan pada Persamaan 2.

$$\text{Total asam (\%)} = \frac{C \times (V_1 - V_2) \times K \times 50}{V_0} \times 100 \quad (2)$$

Dimana C adalah nilai molar KOH, V_1 jumlah volume KOH dan V_2 volume titrasi blanko, V_0 adalah volume sampel dan K adalah konversi sebesar 0.067.

Penghitungan Respirasi

Penghitungan laju respirasi oksigen dan karbondioksida berdasarkan perubahan konsentrasi atau komposisi gas (penggunaan oksigen dan pelepasan karbondioksida). Persamaan untuk menghitung laju respirasi penyimpanan belimbing wuluh dalam penyimpanan udara terkendali pasif menggunakan persamaan respirasi buah dan sayur yang telah banyak peneliti lakukan (Bhande *et al.* 2008; Castellanos *et al.* 2016; Matte Marie Lokke *et al.* 2011).



Gambar 1. Desain instrumen pengukuran MAS pasif penyimpanan belimbing wuluh.

$$RO_2 = V \frac{([O_2]_{t_2} - [O_2]_{t_1})}{(t_2 - t_1)} \frac{1}{100 W} \quad (3)$$

$$RCO_2 = V \frac{([CO_2]_{t_2} - [CO_2]_{t_1})}{(t_2 - t_1)} \frac{1}{100 W} \quad (4)$$

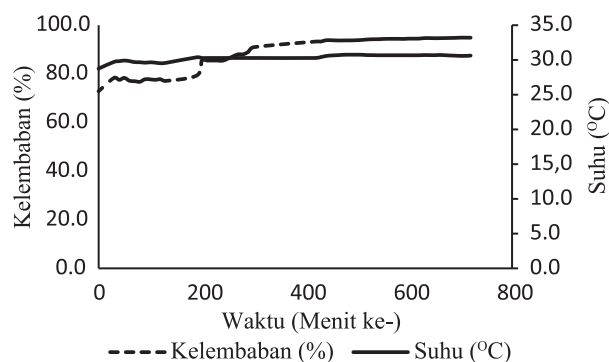
Dimana, $[O_2]$ and $[CO_2]$ adalah konsentrasi oksigen dan karbondioksida (%), t_2 dan t_1 adalah waktu (jam), W adalah berat bahan (Kg), and V adalah volume bebas (mL).

Hasil dan Pembahasan

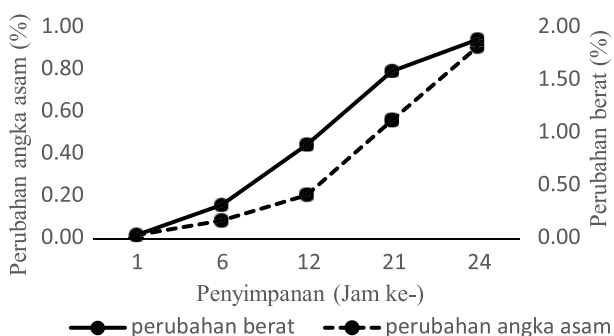
Suhu dan Kelembaban

Respirasi buah dan sayur akan terjadi pembentukan energi dengan ditandai adanya perubahan panas di sekitar lingkungan penyimpanan. Selain itu, uap air menjadi produk dari respirasi sehingga akan meningkatkan nilai kelembaban di sekitar ruang penyimpanan. Penyimpanan belimbing wuluh ini juga diukur perubahan suhu dan kelembabannya dalam rentang waktu menuju konstan. Berikut ini hasil pengukuran parameter suhu dan kelembaba ruang penyimpanan.

Penyimpanan belimbing wuluh ini tanpa adanya pengendalian suhu maupun kelembaban dimana perubahan suhu di dalam ruang penyimpanan terjadi secara alamiah oleh aktivitas repirasi belimbing wuluh. Suhu lingkungan di dalam ruang MAS pasif sedikit meningkat selama periode



Gambar 2. Nilai suhu dan kelembaban ruang penyimpanan.



Gambar 3. Perubahan nilai total asam dan berat selama penyimpanan.

penyimpanan dengan kondisi awal suhu ruang 28.7°C menjadi 30.6°C untuk rentang pengamatan selama 15 jam. Periode penyimpanan pada 1 jam pertama, nilai kenaikan suhu lebih tajam sebesar 1.4°C setelahnya atau peningkatan suhu sebesar 4.88%. dibandingkan dengan periode penyimpanan Selanjutnya, pada periode penyimpanan jam ke-4 sampai akhir periode penyimpanan (12 jam) tampak suhu ruangan MAP pasif stabil pada nilai 30.6°C. Periode suhu konstan ditemui pada penyimpanan stroberi dimana suhu relatif tidak berubah setelah mencapai kestabilan periode suhu konstan karena panas yang dihasilkan selama respirasi tidak terlalu besar untuk menyebabkan perubahan suhu (Barrios, Lema, and Marra 2014).

