JOFE : Journal of Food Engineering | E-ISSN. 2810-0824
Vol. 5 No. 4 Oktober 2026

Hal. 225-236

Perubahan Laju Respirasi Tiga Varietas Pisang Lokal Selama Penyimpanan dengan Suhu yang Bervariasi

Changes in The Respiration Rates of Three Local Banana Varieties During Storage at Varying Temperatures

Dwi Rahayu[1*], Narjisul Ummah[1], Mas Wisnu Aninditya[2], Mona Nur Moulia[1], Enrico Syaefullah[1]

[1]Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Politeknik Enjiniring Pertanian Indonesia
[2]Program Studi Teknologi Mekanisasi Pertanian, Politeknik Enjiniring Pertanian Indonesia

*Email Koresponden: dwii.rahayu@gmail.com

Received : 19 Juni 2026 | Accepted : 24 Agustus 2026 | Published : 1 September 2026

Kata Kunci

klimakterik, laju respirasi, pisang, repeated measures anova.

Copyright (c) 2026
Dwi Rahayu, Narjisul Ummah, Mas Wisnu Aninditya, Mona Nur Moulia, Enrico Syaefullah

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

ABSTRAK

Pisang merupakan komoditas buah dengan hasil panen tertinggi skala nasional di Indonesia. Penanganan pasacapanen pisang masih menjadi tantangan tersendiri, terutama untuk memperpanjang umur simpan buah. Penurunan laju respirasi dapat dilakukan untuk menambah umur simpan buah dan menunda proses pematangan buah. Tujuan dari penelitian ini yaitu melakukan pengukuran laju respirasi dan menganalisis perubahan laju respirasi buah pisang lokal (pisang ambon, pisang kepok, dan pisang raja) dengan suhu penyimpanan yang berbeda-beda (28 ^{o}C, 15 ^{o}C, dan 10 ^{o}C). Laju respirasi diukur menggunakan respirometer dengan metode *closed systems* berdasarkan perubahan konsentrasi O_2 selama 9 hari penyimpanan. Hasil penelitian menunjukkan pisang ambon memiliki laju respirasi tertinggi pada ketiga suhu penyimpanan. Laju respirasi pada suhu 28 ^{o}C meningkat 4-5 kali lebih tinggi dibandingkan pada suhu dingin. Hasil analisis menggunakan *three way repeated measures* menunjukkan adanya interaksi antara jenis pisang, suhu, dan waktu pengukuran, dimana ketiganya memberikan pengaruh signifikan terhadap perubahan laju respirasi. Perbedaan varietas buah berpengaruh terhadap laju respirasi dan penurunan suhu penyimpanan berperan signifikan dalam penurunan laju respirasi buah.

Keywords

climacteric, respiration rates, banana, repeated measures anova.

ABSTRACT

Bananas are commodity with the highest national yield in Indonesia. Post-harvest handling of bananas remains a challenge, especially in extending the fruit's shelf life. Reducing the respiration rate can be done to extend the fruit's shelf life and delay the fruit ripening process. The purpose of this study was to measure the respiration rate and

analyze changes in the respiration rate of local bananas (Ambon bananas, Kepok bananas, and Raja bananas) at different storage temperatures (28 ^oC, 15 ^oC, and 10 ^oC). The respiration rate was measured using a respirometer with a closed systems method based on changes in O_2 concentration during 9 days of storage. The results showed that Ambon bananas had the highest respiration rate at all three storage temperatures. The respiration rate at 28 ^oC increased 4-5 times higher than at cold temperatures. The results of the analysis using three-way repeated measures showed an interaction between banana type, temperature, and measurement time, where all three had a significant influence on changes in the respiration rate. Differences in fruit varieties affected the respiration rate, and a decrease in storage temperature played a significant role in reducing the fruit's respiration rate.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara penghasil buah tropis yang cukup terkenal di dunia. Salah satu buah tropis yang banyak diproduksi dan dikonsumsi di Indonesia adalah buah pisang. Pada tahun 2023 hingga 2025 jumlah produksi pisang cenderung mengalami kenaikan dan menjadi hasil panen tertinggi nasional untuk komoditas buah dengan nilai produksi lebih dari 9 juta ton per tahun (Badan Pusat Statistik, 2026). Data ini sebanding dengan jumlah konsumsi pisang yang juga menjadi buah yang paling banyak dikonsumsi di Indonesia dengan rata-rata 9 kg/kapita/tahun (Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian, 2022). Ketersediaan pisang yang melimpah menjadi potensi yang besar untuk peningkatan jumlah ekspor pisang, khususnya pisang lokal Indonesia. Keragaman jenis pisang lokal memiliki peran penting dalam komoditas unggulan dalam perdagangan internasional. Ekspor pisang telah memberikan dampak yang besar terhadap pertumbuhan perekonomian Indonesia (Zulcarnain, 2024), namun penanganan buah pisang masih menjadi tantangan yang perlu dihadapi.

Tantangan terbesar dalam penanganan buah pisang yaitu umur simpan yang singkat dan ketahanan terhadap suhu rendah yang kurang baik. Pisang dalam kondisi tua (*mature green*) hanya dapat disimpan selama 5-7 hari, sementara pisang yang sudah matang hanya memiliki umur simpan 2-3 hari pada penyimpanan suhu ruang (Kader, 1996). Umur simpan pisang yang singkat juga berkaitan dengan sifat pisang sebagai buah klimakterik. Ciri khas buah klimakterik yaitu proses pematangannya tetap berlangsung meskipun sudah di panen. Pada buah klimakterik, proses pematangan buah akan lebih cepat terjadi apabila buah sudah melewati fase puncak klimakterik, yang pada akhirnya mempercepat proses pembusukan (Kou & Wu, 2018; Liu, Northwest, Toulouse, & Fruits, 2017). Selama proses pematangan terjadi mutu internal buah baik dari segi hormonal, pigmen, warna, tekstur, kandungan nutrisi, serta karakteristik fisikokimia lainnya akan mengalami perubahan (Choo & Sunway, 2018). Laju perubahan kualitas ini sesuai dengan waktu tercapainya puncak klimakterik, sehingga untuk memperlambat laju pematangan buah dapat dilakukan dengan memperlambat fase puncak klimakterik.

