



Pendugaan laju respirasi pisang barangan menggunakan model arrhenius

Prediction of respiration rate of barangan banana using arrhenius model

Arief Fazlul Rahman¹ & Muhammad Faisal²

¹Program Studi Teknologi Pasca Panen, Institut Teknologi Perkebunan Pelalawan Indonesia

²Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Teknologi Sumbawa

*corresponding author: arieffazlurahman@itp2i-yap.ac.id

Received: 29th November, 2022 | accepted: 28th December, 2022

ABSTRAK

Proses respirasi tidak dapat dipisahkan dari produk hortikultura setelah panen. Maka diperlukan suatu metode untuk mengetahui laju respirasi (produksi CO₂), salah satunya dengan model Arrhenius. Tujuan penelitian ini untuk memprediksi laju produksi CO₂ pisang barangan dengan menggunakan model Arrhenius. Produksi CO₂ Pisang barangan dengan umur panen yang berbeda (10 dan 11) minggu diukur dengan alat Continuous Gas Analyzer IRA-107 Shimadzu dimana sampel pisang diletakkan dalam *respiration chamber*, refrigerator untuk penyimpanan suhu rendah. Data laju respirasi yang diukur kemudian dilakukan pendugaan dengan model Arrhenius. Suhu penyimpanan ditingkatkan, maka laju produksi CO₂ akan meningkat. Pada umur panen 11 dan 10 minggu makin tinggi suhu penyimpanan, laju produksi CO₂ akan meningkat. Hubungan laju produksi CO₂ dan suhu penyimpanan terbukti dapat dijelaskan dengan model Arrhenius. Hasil dari prediksi model Arrhenius didapati nilai koefisien determinasi 0,91-0,94. Nilai k umur panen 10 minggu (0,1, 0,24, 0,36) dan k umur panen 11 minggu (0,19, 0,31, 0,49) dihitung dengan persamaan yang didapati menggunakan model Arrhenius. Nilai Ea umur panen 10 minggu 33,76 kJ/mol dan umur panen 11 minggu 45,83 kJ/mol. Laju respirasi yang dihasilkan minggu 10 dan 11 berbeda, dimana laju produksi CO₂ Umur Panen 11 minggu 77,98 ml/kg.jam dengan hasil prediksi 75,76 ml/kg.jam dan umur panen 10 minggu 65,80 ml/kg.jam dengan hasil prediksi 68,21 ml/kg.jam. Hasil dari model Arrhenius ini dapat digunakan untuk menduga laju produksi CO₂ pisang barangan selama penyimpanan

Kata kunci: laju respirasi; model arrhenius; pisang barangan; suhu

ABSTRACT

The respiration process cannot be separated from horticultural products after harvest. So we need a method to determine the rate of respiration (CO₂

production), one of which is the Arrhenius model. The purpose of this study was to predict the CO₂ production rate of Barangan bananas using the Arrhenius model. CO₂ production of Barangan bananas with different harvesting ages (10 and 11 weeks) was measured using the Continuous Gas Analyzer IRA-107 Shimadzu where the banana samples were placed in a respiration chamber, refrigerator for low temperature storage. The measured respiration rate data was then estimated using the Arrhenius model. When the storage temperature increases, the rate of CO₂ production will increase. At the harvest age of 11 and 10 weeks the higher the storage temperature, the CO₂ production rate will increase. The relationship between CO₂ production rate and storage temperature can be solved using the Arrhenius model. The results of the prediction of the Arrhenius model found a coefficient of determination of 0.91-0.94. The k values of 10 weeks of harvest (0.1, 0.24, 0.36) and k of 11 weeks of harvest (0.19, 0.31, 0.49) were calculated using the equation obtained using the Arrhenius model. Value of E_a harvested 33.76 kJ/mol at 10 weeks and 45.83 kJ/mol at 11 weeks. The respiration rate produced at 10 and 11 weeks was different, where the CO₂ production rate at 11 weeks at harvest was 77.98 ml/kg.hour with predicted results of 75.76 mm/kg.hour and at 10 weeks at harvest 65.80 ml/kg.hour with a predicted result of 68.21 ml/kg.hour. The results of the Arrhenius model can be used to estimate the CO₂ production rate of Barangan bananas during storage