Kelembaban awal ruang MAS pasif untuk penyimpanan belimbing wuluh bernilai 72.8% dan terus meningkat periode penyimpanan. Hasil pengamatan terhadap parameter kelembaban di dalam ruang penyimpanan mencapai angka 85% setelah periode penyimpanan antara 3 sampai dengan 5 jam. Selanjutnya, peningkatan kelembaban akan nilai stabil pada angka maksimal sebesar 94% setelah periode penyimpanan jam ke-7 jam. Peningkatan kelembaban erat kaitannya dengan perilaku transpirasi yang terjadi akibat adanya aktivitas respirasi belimbing wuluh. Laju transpirasi belimbing wuluh pada periode awal penyimpanan sampai 6 jam sebesar 0.031 mg/cm² jam dan terus meningkat menjadi 0.041 mg/cm² jam sampai periode penyimpanan 21 jam. Nilai transpirasi paling tinggi dicapai pada periode penyimpanan 24 jam yaitu 0.076 mg/cm² jam.

Perubahan Keasaman dan Berat Belimbing Wuluh Selama Penyimpanan

Belimbing wuluh termasuk golongan nonklimaterik sehingga proses pematangan harus terjadi secara alamiah di dalam pohon. Karakteristik belimbing wuluh adalah asam karena memiliki asam organik berupa asam oksalat dimana dalam kondisi muda nilai total kandungan asam cukup tinggi dan akan berkurang apabila menuju fasa matang. Observasi nilai total asam tertitrasi belimbing wuluh selama penyimpanan dalam kondisi kedap ditunjukkan pada gambar berikut.

Belimbing wuluh yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kandungan total asam tertitrasi berkisar antara 15.05 – 15.93 (%). Berdasarkan Gambar 3, perubahan nilai total asam terhitung sebagai selisih total asam sebelum penyimpanan dan setelah penyimpanan. Selama penyimpanan belimbing wuluh, perubahan total asam secara konsisten meningkat yang mengindikasikan terjadi pengurangan nilai akhir total asam. Hal ini dapat berhubungan dengan metabolisme alami menyebabkan terjadinya perubahan fase fisiologis dimana dekomposisi maupun sintesa substrat bekerja selama penyimpanan. Dekomposisi asam di dalam jaringan sel tanaman merupakan salah

satu indikator terjadi perubahan fisiologis baik selama perkembangan maupun penyimpanan buah. Observasi nilai asam belimbing dan belimbing wuluh pada tahapan kematangan akan berubah dari *sour unripe-sour-ripe dan sweet ripe* dengan nilai total asam turun dari 0.378 menjadi 0.296 g/liter ekuivalen asam oksalat. Sebagai tambahan, belimbing wuluh kaya akan ragam jenis asam dan selama fase matang akan terjadi penyusutan kandungan asam glutarat, askorbat, tartarat, malat dan oksalat (Soumya and Nair 2014).

Penyimpanan dengan periode singkat pada jam ke-1 hanya mengkonsumsi asam yang cukup rendah sekali yaitu sebesar 0.02%. Kandungan asam di dalam belimbing wuluh menunjukkan perubahan secara gradual pada periode penyimpanan dari jam ke-6 sampai dengan jam ke-24. Sebagai tambahan, periode jam penyimpanan jam ke-6 sampai ke-24 terjadi konsumsi asam dari 0.16-0.94%. Kenaikan dekomposisi asam cukup drastis pada lama penyimpanan 24 jam dengan konsumsi asam untuk metabolisme belimbing wuluh selama penyimpanan sebesar 11.40%. Konversi asam sebesar 11.40% selama penyimpanan masih menunjukkan kondisi asam dan belum matang karena perubahan fase asam belum matang menjadi fase asam matang terjadi apabila ada dekomposisi asam sebesar 18% (Soumya and Nair 2014). Menggunakan regresi secara eksponensial diperoleh nilai persamaan $y = 0.1057e^{1.0067x}$, perubahan fase dari *sour-unripe* menjadi *sour-ripe* diprediksi setelah penyimpanan selama 37 jam.