Puncak klimakterik ditandai dengan peningkatan laju respirasi pada waktu tertentu hingga menuju puncak, kemudian laju respirasi kembali menurun atau memasuki fase pasca-klimakterik (Kou & Wu, 2018). Sehingga penundaan fase puncak klimakterik dapat dilakukan dengan penurunan laju respirasi buah. Laju respirasi dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya baik secara internal maupun eksternal produk. Faktor internal meliputi tingkat kematangan, bagian-bagian tanaman (akar, batang, daun, buah), tahapan perkembangan, dan

kandungan nutrisi. Sementara faktor eksternal terdiri dari suhu, komposisi gas (O_2 dan CO_2), konsentrasi etilen, dan stress pada produk (Kader & Saltveit, 2002; Thompson, 2016). Diantara faktor-faktor tersebut, suhu menjadi faktor yang sangat berpengaruh terhadap peningkatan maupun penurunan laju respirasi produk segar. Menurut aturan Van't Hoff, setiap peningkatan suhu sebesar 10^{o}C dapat meningkatkan laju reaksi biologis maupun kimia sebanyak 2 kali lipat, termasuk laju respirasi (Fonseca *et al*., 2002; Kader & Saltveit, 2002; Yahia, 2009).

Ghosh & Dash (2018), melakukan penyimpanan pisang bhimkol pada suhu 15-35 ^{o}C, hasilnya menunjukkan bahwa pisang yang disimpan pada suhu rendah memiliki laju respirasi yang lebih rendah. Hal ini juga didukung oleh Bhande *et al*, 2008 yang melakukan penelitian sejenis pada pisang varietas martaman, laju respirasi oksigen pada suhu 30 ^{o}C mencapai 56,43 ml/kg jam menurun signifikan pada suhu 20 ^{o}C menjadi 26,17 ml/kg jam, begitu juga pada suhu yang paling rendah di 10 ^{o}C (16,36 ml/kg jam). Laju respirasi varietas pisang lokal mas kirana yang disimpan pada suhu 28 ^{o}C meningkat dua kali lipat dibandingkan pada penyimpanan 10 ^{o}C dan 15 ^{o}C (Rahayu *et al*, 2020). Pada buah lainya juga mengalami fenomena serupa, buah naga yang disimpan pada suhu rendah dapat menekan laju respirasi secara signifikan dibandingkan pada suhu yang lebih tinggi (Ho *et al*, 2020).

Penurunan suhu ruang penyimpanan pisang perlu memperhatikan batasan suhu yang direkomendasikan untuk penyimpanan pisang. Menurut Kader (1996), suhu yang direkomendasikan untuk penyimpanan pisang adalah 13-15^{o}C. Apabila pisang disimpan pada suhu kurang dari 13^{o}C maka dapat memunculkan gejala *chilling injury*. *Chilling injury* pada pisang dapat menyebabkan warna kulit pisang menjadi kusam dan berwarna keabuan, munculnya bintik hitam, selain itu, pada daging pisang akan terbentuk garis-garis serat pisang yang berwarna abu atau hitam (Thompson, 2003, 2016). Gejala ini tentunya akan mempengaruhi proses pematangan pisang menjadi tidak sempurna dan dapat merusak cita rasa pisang. Namun hal ini dapat bervariasi tergantung dari varietas pisang, perlakuan *pre-treatment* sebelum penyimpanan, dan kondisi ruang penyimpanan.

Perubahan laju respirasi menjadi parameter penting dalam teknologi penanganan pascapanen, khususnya pada fasilitas penyimpanan bahan hasil pertanian segar. Sementara data mengenai laju respirasi komoditas buah lokal di Indonesia masih sangat terbatas. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini yaitu melakukan pengukuran laju respirasi dan menganalisis perubahan laju respirasi pada tiga varietas pisang lokal dengan kondisi suhu ruang penyimpanan yang beragam.

2. METODE

2.1 Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan pisang (*Musa paradisiaca L.*) dengan varietas pisang ambon, pisang kepok, dan pisang raja. Pisang kepok dan pisang raja diperoleh langsung dari kebun Badan Perakitan dan Modernisasi Pertanian Tanaman Sayuran, Tangerang. Sementara Pisang ambon diperoleh dari Pasar Induk Tangerang. Buah yang dipilih adalah buah dengan kondisi tua (*mature green*) namun belum matang sempurna. Buah dipilih berdasarkan observasi visual berdasarkan warna, bentuk, dan keseragaman berat dan ukuran, serta tidak mengalami kerusakan fisik. Buah dicuci dan dikeringkan menggunakan lap bersih untuk menghilangkan adanya kotoran dan getah yang menempel.

Alat yang digunakan adalah perangkat respirometer (Gambar 1), *oxygen tester smart sensor* AR8100, timbangan digital 3 kg/0.1g, *showcase* polytron SCN 180, *smart temperature humidity monitoring switch*, *humidifier*, *thermohygrometer sensor*, dan wadah. Perangkat

respirometer terbuat dari toples kaca dengan volume 2500 - 3300 ml yang dilengkapi dengan sensor suhu dan kelembapan.

2.2 Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan perlakuan suhu, jenis pisang, dan waktu pengukuran. Suhu penyimpanan yang digunakan yaitu 28 ^{o}C (T1), 15 ^{o}C (T2) dan 10 ^{o}C (T3) dan 3 (tiga) jenis pisang lokal yaitu pisang ambon (PA), pisang kepok (PK), dan pisang raja (PR). Pemilihan suhu penyimpanan berdasarkan batas rekomendasi dalam penyimpanan pisang yaitu 13-15 ^{o}C, suhu 28 ^{o}C sebagai suhu ruang, dan 10 ^{o}C sebagai suhu penyimpanan dingin. Hal ini juga didukung dengan penelitian sebelumnya oleh Bhande *et al* (2008) dan Rahayu, *et al* (2020) yang melakukan penelitian dalam rentang suhu yang sama. Pisang disimpan selama 9 hari, dengan waktu pengukuran setiap 1 (satu) hari sekali.