Keywords: arrhenius model ; barangan banana; respiration rate; temperature

PENDAHULUAN/INTRODUCTION

Pisang barangan merupakan salah satu varietas pisang nasional yang memiliki rasa manis dan aroma yang khas yang dipanen pada tingkat kematangan tertentu. Pisang barangan mempunyai nilai ekonomis yang tinggi dan salah satu komoditi ekspor Indonesia (Agustiningrum, et al., 2018). Pisang merupakan salah satu buah klimakterik dimana setelah dipanen masing mengalami proses respirasi dimana dapat mempengaruhi umur simpan dan perubahan fisiologi dari pisang (Ahmad, 2013).

Respirasi adalah salah satu proses metabolisme (katabolisme) dimana reaksi ini menggunakan oksigen untuk memecah senyawa-senyawa yang kompleks, menjadi molekul-molekul sederhana seperti yang digunakan sel sebagai energi untuk bertahan hidup (Caleb et al., 2013). Besarnya laju respirasi berbeda tiap komoditas hasil

pertanian khususnya produk klimakterik. Temperatur ruang penyimpanan merupakan salah satu faktor yang sangat mempengaruhi besarnya laju produksi CO₂ selama penyimpanan. Penyimpanan suhu rendah dapat memperlambat laju respirasi, menunda proses pematangan dan pembusukan buah (Ahmad, 2013).

Proses respirasi tidak dapat dipisahkan dari produk hortikultura setelah panen sehingga perlu suatu metode untuk mengetahui hasil dari proses respirasi diantaranya adalah CO₂. Pentingnya pengukuran laju respirasi agar dapat digunakan dalam memprediksi daya simpan produk pertanian dan laju reaksinya (Guillard et al., 2016). Model matematika adalah salah satu cara yang dapat digunakan untuk memprediksi suatu proses biologis untuk mendapati suatu gambaran proses secara nyata mengenai reaksi biologis yang terjadi pada produk pertanian

tanpa merusak objek tersebut. Pengaplikasian model matematis untuk memprediksi proses katabolisme yang merupakan fenomena biologis dilakukan berdasarkan teori yang ada. Diantara model yang sudah ada, model Arrhenius merupakan model yang lebih familiar untuk memprediksi produksi CO₂ (Imamah, et al., 2016). Pendugaan Laju produksi CO₂ dengan model Arrhenius telah banyak digunakan dan dikembangkan dengan cara menggabungkan dengan model lain untuk mengetahui hubungan laju respirasi produk dengan suhu penyimpanan yang berbeda. Imamah (2016) menggunakan model Arrhenius untuk menduga laju respirasi brokoli yang dilakukan dengan *minimally process*. Singh et al., (2014); Castellanos et al., (2017); Castellanos et al., (2015) menggunakan dan mengembangkan bentuk model Arrhenius untuk memprediksi laju produksi dan konsumsi CO₂ dan O₂ berdasarkan fungsi suhu pada buah.

Pada analysis dengan model Arrhenius dicari nilai energi aktivasi (E_a) untuk mengetahui hubungan selama proses katabolisme berlangsung dan faktor pre-eksponensial (k) untuk menghitung dan melakukan pendugaan (Kwon et al., 2013). Nilai yang didapati bermanfaat untuk melakukan Analisa dalam memprediksi laju konsumsi CO₂ pada suhu tertentu. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memprediksi laju respirasi (produksi CO₂) pisang barangan dengan menggunakan model Arrhenius.

METODOLOGI/METHODOLOGY

Pisang yang digunakan adalah Pisang barangan yang diperoleh dari PT.