Susut bobot penyimpanan juga dihitung dalam penelitian ini dimana perubahan massa belimbing wuluh terjadi dari mekanisme respirasi dan transpirasi. Perubahan berat adalah indikator dari terjadinya aktivitas hidup atau respirasi selama penyimpanan. Nilai perubahan susut bobot pada periode awal penyimpanan cukup kecil sebesar 0.016% dan cenderung stabil sebesar 0.4-0.5% pada periode penyimpanan dari jam ke-12 sampai jam ke-21. Kenaikan susut bobot secara drastis sebesar 0.94% diperoleh pada periode penyimpanan jam ke-24 yang menunjukkan adanya aktivitas metabolisme tinggi pada belimbing wuluh dengan periode penyimpanan yang bertambah. Studi kehilangan susut bobot yang lebih besar pada periode penyimpanan semakin panjang dilaporkan dalam penerapan MAP pasif untuk buah anggur (Costa *et al.* 2011).

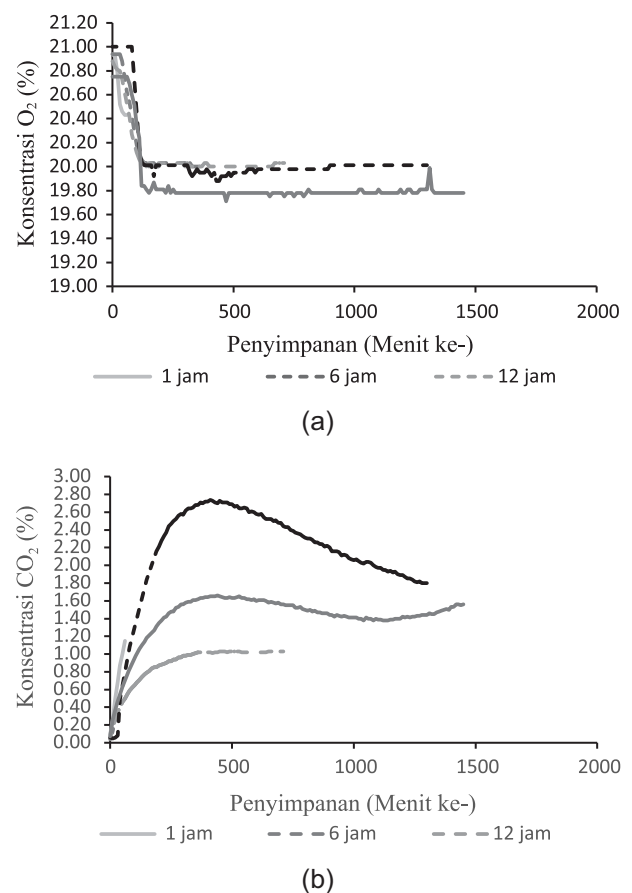
Respirasi Belimbing Wuluh Selama Penyimpanan

Respirasi belimbing wuluh seperti pada komoditas hortikultura lainnya dimana akan terjadi pengambilan oksigen dan pelepasan karbondioksida. Oksigen bebas di dalam wadah penyimpanan memiliki komposisi sekitar 20.9% dan karbondioksida sebesar 0.04%. Meskipun wadah belimbing wuluh dalam kondisi kedap udara

namun respirasi yang berlangsung selama 24 jam terjadi secara aerobik dimana oksigen tetap tersedia sehingga fermentasi dapat dihindari. Hasil pengukuran respirasi selama penyimpanan belimbing wuluh dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.

Berdasarkan Gambar 4, sensor oksigen dan karbondioksida memberikan hasil pembacaan dan perekaman selama penyimpanan dimana konsentrasi oksigen turun dan diikuti kenaikan konsentrasi karbondioksida secara cepat pada periode awal penyimpanan dalam rentang 150 menit atau awal respirasi. Secara umum, sensor gas oksigen dan karbondioksida bekerja sangat bagus dalam menangkap signal keberadaan gas oksigen dan karbondioksida di dalam ruang penyimpanan. Pola pembacaan yang dihasilkan oleh sensor sesuai dengan pola-pola respirasi aerobik komoditas hortikultura dimana konsentrasi gas oksigen terus berkurang dan konsentrasi gas karbondioksida bertambah selama periode respirasi. Hasil perekaman perubahan konsentrasi gas yang dibaca oleh sensor dapat ditentukan nilai laju respirasinya (Persamaan 1 dan 2) serta nilai *respiratory quotient* (RQ) pada tabel berikut.