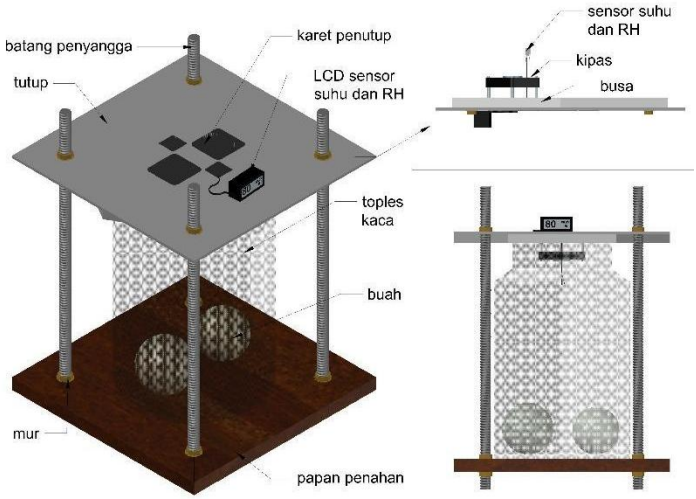
2.3 Pengukuran Laju Respirasi

Penelitian diawali dengan persiapan sampel bahan, sebelum sampel dimasukan ke dalam respirometer, sampel ditimbang dengan berat pisang ambon 140-160 gram, pisang raja 120-150 gram, dan pisang kepok 80-90 gram. Selain itu pengukuran volume sampel dilakukan dengan metode *water displacement*, diperoleh volume pisang ambon 170-190 ml, pisang raja 150-190 ml, sementara pisang kepok 140-150 ml. Pengukuran berat dan volume sampel menjadi parameter dalam perhitungan laju respirasi sampel. Setiap respirometer diisi 2 (dua) buah pisang dengan varietas, berat dan ukuran yang sama. Sampel pisang ambon menggunakan respirometer dengan volume wadah 3300 ml, sementara pisang kepok dan pisang raja menggunakan volume wadah 2500 ml. Hal ini disebabkan ukuran pisang ambon yang lebih besar dibandingkan pisang kepok dan pisang raja, sehingga membutuhkan ukuran wadah yang lebih besar. Selanjutnya sampel disimpan sesuai dengan perlakuan suhu yang sudah ditentukan yaitu, suhu ruang 28 ^{o}C, 15 ^{o}C, dan 10 ^{o}C selama 9 hari. Konsentrasi O_2 diukur menggunakan metode *closed system* dengan waktu pengukuran pada jam ke-0, 6, 18, 42, 66, 90, 114, 138, 162, 186, dan 210 atau sama dengan selama total durasi penyimpanan 9 hari. Masing-masing perlakuan mendapatkan tiga kali pengulangan. Data pengukuran konsentrasi oksigen tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung laju respirasi konsumsi O_2. Laju respirasi konsumsi O_2 dapat dihitung menggunakan persamaan (1). Pengamatan suhu dan kelembapan juga diamati baik di dalam respirometer maupun pada suhu dan RH ruang penyimpanan.

$$R_{O_2} = \frac{(y_{O_2}{}^{t_i} - y_{O_2}{}^{t_f}) \times v_f}{100\ M\ (t_f - t_i)} \quad (1)$$

dimana RO_2 adalah laju respirasi konsumsi oksigen (mlO_2/kg jam), yo_2 adalah konsentrasi oksigen (%), vf adalah volume ruang hampa respirometer (ml), M merupakan massa produk di dalam respirometer (kg), serta ti adalah waktu pengukuran mula-mula (jam) sedangkan tf adalah waktu akhir pengukuran (jam). Tulisan tf dan ti di atas garis pada konsentrasi oksigen menunjukkan konsentrasi oksigen pada waktu awal dan akhir pengukuran.

JOFE : Journal of Food Engineering | E-ISSN. 2810-0824
Vol. 5 No. 4 Oktober 2026
Hal. 225-236



Gambar 1. Respirometer
Sumber: (Rahayu, Bintoro, & Saputro, 2021)

2.4 Analisa Statistik

Data hasil pengukuran selanjutnya dianalisis secara statistik parametrik dengan menggunakan *three way repeated measures anova* dan uji lanjut menggunakan uji DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*). Analisis dilakukan dengan menggunakan program Statistical Package for Social Sciences (SPSS) ver 25. Pada analisis *repeated measures* interaksi antara jenis pisang (3), suhu penyimpanan (3), dan waktu pengukuran (4) dapat diketahui. Sehingga faktor yang dianalisis adalah 3 x 3 x 4 *three way repeated measures*. Namun sebelum melakukan analisis *repeated measures*, data yang diperoleh harus sudah memenuhi asumsi yang meliputi independensi data, yaitu data pengukuran antar perlakuan tidak saling berpengaruh satu sama lain, asumsi kedua yaitu distribusi data normal, dan asumsi ketiga yaitu memenuhi asumsi sphericity menggunakan *Mauchly's's test of Sphericity*, dimana $p < 0,05$. Jika salah satu asumsi tidak tepenuhi hasil analisis tidak dapat percaya (Singh & Muqarram, 2021). Setelah interaksi ketiga faktor diketahui, pengaruh dari masing-masing faktor terhadap laju respirasi dianalisis menggunakan uji lanjut DMRT. Uji DMRT pada *3-way repeated measures* dilakukan pada faktor 1 (jenis pisang) dan faktor 2 (suhu penyimpanan) (*between subjects*) terhadap laju respirasi yang diukur dari waktu ke waktu (*within subjects*). Dengan demikian, perubahan laju respirasi yang terjadi selama penyimpanan dapat dianalisis secara keseluruhan terhadap perlakuan yang diberikan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perubahan konsentrasi O_2