Perkebunan Nusantara VIII, Parakansalak Sukabumi Jawa Barat. Pisang barangan dengan umur panen yang berbeda (10 dan 11) minggu dengan keadaan pisang barangan matang fisiologis yaitu pada tingkat kematangan 75-80%. Alat-alat yang digunakan seperti *Continuous Gas Analyzer* (Merk IRA-107 Shimadzu) untuk mengukur produksi gas CO₂, stoples/ruang penyimpanan (volume 5000 ml) sebagai *respiration chamber*, refrigerator suhu (10, 20) °C, dan timbangan (mettler PM-4800) untuk mengukur berat awal pisang.

1. Pengukuran laju respirasi (produksi CO₂)

Metode pengukuran yang digunakan adalah metode tanpa udara masuk dan keluar yang lebih dikenal metode *closed system* (sistem tertutup) berdasarkan metode yang dikembangkan (Hasbullah, 2007). Pisang barangan diletakan kedalam wadah toples. Wadah dilengkapi dengan penutup dengan dua buah pipa plastik fleksibel sebagai untuk disambungkan ke alat pengukur produksii CO₂. Data yang diperoleh selama penelitian ini berupa perubahan persentasi produksi gas CO₂. Konsentrasi CO₂ diukur menggunakan *Continuous Gas Analyzer* (Shimadzu IRA-107) dengan interval pengambilan data tiap 3 jam hingga puncak produksi CO₂ pisang barangan. Pengukuran dilakukan pada 3 suhu berbeda (suhu 10, 20)°C dan suhu ruang. Laju respirasi dihitung menggunakan Persamaan

$$R_{CO_2} = \frac{V}{W} \frac{dx}{dt} \dots\dots\dots(1)$$

R_{CO_2}	= laju produksi CO ₂ (ml/kg jam)
V	= volume bebas chamber (ml)
W	= berat pisang (kg)
dx	= perbedaan konsentrasi gas (desimal)
dt	= Interval waktu pengambilan data (jam)

2. Model arrhenius

Suhu sangat berpengaruh terhadap peningkatan laju respirasi produk hortikultura seperti pisang. Pemodelan Arrhenius berdasarkan suhu penyimpanan dilakukan dengan melihat hubungan antara suhu penyimpanan pisang dan laju produksi CO₂. Hasil dari perhitungan dengan model Arrhenius akan dipadankan dengan hasil pengukuran produksi CO₂ pisang barangan selama penelitian berlangsung. Validasi model dilakukan dengan menghitung nilai koefisien determinasi (R^2) dan SSE (Kwon et al., 2013). Dalam analisis statistika model, besarnya koefisien determinasi 0-1, apabila nilai mendekati 1 menunjukkan perhitungan model mendekati hasil yang sebenarnya sehingga menunjukkan model dapat digunakan (Mendoza et al., 2016).

$$k = k_0 \cdot e^{-Ea/RT} \dots \dots \dots (2)$$

dimana

k	: Laju Produksi Karbondioksida (ml/kg.jam)
Ea	: Energi Aktivasi (kJ/mol)
k_0	: Konstanta mandiri
R	: Konstanta Gas (8,341 J/mol)
T	: Suhu Penyimpanan (°C)

Suhu penyimpanan ditingkatkan maka proses reaksi akan meningkat, dengan kata lain semakin tinggi suhu penyimpanan, maka akan semakin tinggi pula nilai laju respirasi produk hortikultura (Caleb et al., 2013). Korelasi suhu dan produksi CO₂ berdasarkan pada teori aktivasi dalam reaksi biologi dimana reaksi perubahan (meningkat atau menurun) berlangsung jika diberikan sejumlah energi yang disebut energi aktivasi (Ea) (Mendoza et al., 2016). dalam model Arrhenius. Persamaan 2 diubah menjadi logaritma natural Persamaan 3, agar dapat dicari hubungannya dengan menggunakan grafik

$$\ln k = \ln k - \frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T} \right) \dots \dots \dots (3)$$