Secara alami, laju respirasi pada komoditas buah segar bisa berubah-ubah selama periode penyimpanan MAS pasif. Hasil perhitungan dari rekaman sensor gas untuk analisis respirasi



Gambar 4. Konsumsi oksigen (a); produksi karbondioksida (b).

Tabel 1. Nilai laju respirasi belimbing wuluh selama penyimpanan.

Waktu (Jam)	Laju Respirasi (ml [O ₂]/ kg jam)	Laju Respirasi (ml [CO ₂]/ kg jam)	RQ
1	28.60	56.64	1.98
6	8.62	8.98	1.04
12	3.95	4.32	1.09
21	2.51	4.42	1.76
24	2.21	3.39	1.54

menunjukkan bahwa laju respirasi sangat tinggi terjadi pada periode awal penyimpanan selama 6 jam. Belimbing wuluh yang digunakan dalam penelitian ini adalah belimbing wuluh segar setelah petik dan segera di masukkan kedalam wadah MAP pasif sehingga faktor stres setelah pemetikan memberikan kontribusi terhadap laju respirasi yang sangat tinggi baik laju respirasi oksigen maupun karbondioksida. Laju respirasi tinggi pada komoditas pertanian segar untuk periode awal penyimpanan dengan MAS pasif dilaporkan untuk komoditas jagung manis *et al.* 2021), anggur (Costa *et al.* 2011) dan stroberi (Barrios *et al.* 2014). Stres fisik setelah pemetikan menjadi stimulan terhadap respirasi buah dan sayur segar (Kader and Saltveit 1988).

Hasil observasi diperoleh data nilai laju respirasi belimbing wuluh pada periode penyimpanan setelah jam ke-6 sampai dengan periode jam ke-21 terlihat sangat berkurang kecepatan respirasinya dan cenderung stabil pada kisaran angka laju respirasi oksigen sebesar 2.21-3.95 ml [O₂]/kg jam dan laju respirasi karbondioksida 3.39-4.35 ml [CO₂]/kg jam. Periode penyimpanan yang lebih lama lagi sampai jam ke-24 ditandai dengan perlambatan laju respirasi aerobiknya atau ada kecenderungan belimbing wuluh sudah mulai masuk ke fase matang. Konfirmasi dari data pengukuran total asam diperoleh nilai keasaman yang semakin rendah dengan periode penyimpanan jam ke-24 dimana indikasi belimbing wuluh masuk ke fase matang tampak dengan adanya perlambatan respirasi dan berkurangnya nilai keasaman. Belimbing wuluh masuk ke dalam jenis buah klimaterik yang akan ditandai dengan kematangan dalam beberapa hari setelah panen (Thompson 2015a). Pola respirasi belimbing wuluh ini juga hampir sama dengan hasil penyimpanan stroberi menggunakan penyimpanan udara terkendali pasif dimana laju respirasi aerobik lebih lambat dan stabil pada fase penyimpanan antara jam ke-24 sampai jam ke-50 (Barrios *et al.* 2014).

Selanjutnya, hubungan respirasi terhadap penggunaan substrat diterjemahkan dengan nilai *respiratory quotient* (RQ). Hasil perbandingan antara laju respirasi karbondioksida terhadap oksigen diperoleh nilai RQ belimbing wuluh lebih dari 1.00. Nilai RQ tersebut cukup jelas bahwa keberadaan asam-asam organik di dalam belimbing

wuluh menjadi sumber utama atau substrat respirasi selama periode penyimpanan. Nilai RQ sebesar 0.6-0.7 menunjukkan substrat respirasi adalah lemak, nilai RQ =1.0 terjadi apabila sumber substrat karbohidrat dan nilai RQ>1.0 disediakan oleh asam-asam organik (Fonseca *et al.* 2002). Belimbing wuluh memiliki komponen utama air diatas 90% dan kandungan asam sangat dominan sehingga akan menjadi substrat untuk respirasi selama penyimpanan. Selama penyimpanan, kemungkinan terjadinya keasaman bisa mencapai 50% yang digunakan untuk aktivitas respirasi (Thompson 2015b).