Pada dasarnya, respirasi merupakan proses penguraian senyawa polisakarida menjadi senyawa yang lebih sederhana. Dalam proses respirasi, oksigen dibutuhkan sebagai bahan masukan atau input bersama dengan glukosa. Pemecahan glukosa menjadi senyawa yang lebih sederhana berlangsung melalui 3 tahap utama yaitu glikolisis, siklus tricarboxylic acid (TCA), dan sistem transport elektron (Kader & Yahia, 2011; Kader & Saltveit, 2002). Melalui 3 proses ini glukosa diuraikan menjadi uap air, CO2 dan energi. Keberadaan oksigen dalam proses respirasi menentukan apakah proses berlangsung secara aerobik atau anaerobik. Energi yang

JOFE : Journal of Food Engineering | E-ISSN. 2810-0824
Vol. 5 No. 4 Oktober 2026
Hal. 225-236

dihasilkan melalui respirasi aerobik jauh lebih besar dibandingkan respirasi anaerobik (Gross, Wang, & Saltveit, 2016; Mendoza, Castellanos, Garc, & Vargas, 2016). Pada kondisi anaerobik, komposisi CO_2 di ruang penyimpanan jauh lebih besar dibandingkan keberadaan O_2, kondisi ini biasa disebut juga fermentasi. Fermentasi tidak diharapkan terjadi selama penyimpanan produk segar karena ini menunjukkan buah sudah memasuki fase pembusukkan. Oleh karena itu, untuk mencegah hal tersebut, pengaturan kondisi ruang penyimpanan yang meliputi suhu dan/atau atmosfer perlu dilakukan.

Pada penelitian ini sampel disimpan pada 3 suhu yang berbeda, suhu ruang atau 28 ^oC (T1), suhu 15^oC (T2) dan suhu 10^oC (T3), tanpa adanya pengaturan kondisi atmosfer. Ketiga sampel yang disimpan memiliki konsentrasi oksigen awal tanpa adanya modifikasi yaitu berkisar antara 20,6% - 21%. Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan, konsentrasi oksigen mengalami penurunan dari hari pertama hingga akhir penyimpanan, meskipun terdapat beberapa nilai yang fluktuatif pada hari-hari tertentu. Suhu penyimpanan dingin berhasil menahan penurunan O_2 dibandingkan pada suhu ruang. Pada **Tabel 1**, terlihat bahwa pada hari ke-9, konsentrasi O_2 menurun hingga 12,57%, 17,20%, dan 14,80% secara berturut-turut untuk pisang raja, kepok, dan ambon pada penyimpanan suhu ruang. Sebaliknya pada suhu 10 ^oC dan 15 ^oC penurunan oksigen pada semua sampel berhasil ditekan pada rentang 18 – 20 ^oC. Hal ini menunjukkan bahwa suhu berperan penting dalam menghambat konsumsi oksigen selama penyimpanan. Hasil ini juga telah dibuktikan pada penyimpanan pisang bhimkol (Ghosh & Dash, 2018), pisang martaman (Bhande, Ravindra, & Goswami, 2008) dan pisang mas (Rahayu, Bintoro, & Saputro, 2019).

Tabel 1. Perubahan konsentrasi O_2 (%)

Hari ke-	T1			T2			T3		
	PA	PK	PR	PA	PK	PR	PA	PK	PR
0	20.60 ± 0.00	20.60 ± 0.58	20.60 ± 0.00	20.60 ± 0.00	20.60 ± 0.00	20.60 ± 0.00	20.60 ± 0.06	20.60 ± 0.00	20.60 ± 0.00
1	15.40 ± 1.31	19.43 ± 0.25	18.87 ± 0.32	19.47 ± 0.38	20.43 ± 0.06	20.20 ± 0.17	19.93 ± 0.32	20.40 ± 0.00	20.37 ± 0.06
2	13.73 ± 2.00	19.40 ± 0.30	18.67 ± 0.23	19.03 ± 0.49	20.30 ± 0.00	19.90 ± 0.17	19.87 ± 0.38	20.30 ± 0.10	20.30 ± 0.10
3	13.60 ± 2.50	19.13 ± 0.64	17.93 ± 1.50	18.73 ± 0.32	20.30 ± 0.10	19.90 ± 0.26	19.90 ± 0.35	20.20 ± 0.10	20.27 ± 0.15
4	14.20 ± 2.56	15.57 ± 3.32	18.93 ± 0.40	18.63 ± 0.68	20.17 ± 0.15	19.80 ± 0.36	20.03 ± 0.42	20.13 ± 0.12	20.10 ± 0.20
5	14.23 ± 2.47	15.93 ± 6.00	16.03 ± 2.63	18.70 ± 0.72	20.17 ± 0.23	19.80 ± 0.26	20.07 ± 0.38	20.07 ± 0.06	20.03 ± 0.06
6	14.77 ± 2.42	15.80 ± 6.32	14.37 ± 1.61	18.70 ± 0.66	20.27 ± 0.23	19.77 ± 0.40	19.90 ± 0.44	20.13 ± 0.06	20.03 ± 0.15
7	14.60 ± 2.26	16.43 ± 5.40	13.97 ± 1.04	18.70 ± 0.36	20.07 ± 0.25	19.77 ± 0.47	19.90 ± 0.36	20.07 ± 0.12	19.83 ± 0.15
8	14.57 ± 2.22	17.00 ± 4.24	13.30 ± 2.07	18.87 ± 0.38	20.23 ± 0.21	19.83 ± 0.40	20.00 ± 0.36	19.97 ± 0.06	19.97 ± 0.12
9	14.80 ± 1.71	17.20 ± 3.98	12.57 ± 1.29	18.80 ± 0.52	20.27 ± 0.23	19.80 ± 0.44	19.80 ± 0.44	20.13 ± 0.06	20.07 ± 0.12

Keterangan: PA = Pisang Ambon; PK = Pisang Kepok; PR = Pisang Raja

Diantara ketiga sampel pisang yang diukur, pisang ambon mengkonsumsi oksigen lebih tinggi dibandingkan pisang kepok dan pisang raja. Rata-rata perubahan konsentrasi oksigen pisang ambon adalah 15,34% selama 9 hari di suhu ruang, disusul oleh pisang raja 16,83% dan pisang kepok sebesar 17,87%. Meskipun di hari akhir penyimpanan, penurunan paling rendah terdapat pada pisang kepok, namun secara rerata konsumsi oksigen pisang ambon lebih besar. Pada penyimpanan suhu dingin T2 dan T3 juga menunjukkan hasil yang serupa, ketiga pisang menunjukkan perubahan konsentrasi oksigen yang beragam namun tidak jauh berbeda.