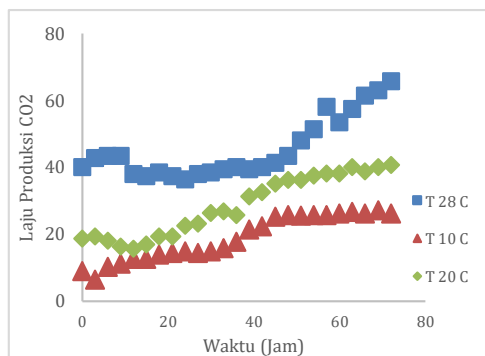
Persamaan 3 dibuat dalam bentuk grafik. Grafik hubungan tersebut digunakan dalam merumuskan persamaan regresi liniernya. Nilai energi aktivasi dihitung dari nilai *intercept* regresinya dikalikan dengan nilai konstanta gas ($R = 8.314 \text{ J/mol K}$) (Mangaraj et al., 2015). Nilai $\ln k$ merupakan anti \ln dari nilai *slope* yang diperoleh dalam persamaan dalam grafiknya

HASIL DAN PEMBAHASAN/RESULTS AND DISCUSSION

1. Laju respirasi pisang barangan (produksi co₂)

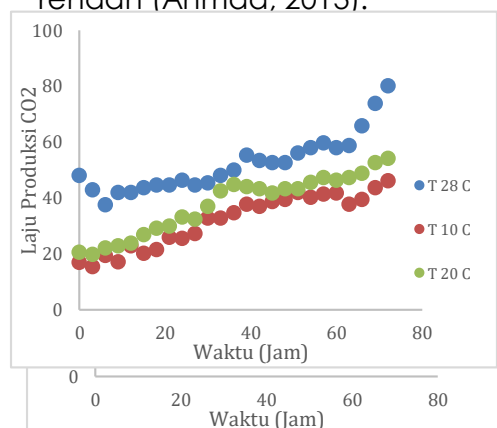
Salah satu metabolisme yang terjadi pada pisang barangan selama penyimpanan adalah respirasi. Laju respirasi pisang barangan berbeda berdasarkan umur panen dan suhu penyimpanan yang dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Proses respirasi pisang barangan dalam toples, adalah proses yang melibatkan enzim didalamnya. Suatu reaksi yang melibatkan enzim maka kecepatan reaksi akan dipengaruhi oleh suhu penyimpanan. Jika suhu dinaikan dalam tingkatan tertentu maka kecepatan reaksi pembentukan akan meningkat,



Gambar (a)

sementara jika suhu diturunkan maka akan terjadi reaksi yang sebaliknya (Guillard et al., 2016). Komoditas hortikultura yang memiliki laju respirasi tinggi akan memiliki daya simpan rendah dibanding produk dengan komoditas dengan laju respirasi rendah (Ahmad, 2013).



Gambar (b)

Gambar 1. Laju produksi CO_2 umur panen: a. 10 minggu dan; b. 11 minggu

Baik umur panen 11 dan 10 minggu, peningkatan suhu penyimpanan menyebabkan peningkatan laju respirasi. Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil yang dilaporkan oleh Mendoza et al., (2016); Castellanos et al., (2017); Banda et al.,(2015) bahwa produksi CO_2 pada pisang akan meningkat ketika suhu penyimpanan ditingkatkan. Suatu reaksi kimia akan berlangsung lebih cepat dengan menaikkan suhu, dengan suhu ditingkatkan maka energi kinetik molekul yang bereaksi bertambah sehingga reaksi lebih cepat dibandingkan dengan suhu rendah (Singh et al., 2014).

Pisang digolongkan sebagai buah klimaterik sebagai hasil dari terjadinya peningkatan laju produksi CO_2 serta produksi etilen yang ditandai

terdapatnya puncak dari laju respirasinya (Mendoza et al., 2016). Laju respirasi pada suhu ruang lebih tinggi dibandingkan dengan suhu (10 dan 20) °C sehingga umur simpannya lebih pendek dibandingkan suhu rendah (Ahmad, 2013).