Simpulan

Penggunaan sensor gas oksigen dan karbondioksida sangat mendukung dalam keperluan riset observasi perilaku respirasi belimbing wuluh pada penyimpanan udara terkendali pasif. Hasil pengukuran dan perekaman data yang cukup banyak memudahkan dalam pengamatan perilaku respirasi pada komoditas pertanian seperti belimbing wuluh. Penyimpanan belimbing wuluh di dalam MAP pasif menghasilkan kenaikan suhu sebesar 2°C dan stabil setelah periode penyimpanan jam ke-7. Kelembaban awal di dalam ruang MAP pasif sebesar 72.8% dan mencapai kestabilan pada nilai 95% setelah jam ke-4. Perubahan total asam tertitrasi pada periode penyimpanan selama 1, 6, 12, 21 dan 24 jam adalah 0.02%; 1.10%; 2.63%; 7.45% dan 11.40%. Sedangkan perubahan susut bobot selama interval periode penyimpanan yang sama sebesar 0.02%; 0.16%; 0.44%; 0.79% dan 0.94%. Respirasi paling cepat diawal periode penyimpanan pada jam ke-1 dan akan semakin berkurang dengan lama periode penyimpanan. Nilai QR berkisar antara 1.04-1.98 yang identik dengan memanfaatkan asam organik sebagai substrat respirasi.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini terlaksana dari dukungan dana Kemenristekdikti melalui surat kontrak No. 1982/SP2H/ADM/LT/DRPM/2020.

Daftar Pustaka

- Agudelo, C., and C. Restrepo. 2016. Respiration Kinetic of Mango (*Mangifera Indica* L.) as Function of Storage Temperature. *Revista Facultad Nacional de Agronomia* 69(12):7985–95.
- Arvanitoyannis, I., A. Bouletis, and D. Ntonias. 2014. *Application of Modified Atmosphere Packaging on Quality of Selected Vegetables*. 1st ed. edited by R. W. Hartel. New York: Springer Science+Business Media, LLC.
- Barrios, S., P. Lema, and F. Marra. 2014. Modelling Passive Modified Atmosphere Packaging of Strawberries: Numerical Analysis and Model Validation. *International Food Research Journal* 21(2):507–15.
- Barrios, S., A. De Acero, G. Chao, V. De Armas, G. Ares, A. Martín, M. Soubes and P. Lema. 2014. Passive Modified Atmosphere Packaging Extends Shelf Life of Enzymatically and Vacuum-Peeled Ready-to-Eat Valencia Orange Segments. *Journal of Food Quality* 37(2):135–47.
- Belay, Z.A., O.J. Caleb, and U.L. Opara. 2016. Modelling Approaches for Designing and Evaluating the Performance of Modified Atmosphere Packaging (MAP) Systems for Fresh Produce: A Review. *Food Packaging and Shelf Life* 10:1–15.
- Bhande, S.D., M.R. Ravindra, and T.K. Goswami. 2008. Respiration Rate of Banana Fruit under Aerobic Conditions at Different Storage Temperatures. *Journal of Food Engineering* 87(1):116–23.
- Bochtis, D.D., C.G. Sørensen, O. Green and T. Bartzanas. 2011. A Diagnostic System for Improving Biomass Quality Based on a Sensor Network. *Sensors* 11(5):4990–5004.
- Castellanos, D.A., J.P. Cerisuelo, P. Hernandez-muñoz, A.O. Herrera and R.Gavara. 2016. Modelling the Evolution of O₂ and CO₂ Concentrations in MAP of a Fresh Product: Application to Tomato. *Journal of Food Engineering* 168:84–95.
- Costa, C., A. Lucera, A. Conte, M. Mastromatteo, B. Speranza, A. Antonacci and M.A. Del Nobile. 2011. Effects of Passive and Active Modified Atmosphere Packaging Conditions on Ready-to-Eat Table Grape. *Journal of Food Engineering* 102(2):115–21.
- Devanesan, J.N., A. Karupiah and C.V.K. Abirami. 2012. Effect of Storage Temperatures, O₂ Concentrations and Variety on Respiration of Mangoes. *Journal of Agrobiological Science* 28(2):119–28.
- Fonseca, S.C., F.A.R. Oliveira and J.K. Brecht. 2002. Modelling Respiration Rate of Fresh Fruits and Vegetables for Modified Atmosphere Packages: A Review. *Journal of Food Engineering* 52(2):99–119.
- González-buesa, J. and M.L. Salvador. 2019. An Arduino-Based Low Cost Device for the Measurement of the Respiration Rates of Fruits and Vegetables. *Computers and Electronics in Agriculture* 162:14–20.
- Helena, G., M., Randolph, M.B. Domingos, P.F. Almeida and F.X. Malcata. 2010. “Modelling Respiration of Packaged Fresh-Cut ‘Rocha’ Pear as Affected by Oxygen Concentration and Temperature.” *Journal of Food Engineering* 96(1):74–79.
- Iqbal, T., F.A.S. Rodrigues, P.V. Mahajan and J.P. Kerry. 2009. Mathematical Modeling of the Influence of Temperature and Gas Composition on the Respiration Rate of Shredded Carrots. *Journal of Food Engineering* 91(2):325–32.
- Kirtil, E., and M.H. Oztop. 2016. *Controlled and Modified Atmosphere Packaging*. Elsevier.
- Liu, H., D.Li, W. Xu, Y. Fu, R. Liao, J. Shi and Y. Chen. 2021. Application of Passive Modified Atmosphere Packaging in the Preservation of Sweet Corns at Ambient Temperature. *Lwt* 136(P1):110295.
- Lokke, M.M., H.F. Seefeldt, G. Edwards and O. Green. 2011. Novel Wireless Sensor System for Monitoring Oxygen, Temperature and Respiration Rate of Horticultural Crops Post Harvest. *Novel Wireless Sensor System for Monitoring Oxygen, Temperature and Respiration Rate of Horticultural Crops Post Harvest* 11:8456–68.
- Lokke, M.M., H.F. Seefeldt, G. Edwards and O. Green. 2011. Novel Wireless Sensor System for Monitoring Oxygen, Temperature and Respiration Rate of Horticultural Crops Post Harvest. *Sensors* 11(9):8456–68.
- Mangaraj, S., and T.K. Goswami. 2011. Measurement and Modeling of Respiration Rate of Guava (Cv. Baruipur) for Modified Atmosphere Packaging. *International Journal of Food Properties* 14(3):609–28.
- Mangaraj, S., T.K. Goswami, S.K. Giri, and C.G. Joshy. 2014. Design and Development of Modified Atmosphere Packaging System for Guava (Cv. Baruipur). *Food Science and Technology* 51(November):2925–46.
- Paulsen, E., S. Barrios and P. Lema. 2019. Ready-to-Eat Cherry Tomatoes: Passive Modified Atmosphere Packaging Conditions for Shelf Life Extension. *Food Packaging and Shelf Life* 22(September):100407.
- Pigments, Green, Containing Lead, and Related Coatings. 2006. “Standard Specification for Chrome Yellow and Chrome Orange Pigments 1.” 67(Reapproved):3–5.
- Pretel, M.T., M. Souty, and F. Romojaro. 2000. Use of Passive and Active Modified Atmosphere Packaging to Prolong the Postharvest Life of Three Varieties of Apricot (*Prunus Armeniaca*, L.). *European Food Research and Technology* 211(3):191–98.