Perbedaan perubahan konsumsi oksigen pada buah dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti tahapan perkembangan, varietas, kandungan gizi, karakteristik fisikokimia, dan kondisi buah (terdapat luka atau memar pada buah). Secara fisik, ukuran pisang kepok lebih kecil dibandingkan pisang ambon dan pisang raja. Ustun *et al* (2022), meneliti tentang pengaruh ukuran tomat terhadap laju respirasi dan laju produksi etilen pada tahap panen dan pematangan. Hasilnya menunjukkan bahwa tomat dengan ukuran kecil memiliki laju respirasi paling tinggi, sementara laju respirasi terendah terdapat pada tomat dengan ukuran sedang. Berdasarkan hasil

tersebut menunjukkan bahwa ukuran buah tomat memiliki korelasi terhadap laju respirasi. Sebaliknya pada buah pisang, pisang kepok dengan ukuran paling kecil memiliki laju respirasi yang terendah, sementara pisang ambon dan raja dengan ukuran yang lebih besar memiliki laju repirasi lebih tinggi. Hal ini mungkin terjadi karena adanya perbedaan kandungan gizi antara tomat dan pisang. Kandungan karbohidrat pada tomat jauh lebih rendah (4,01 gram) daripada pisang (22,8 gram) per 100 gram (USDA, 2019), hal ini tentu mempengaruhi kebutuhan oksigen dalam proses respirasinya.

Faktor fisik lainnya yaitu ketebalan kulit pisang. Seperti halnya buah pisang utuh, kulit pisang juga mengalami penebalan dan perubahan karakteristik selama proses panen dan pematangan. Kulit pisang yang semakin menebal menjadi penghalang proses respirasi dan menghambat proses penyerapan O_2. Selain itu, kulit pisang juga menjadi pelindung daging pisang dari luka akibat gerakan mekanis (Bugaud, Ocrisse, Salmon, & Rinaldo, 2014).

Penyimpanan pada suhu 10 ^oC menunjukkan adanya gejala *chilling injury* pada ketiga pisang. *Chilling injury* bukan hanya disebabkan pada penyimpanan suhu rendah tetapi juga dipengaruih oleh durasi atau lama waktu produk disimpan dalam ruang penyimpanan suhu rendah. Gejala *chilling injury* pada ketiga pisang ditunjukan pada warna kulit pisang yang menjadi kusam serta munculnya warna kecoklatan pada jaringan vaskular kulit pisang (Murmu & Mishra, 2018). Pisang yang mengalami *chilling stress* mengakibatkan proses respirasi berlangsung abnormal dan menjadi gejala awal *chilling injury*.

3.2 Laju respirasi O_2

Laju respirasi O_2 diperoleh dari perhitungan perubahan konsentrasi O_2 dalam waktu tertentu dikalikan dengan *free volume* dalam respirometer dan dibandingkan dengan massa sampel dikalikan dengan waktu pengukuran. Besar kecilnya perubahan konsentrasi O_2 selama penyimpanan sangat mempengaruhi laju respirasi yang dihasilkan.

Pada buah klimakterik, perubahan laju respirasi oksigen terjadi dengan mengikuti pola tertentu. Laju respirasi oksigen akan mengalami penurunan secara perlahan, kemudian terjadi penurunan yang cukup drastis kemudian naik hingga mencapai puncak klimakterik, lalu terjadi penurunan kembali hingga akhirnya lama kelamaan stabil (Fonseca *et al*., 2002; Gross *et al*., 2016; Kou & Wu, 2018). Fenomena ini juga terjadi bersamaan dengan laju produksi etilen dan laju pematangan produk. Waktu untuk mencapai puncak klimakterik serta tinggi rendahnya puncak klimakterik dipengaruhi oleh jenis buah dan kondisi ruang penyimpanan (suhu dan komposisi atmosfer).

Grafik laju respirasi sampel pisang kepok menunjukkan dengan jelas puncak klimakterik yang terjadi (Gambar 2). Pada pisang kepok, puncak klimakterik terjadi pada hari ke-4 penyimpanan. Pada pisang raja, pengukuran laju respirasi selama 9 hari belum mampu memperlihatkan adanya puncak klimakterik dengan jelas, ada sedikit peningkatan laju respirasi pada hari ke-5 namun tidak terlihat terlalu jelas. Sebaliknya pada pisang ambon, laju respirasi masih mengalami penurunan hingga akhir penyimpanan. Fenomena tidak terekamnya laju respirasi selama penyimpanan dapat terjadi karena waktu pengukuran yang kurang sering, sehingga saat terjadinya puncak klimakterik terlewat.

Faktor lain yang berpengaruh terhadap laju respirasi adalah suhu penyimpanan. Penurunan suhu penyimpanan juga menjadi faktor penundaan puncak klimakterik. Pada ketiga sampel, laju respirasi pada suhu 15 °C dan 10 °C cenderung stabil dan tidak menunjukkan adanya puncak klimakterik. Penundaan puncak klimakterik akan bersamaan dengan penundaan proses pematangan buah. Pada suhu rendah, perubahan kualitas produk segar akan terhambat

sehingga pematangan buah berlangsung lebih lama. Penundaan proses pematangan akan berakibat pada bertambahnya umur simpan buah.