Proses respirasi yang terjadi dianggap sebagai ukuran yang dapat menggambarkan proses metabolisme pada produk hortikultura. Dari **Gambar 1** dapat dilihat bahwa laju konsumsi CO_2 umur panen 11 minggu lebih tinggi dibandingkan umur panen 10 minggu dengan titik puncak 79,98 ml/kg.jam, sedangkan umur panen 10 minggu laju produksi CO_2 tertinggi 65,80 ml/kg.jam. Oleh karena itu, laju respirasi dapat digunakan sebagai parameter yang tepat dalam menentukan masa

simpan produk setelah dipanen dan selama proses penyimpanan. (Mendoza *et al.*, 2016). Produk dengan laju konsumsi akan mempunyai daya simpan yang rendah dibandingkan produk dengan laju respirasi rendah (Castellanos *et*

al., 2016). Semakin tinggi laju respirasi, maka semakin cepat proses perombakan karbohidrat menjadi molekul sederhana sehingga membuat mutu produk lebih cepat mengalami kemunduran (van de Poel *et al.*, 2014).

Tabel 1. Nilai k Fungsi Suhu Menggunakan Model Arrhenius

Umur panen	Ea (kJ/mol)	k_0	Persamaan nilai k
10 minggu	33,76	2.66776×10^{15}	$k = 2.66772 \times 10^{15} e^{-98.12/R.T}$
11 minggu	45,83	2.43262×10^{12}	$k = 2.43262 \times 10^{12} e^{-81.49/R.T}$

2. Model arrhenius laju respirasi

Aplikasi model Arrhenius didahului dengan perhitungan nilai k sehingga menghasilkan persamaan nilai k CO₂ seperti pada **Tabel 1**. Salah satu faktor yang paling berpengaruh pada proses respirasi adalah suhu serta memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap laju penurunan mutu produk hortikultura (Kwon *et al.*, 2013; Mendoza *et al.*, 2016).

Tabel 1 menunjukkan bahwa umur panen 11 minggu mempunyai laju reaksi yang lebih tinggi dibandingkan dengan umur panen 10 minggu. Hal ini ditandai dengan nilai Ea umur panen 11 minggu 45,83 kJ/mol lebih tinggi dibandingkan umur panen 10 minggu 33,76. Mendoza *et al.*, 2016 menatakan bahwa nilai Ea lebih tinggi, maka laju reaksi akan semakin tinggi. Respirasi merupakan reaksi enzimatik dan setiap reaksi yang melibatkan enzim didalamnya tentu akan sangat berhubungan dengan sifat enzim dimana percepatan reaksi akan meningkat pada suhu tinggi dan akan menurun pada suhu rendah. Castellanos *et al.*, 2017;

Mendoza *et al.*, 2016 menyatakan bahwa pengaruh suhu terhadap laju respirasi dicari dengan persamaan Arrhenius yaitu dengan cara melihat regresi hubungan antara suhu dan laju respirasi. Perhitungan model Arhenius dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Berdasarkan **Tabel 2** diperoleh bahwa semakin besar R² maka semakin kecil nilai SSE. Hasil ini sejalan dengan Mangaraj *et al.*, 2015, ; Sarah *et al.*, 2022 bahwa semakin besar nilai R² yang dihasilkan dalam suatu model maka nilai SSE yang dihasilkan akan semakin rendah.