- Rux, G., O.J. Caleb, A. Fröhling, W.B. Herppich and P.V. Mahajan. 2017. Respiration and Storage Quality of Fresh-Cut Apple Slices Immersed in Sugar Syrup and Orange Juice. *Food and Bioprocess Technology* 10(11):2081–91.
- Sandhya. 2010. Modified Atmosphere Packaging of Fresh Produce: Current Status and Future Needs. *LWT - Food Science and Technology* 43(3):381–92.
- Soumya, S.L., and B.R. Nair. 2014. Changes in the Biochemical Profile of Fruits of Two Species of *Averrhoa* during Development. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* 6(4):572–77.
- Thompson, A.K. 2015a. *Fruit and Vegetable Storage: Hypobaric, Hyperbaric and Controlled Atmosphere*.
- Thompson, A.K. 2015b. Fruit and Vegetable Storage: Hypobaric, Hyperbaric and Controlled Atmosphere. *Fruit and Vegetable Storage: Hypobaric, Hyperbaric and Controlled Atmosphere (Dalrymple 1967)*:1–126.
- Torrieri, E, S. Cavella and P. Masi. 2009. Modelling the Respiration Rate of Fresh-Cut Annurca Apples to Develop Modified Atmosphere Packaging. *International Journal of Food Science and Technology* 44(5):890–99.
- Viškelis, P., R. Bobinaitė and L. Lepse. 2012. Quality Changes of Green Onions Stored in Modified Atmosphere. 31:40–49.
- Willett, M. 2014. Oxygen Sensing for Industrial Safety - Evolution and New Approaches. *Sensors (Switzerland)* 14(4):6084–6103.
- Yousuf, B., O.S. Qadri and A.K. Srivastava. 2018. Recent Developments in Shelf-Life Extension of Fresh-Cut Fruits and Vegetables by Application of Different Edible Coatings: A Review. *LWT - Food Science and Technology* 89:198–209.