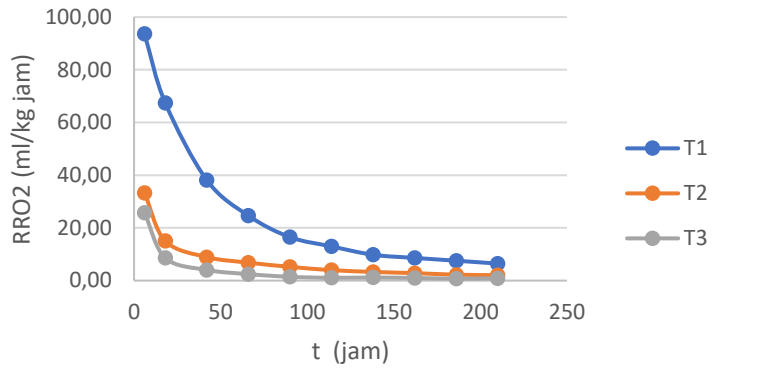
Berdasarkan grafik pada Gambar 1, laju respirasi ketiga pisang pada suhu ruang 4-5 kali lipat lebih tinggi dibandingkan pada T2 dan T3. Hal ini membuktikan bahwa penyimpanan pada suhu rendah dapat menekan laju respirasi buah dengan signifikan. Fenomena ini juga sudah dibuktikan pada komoditas buah lainnya seperti mangga (Agudelo & Restrepo, 2016; Ravindra & Goswami, 2008), jambu merah (Mangaraj, Goswami, Mangaraj, & Goswami, 2011; Wang, Duan, & Hu, 2009), pepaya (Rahman, Talib, Aziz, & Yusof, 2013), buah naga (Ho *et al*., 2020), tomat (Colombi *et al*., 2016), tomat ceri (Sousa & Oliveira, 2017), buah tin (Ghosh & Dash, 2020), dan bluberi (Paniagua, East, & Heyes, 2014).

3.3 Analisis Statistik

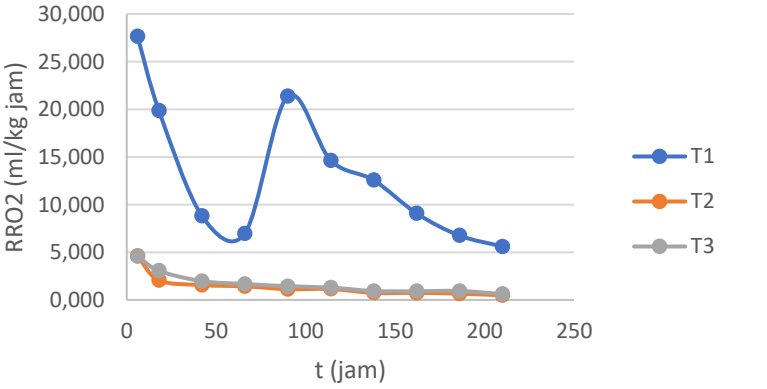
Data laju respirasi yang diperoleh selanjutnya dianalisis secara statistika untuk mengetahui pengaruh antara perlakuan yang diberikan terhadap hasil yang diperoleh. Analisis dilakukan menggunakan *3-way repeated measures* dengan faktor suhu penyimpanan (3 level), jenis pisang (3 level), dan waktu penyimpanan (4 level). Waktu penyimpanan yang digunakan yaitu pada hari ke- 1, 4, 6, dan 9 untuk mewakili perubahan laju respirasi yang terjadi dari waktu ke waktu selama total 9 hari penyimpanan. Pemilihan waktu penyimpanan untuk analisis dilakukan berdasarkan nilai laju respirasi yang terekam selama penyimpanan yang dan cukup menggambarkan pola respirasi produk dalam fase pra klimakterik, puncak klimakterik, dan pasca klimakterik.

Pemilihan jenis analisis *repeated measures* disebabkan untuk mengetahui apakah adanya interaksi dan pengaruh dari perlakuan yang diberikan terhadap variabel bebas yang diukur secara kontinyu. Asumsi normalitas, independensi data, dan spericity harus dipenuhi agar hasil analisis menggunakan *repeated measures* dapat diandalkan. Uji normalitas data menggunakan Shapiro-Wilk, namun pada *repeated measures* data dapat dianggap *robust* jika menggunakan data yang banyak. Sedangkan sphericity merupakan asumsi yang harus dipenuhi ketika menggunakan analisis *repeated measures*. Data variabel bebas yang diukur pada beberapa rentang waktu harus memiliki kondisi yang serupa. Uji sphericity dilakukan menggunakan Maulchy's Test of Sphericity. Jika nilai sphericity signifikan ($p < 0,05$) pada terdapat perbedaan antara grup, maka asumsi sphericity tidak terpenuhi, namun jika hasil uji menunjukkan $p > 0,05$ (tidak signifikan) maka tidak ada perbedaan antar grup sehingga asumsi sphericity terpenuhi (Field, 2003; Muhammad, 2023; Singh & Muqarram, 2021). Hasil Maulchy's Test of Sphericity pada penelitian ini diperoleh sebesar 0,07 sehingga dapat memenuhi asumsi analisis *repeated measures*.