Nilai SSE umur panen 10 minggu lebih besar dibandingkan dengan SSE umur panen 11 minggu dan suhu lebih besar akan memiliki nilai SSE lebih besar dibandingkan dengan suhu rendah (Mangaraj *et al.*, 2013). Besar dan kecilnya nilai SSE dapat disebabkan oleh akurasi data yang ditangkap oleh sensor dimana ada batas minimum yang dibaca oleh sensor pada alat yang digunakan

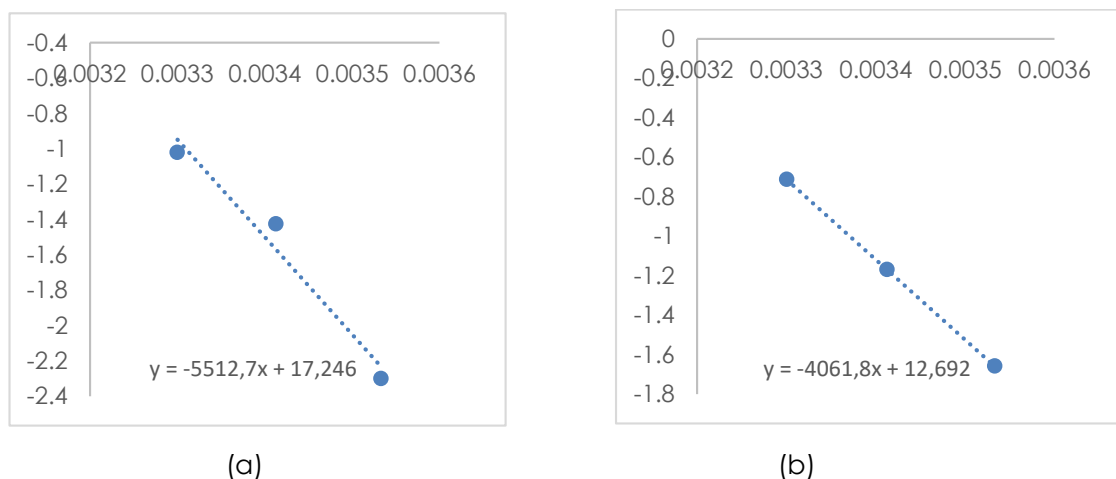
Tabel 2. Analisis model arrhenius

Umur Panen	Suhu (°C)	R ²	SSE	k Perhitungan	k pengukuran
10 Minggu	28	0.93	2.33	0,1	0,16
	20	0.94	2.07	0,24	0,25
	10	0.91	4.87	0,36	0,41
11 Minggu	28	0.92	4.35	0,22	0,19
	20	0.94	1.39	0,33	0,31
	10	0.94	0.85	0,47	0,49

3. Grafik Hubungan ln k dan T

Persamaan untuk menghitung nilai k (**Tabel 1**) diperoleh dari mencari nilai k pada masing-masing suhu (10, 20, 28) °C, kemudian dibuat grafik linier antara 1/T vs ln k. Persamaan linier grafik 1/T vs ln k akan digunakan untuk mencari nilai Ea dan k₀. Hasil dari penelitian ini umur panen 10 minggu mempunyai nilai Ea 33,76 kJ/mol dan umur panen 11 minggu 45,83 kJ/mol Laju Produksi CO₂ pisang Barangan

umur panen 11 minggu lebih tinggi dari 10 minggu seperti pada **Tabel 1**. *Castellanos et al.*, (2016); *Khathir et al.*, (2014) menjelaskan bahwa nilai Ea yang positif menggambarkan laju produksi CO₂ berbanding lurus dengan suhu penyimpanan dimana suhu penyimpanan dinaikan maka laju produksi CO₂ akan mengalami kenaikan yang cepat begitupun sebaliknya (*Caleb et al.*, 2013; *Castellanos et al.*, 2016).