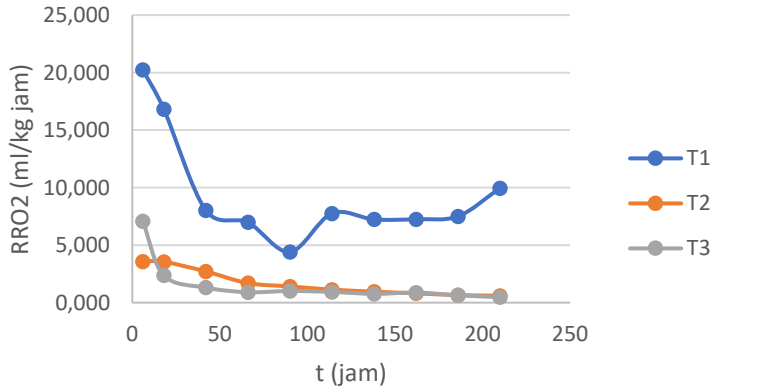
JOFE : Journal of Food Engineering | E-ISSN. 2810-0824
Vol. 5 No. 4 Oktober 2026
Hal. 225-236



(a)



(b)



(c)

Gambar 2. Laju respirasi a) pisang ambon, b) pisang kepok, dan c) pisang raja

Hasil uji lanjut DMRT terhadap laju respirasi dilakukan pada perlakuan jenis pisang dan suhu penyimpanan. **Tabel 2** menunjukkan pisang ambon memiliki perbedaan yang signifikan dibandingkan pisang kepok dan pisang raja dengan nilai rata-rata laju respirasi mencapai 16,56 mlO_2/kg jam. Sementara laju respirasi pisang kepok dan pisang raja tidak berbeda signifikan dengan nilai rata-rata secara berurutan 5,74 mlO_2/kg jam dan 5,18 mlO_2/kg jam. Selanjutnya pada faktor suhu penyimpanan, pengaruh suhu dingin memberikan efek yang signifikan terhadap perubahan laju respirasi ketiga pisang dengan nilai rata-rata 4,85 mlO_2/kg jam untuk suhu 15 ^oC dan 3,65 mlO_2/kg jam untuk suhu 10^oC. Sebaliknya rata-rata laju respirasi pada

suhu ruang 5-6 kali lipat lebih tinggi dari perlakuan T2 dan T3. Berdasarkan hal tersebut, dapat diketahui bahwa perbedaan suhu sebesar 5 ^{o}C tidak memberikan pengaruh terhadap perubahan laju respirasi buah. Hal ini sesuai dengan aturan Van't Hoff bahwa perubahan laju biologis ataupun kimiawi terjadi setiap perubahan suhu 10 ^{o}C.

Tabel 2. Perbandingan rata-rata laju respirasi dengan uji lanjut DMRT

Jenis Pisang	RRO_2 (ml/kg jam)	Suhu Penyimpanan	RRO_2 (ml/kg jam)
PA	16,56 ± 24,37 ^{b}	T1	18,99 ± 22,79 ^{b}
PK	5,74 ± 8,58 ^{a}	T2	4,85 ± 8,59 ^{a}
PR	5,18 ± 6,15 ^{a}	T3	3,65 ± 6,85 ^{a}

Keterangan: perbedaan notasi *superscript* a dan b pada setiap kolom menunjukkan perbedaan rata-rata yang terjadi pada setiap perlakuan.

4. KESIMPULAN

Pengukuran laju respirasi 3 (tiga) buah pisang lokal telah berhasil dilakukan dengan tiga variasi suhu penyimpanan menggunakan metode *closed system*. Penurunan suhu penyimpanan 10-15 ^{o}C terbukti efektif dalam menekan laju respirasi pisang hingga 4-5 kali lipat lebih rendah. Ketiga buah pisang memiliki laju respirasi yang beragam, dimana laju respirasi tertinggi dimiliki oleh pisang ambon, kemudian pisang kepok, dan pisang raja. Perbedaan laju respirasi antara ketiga varietas pisang dapat disebabkan beberapa faktor seperti kandungan nutrisi dan karakteristik fisik buah. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui faktor internal mana yang memberikan pengaruh terhadap perubahan laju respirasi pisang dengan varietas yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Politeknik Enjiniring Pertanian Indonesia yang telah membiayai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Agudelo, C., & Restrepo, C. (2016). Respiration kinetic of mango (Mangifera indica L.) as function of storage temperature. *Rev. Fac. Nac. Agron 69*(12), 7985–7995. https://doi.org/10.15446/rfna.v69n2.59143

Badan Pusat Statistik (BPS). (2026). Produksi Tanaman Buah-buahan dan Sayuran Tahunan Menurut Provinsi dan Jenis Tanaman, 2025. Diakses pada https://www.bps.go.id/id/statistics-table/3/U0dKc1owczVSalJ5VFdOMWVETnlVRVJ6YlRJMFp6MDkjMw==/produksi-tanaman-buah-buahan-dan-sayuran-tahunan-menurut-provinsi-dan-jenis-tanaman--2024.html?year=2025, terakhir diperbarui pada 25 Mei 2026.

Bhande, S. D., Ravindra, M. R., & Goswami, T. K. (2008). Respiration rate of banana fruit under aerobic conditions at different storage temperatures. *Journal of Food Engineering*, *87*(1), 116–123. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.11.019

Bugaud, C., Ocrisse, G., Salmon, F., & Rinaldo, D. (2014). Postharvest Biology and Technology Bruise susceptibility of banana peel in relation to genotype and post-climacteric storage conditions. *Postharvest Biology and Technology*, *87*, 113–119. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.08.009

Choo, W. S., & Sunway, B. (2018). Fruit Pigment Changes During Ripening. In *Encyclopedia of Food Chemistry*. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814026-0.21656-9

Colombi, S., Beauvoit, B., Nazaret, C., Camille, B., Vercambre, G., Gall, S. Le, Biais, B., Moing, A., & Dieuaide-, M. (2016). *Respiration climacteric in tomato fruits elucidated by constraint-based modelling*. https://doi.org/10.1111/nph.14301

Field, A. (2003). *Research Methods 2: Repeated Measures ANOVA* (pp. 1–28). Sage.

Fonseca, S. C., Oliveira, F. A. R., & Brecht, J. K. (2002). *Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages : a review*. *52*, 99–119.

Ghosh, T, & Dash, K. K. (2020). Modeling on respiration kinetics and modified atmospheric packaging of fig fruit. *Journal of Food Measurement and Characterization*. https://doi.org/10.1007/s11694-019-00359-2

Ghosh, Tabli, & Dash, K. K. (2018). Respiration rate model and modified atmosphere packaging of bhimkol banana. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, *11*(4), 186–195. https://doi.org/10.1016/j.eaef.2018.04.004

Gross, K. C., Wang, C. Y., & Saltveit, M. E. (2016). The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. *Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture*, *66*, 68–70. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1127-0

Ho, P. L., Tran, D. T., Hertog, M. L. A. T. M., & Nicolaï, B. M. (2020). Modelling respiration rate of dragon fruit as a function of gas composition and temperature. *Scientia Horticulturae*, *263*(October 2019), 109138. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109138

Kader, A A, & Yahia, E. M. (1996.). Postharvest biology of tropical and subtropical fruits. In *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits: Volume 1: Fundamental issues*. Woodhead Publishing Limited. https://doi.org/10.1533/9780857093622.79

Kader, Adel A, & Saltveit, M. (2002). Respiration and Gas Exchange. In J. A. Bartz & J. K. Brecht (Eds.), *Postharvest Physiologi and Pathology of Vegetables*. CRC Press.

Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia. (2022). Terus Dorong Peningkatan Konsumsi Buah Nusantara, Pemerintah Gelar Kembali Gelar Buah Nusantara (GBN) ke-7 Tahun 2022. Dalam siaran pers HM.4.6/435/SET.M.EKON.3/08/2022.

Kou, X., & Wu, M. (2018). Characterization of Climacteric and Non-Climacteric Fruit Ripening. In Y. Guo (Ed.), *Plant Senescenc: Methods and Protocols, Methods in Molecular Biology* (Vol. 1744, pp. 89–102). Springer Science+Business Media LLC.

Liu, M., Northwest, A., Toulouse, U. De, & Fruits, B. (2017). Ethylene and Fruit Ripening. In *Reference Module in Food Science*. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21256-0

Mangaraj, S., Goswami, T. K., Mangaraj, S., & Goswami, T. K. (2011). *Measurement and Modeling of Respiration Rate of Guava (CV . Baruipur) for Modified Atmosphere Packaging atmosphere packaging*. *2912*. https://doi.org/10.1080/10942910903312403

Mendoza, R., Castellanos, D. A., Garc, J. C., & Vargas, J. C. (2016). *Original article Ethylene production , respiration and gas exchange modelling in modified atmosphere packaging for banana fruits*. 777–788. https://doi.org/10.1111/ijfs.13037

Muhammad, L. N. (2023). Guidelines for repeated measures statistical analysis approaches with basic science research considerations. *The Journal of Clinical Investigation*, *11*(133), 2–4.

Murmu, S. B., dan Mishra, H. N. (2018). Post-harvest shelf-life of banan and guava: Mechanisms of common degradation problems and emerging counteracting strategies. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* Innfoo 2035. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.07.011

Paniagua, A. C., East, A. R., & Heyes, J. A. (2014). Postharvest Biology and Technology Interaction of temperature control deficiencies and atmosphere conditions during blueberry storage on quality outcomes. *Postharvest Biology and Technology*, *95*, 50–59. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.04.006

Rahayu, D., Bintoro, N., & Saputro, A. D. (2019). Mathematical analysis and modelling of respiration rate of tropical climacteric produces during storage under various temperatures Mathematical analysis and modelling of respiration rate of tropical climacteric produces during storage under various temper. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *355*(2019). https://doi.org/10.1088/1755-1315/355/1/012034

Rahayu, D., Bintoro, N., & Saputro, A. D. (2021). Pemodelan Laju Respirasi Buah Klimakterik Selama Penyimpanan pada Suhu yang Bervariasi. *Agrointek*, *15*(1 Maret 2021), 16.

Rahman, E. A. A., Talib, R. A., Aziz, M. G., & Yusof, Y. A. (2013). *Modelling the Effect of Temperature on Respiration Rate of Fresh Cut Papaya (Carica papaya L .) Fruits*. *22*(6), 1581–1588. https://doi.org/10.1007/s10068-013-0254-y

Ravindra, M. R., & Goswami, T. K. (2008). Modelling the respiration rate of green mature mango under aerobic conditions. *Biosystems Engineering*, *99*(2), 239–248. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.10.005

Singh, S., & Muqarram, M. (2021). Application and Procedure of Repeated Measures Anova in Statistics with SPSS. *Online International Interdisciplinary Research Journal*, *11*(03), 107–114.

Sousa, A. R., & Oliveira, J. C. (2017). Determination of the respiration rate parameters of cherry tomatoes and their joint con fi dence regions using closed systems. *Journal of Food Engineering*, *206*, 13–22. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.02.026

Thompson, A. K. (2003). *Fruit and Vegetables: Harvesting, Handling, and Storage*. Blackwell Publishing Ltd.

Thompson, A. K. (2016). Storage. In Thompson, A. K. (ed.) *Fruit and Vegetable Storage: Hypobaric, Hyperbaric, and Controlled Atmosphere*, pp 1–20. Springer, Huddersfield. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23591-2

United States Departement of Agriculture (USDA). (2019).*Bananas, raw*. SR Legacy. NDB Number 9040. https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/fooddetails/169910/nutrients [08 Januari 2020]

Ustun, H., Dogan, A., Peker, B., & Ural, C. (2022). *Determination of the relationship between respiration rate and ethylene production by fruit sizes of different tomato types*. *March*. https://doi.org/10.1002/jsfa.12129

Wang, Z. W., Duan, H. W., & Hu, C. Y. (2009). Modelling the respiration rate of guava (Psidium guajava L.) fruit using enzyme kinetics, chemical kinetics and artificial neural network. *European Food Research and Technology*, *229*(3), 495–503. https://doi.org/10.1007/s00217-009-1079-z

Yahia, E. M. (2009). *Modified and Controlled Atmospheres for the Storage, Transportation, and Packagiing of Horticultural Commodities* (E. M. Yahia (ed.)). CRC Press.

Zulcarnain, F. M. G. (2024). Daya saing komparatif dan kompetitif ekspor komoditas buah pisang Indonesia (HS COD 0803) di pasar Malaysia dan Singapura periode 2019-2023. *Blantika: Multidisciplinary Journal*, *2*(10), 1037–1056.