Gambar 2. Grafik hubungan Ln K dengan T penyimpanan umur panen a. 11 minggu, b. 10 minggu

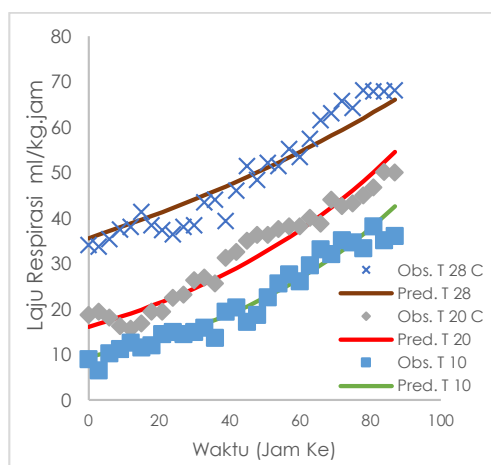
Pada **Gambar 3** menunjukkan bahwa hasil pendugaan laju produksi CO₂ pisang barangan dengan model Arrhenius memiliki keberhasilan yang tinggi. Hal ini dilihat dari hasil

perhitungan dengan model, titik observasi berhimpitan dengan garis dari prediksi model Arrhenius. Titik yang berhimpitan dengan garis model ini menandakan bahwa laju konsumsi CO₂

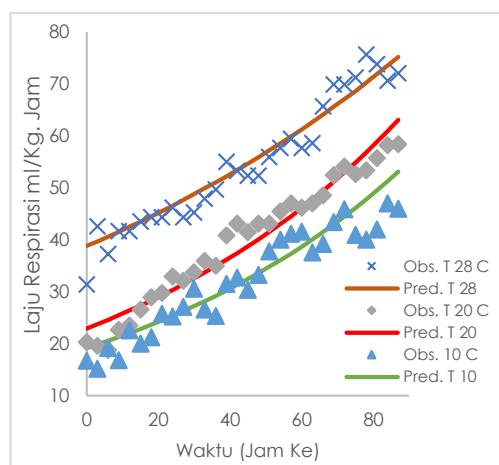
melalui observasi hampir menyerupai dengan hasil prediksi dengan model baik umur panen 10 dan 11 minggu.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pisang barangan merupakan produk hortikultura klimakterik ditandai dengan peningkatan laju respirasi. Dari hasil penelitian didapati bahwa model Arrhenius dapat memprediksi laju respirasi

pisang barangan dengan ketelitian yang tinggi (0,91-0,94) ditandai dengan berhimpitnya titik-titik pengukuran dengan garis Prediksi Arrhenius. Hal ini sejalan dengan penelitian, *Imamah et al.*, (2016, Mendoza et al., (2016), Castellanos et al., (2017) bahwa model matematis Arrhenius dapat memprediksi laju respirasi produk hortikultura.



(a)



(b)

Gambar 3. Pendugaan laju respirasi CO₂ pisang barangan dengan model arrhenius pada umur panen (a) 10 minggu dan (b) 11 minggu

4. SIMPULAN/CONCLUSION

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pisang barangan merupakan produk hortikultura klimakterik ditandai dengan peningkatan laju respirasi. Laju respirasi yang dihasilkan minggu 10 dan 11 berbeda, dimana laju produksi CO₂ Umur Panen 11 minggu 77,98 ml/kg.jam lebih cepat dibandingkan dengan umur panen 10 minggu 65,80 ml/kg.jam. Dari hasil penelitian didapati bahwa model Arrhenius dapat memprediksi laju respirasi pisang barangan dengan ketelitian yang tinggi (0,91-0,94).

DAFTAR PUSTAKA/REFERENCES

- Ahmad, U. (2013). *Teknologi Penanganan Pasca Panen Buah dan Sayuran*. Graha Ilmu.
- Ayu Agustiningrum, D., Darmawati, E., & Mariana Widayanti, S. (2018). Ripening Delay Using Ethylene Oxidants and Its Effects on Physiological Changes of Barangan Banana. *Jurnal Keteknik Pertanian*. <https://doi.org/10.19028/jtep.06.3.311-318>
- Banda, K., Caleb, O. J., Jacobs, K., & Opara, U. L. (2015). Effect of active-modified atmosphere packaging on the respiration rate and quality of pomegranate arils (cv. Wonderful). *Postharvest Biology and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.201>

5.06.002

- Caleb, O. J., Mahajan, P. V., Manley, M., & Opara, U. L. (2013). Evaluation of parameters affecting modified atmosphere packaging engineering design for pomegranate arils. *International Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12220>
- Castellanos, D. A., Cerisuelo, J. P., Hernandez-Muñoz, P., Herrera, A. O., Gavara, R. (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. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.07.019>
- Castellanos, D. A., Herrera, A., & Herrera, A. O. (2015). Mathematical Models for the Representation of Some Physiological and Quality Changes during Fruit Storage Development of predictive models to represent shelf life in the packaging and storage of fresh and minimally-processed products. *Journal Of Post-Harvest Technology*, 03, 18–35. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.47675>
- Castellanos, D. A., Mendoza, R., Gavara, R., & Herrera, A. O. (2017). Respiration and ethylene generation modeling of “Hass” avocado and feijoa fruits and application in modified atmosphere packaging. *International Journal of Food Properties*. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1160921>
- Guillard, V., Buche, P., Dibie, J., Dervaux, S., Acerbi, F., Chaix, E., Gontard, N., & Guillaume, C. (2016). CO₂ and O₂ solubility and diffusivity data in food products stored in data warehouse structured by ontology. *Data in Brief*. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2016.04.044>
- Hasbullah, R. (2007). Teknik pengukuran laju respirasi produk hortikultura pada kondisi atmosfer terkendali bagian 1: metode sistem tertutup. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 21(4), 419–427.
- Imamah, N., Hasbullah, R., & Nugroho, L. (2016). Arrhenius Model to Predict Respiration Rate of Minimally Processed Broccoli. *Jurnal Keteknik Pertanian*. <https://doi.org/10.19028/jtep.04.1.25-30>
- Khathir, R., Niza Putri, R., Ratna. (2014). Penentuan Umur Simpan Lengkuas dengan Model Arrhenius Berdasarkan Kadar Air dan Kadar Sari Larut dalam Air. *Rona Teknik Pertanian*. (7).1. 9-17.
- Kwon, M. J., Jo, Y. H., An, D. S., & Lee, D. S. (2013). Applicability of simplified simulation models for perforation-mediated modified atmosphere packaging of fresh produce. *Mathematical Problems in Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2013/267629>
- Mangaraj, S., Goswami, T. K., Tripathi, M. K., Giri, S. K., Pajnoo, R. K. (2013). International peer-reviewed journal May. In *Octa Journal of Biosciences*(Vol. 1, Issue 1).
- Mangaraj, S., K.Goswami, T., & Mahajan, P. V. (2015). Development and validation of a comprehensive model for map of fruits based on enzyme kinetics theory and arrhenius relation. *Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1364-0>
- Mendoza, R., Castellanos, D. A., García, J. C., Vargas, J. C., & Herrera, A. O. (2016). Ethylene production, respiration and gas exchange modelling in modified atmosphere packaging for banana fruits. *International Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13037>
- Sarah, M., Pratiwi, I., Hasibuan Isti, M. (2022). Hidrolisis Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes) Menjadi Glukosa Menggunakan Rotating Microwave Reactor. *Journal Teknik Kimia USU*. (1). 11. 49-55.
- Singh, R., Giri, S. K., & Rao, K. V. R. (2014). Respiration rate model for mature green capsicum (Capsicum annum L.) under closed aerobic atmospheric conditions. *Croatian Journal of Food Science and Technology*.



<https://doi.org/10.17508/cjfst.2014.6.2.07>

van de Poel, B., Bulens, I., Hertog, M. L. A. T. M., Nicolai, B. M., Geeraerd, A. H. (2014). A transcriptomics-based kinetic model for ethylene biosynthesis in tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit: Development, validation and exploration of novel regulatory mechanisms. *New Phytologist* 202.(3), 952–963.
<https://doi.org/10.1111/nph.12685>