

VOLUME 15, NOMOR 1 MARET 2021

ISSN: 1907-8056
e-ISSN: 2527-5410

AGROINTEK

JURNAL TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN

JURUSAN TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN
UNIVERSITAS TRUNOJOYO MADURA

AGROINTEK: Jurnal Teknologi Industri Pertanian

Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian is an open access journal published by Department of Agroindustrial Technology, Faculty of Agriculture, University of Trunojoyo Madura. Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian publishes original research or review papers on agroindustry subjects including Food Engineering, Management System, Supply Chain, Processing Technology, Quality Control and Assurance, Waste Management, Food and Nutrition Sciences from researchers, lecturers and practitioners. Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian is published twice a year in March and August. Agrointek does not charge any publication fee.

Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian has been accredited by ministry of research, technology and higher education Republic of Indonesia: 30/E/KPT/2019. Accreditation is valid for five years. start from Volume 13 No 2 2019.

Editor In Chief

Umi Purwandari, University of Trunojoyo Madura, Indonesia

Editorial Board

Wahyu Supartono, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Michael Murkovic, Graz University of Technology, Institute of Biochemistry, Austria

Chananpat Rardniyom, Maejo University, Thailand

Mohammad Fuad Fauzul Mu'tamar, University of Trunojoyo Madura, Indonesia

Khoirul Hidayat, University of Trunojoyo Madura, Indonesia

Cahyo Indarto, University of Trunojoyo Madura, Indonesia

Managing Editor

Raden Arief Firmansyah, University of Trunojoyo Madura, Indonesia

Assistant Editor

Miftakhul Efendi, University of Trunojoyo Madura, Indonesia

Heri Iswanto, University of Trunojoyo Madura, Indonesia

Safina Istighfarin, University of Trunojoyo Madura, Indonesia

Alamat Redaksi

DEWAN REDAKSI JURNAL AGROINTEK

JURUSAN TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN

FAKULTAS PERTANIAN UNIVERSITAS TRUNOJOYO MADURA

Jl. Raya Telang PO BOX 2 Kamal Bangkalan, Madura-Jawa Timur

E-mail: Agrointek@trunojoyo.ac.id



PEMODELAN LAJU RESPIRASI BUAH KLIMAKTERIK SELAMA PENYIMPANAN PADA SUHU YANG BERVARIASI

Dwi Rahayu, Nursigit Bintoro*, Arifin Dwi Saputro

Departemen Teknik Pertanian dan biosistem, Universitas Gadjah Mada, Sleman, Indonesia

Article history

Diterima:

20 Juni 2020

Diperbaiki:

27 Agustus 2020

Disetujui:

28 Agustus 2020

Keyword

Modelling; respiration rate; Michaelis-Menten; Arrhenius; climacteric

ABSTRACT

Most of Indonesia's fresh produces are belong to the climacteric group, which needs certain handling, especially for storage management. Information on the respiration rate in various temperatures and times is an important aspect on designing the storage room. This research aimed to measure the respiration rate of banana, guava, and mango. Respiration rate was measured with a closed system respirometer at temperatures 10, 15, and 28°C. The data used to develop mathematical modeling based on Michaelis-Menten (MM) and Arrhenius equations for predicting the respiration rate. Each treatment has a different agreement with each type of Michaelis-Menten's models, however, most of the treatment has a good agreement with MM type combination. Furthermore, all showed a good fit with Arrhenius's model and regression determination values are closed with unity. The statistical analysis used was SPSS ver. 20 software with a 3-way repeated measure method to identify the interaction between treatment and respiration rate (RO_2 and RCO_2). Significant interaction among treatment was found for RCO_2 . The best temperature to store fruit was found at 15°C.

© hak cipta dilindungi undang-undang

* Penulis korespondensi
Email : nursigit@ugm.ac.id
DOI 10.21107/agrointek.v15i1.7625

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil buah tropis terbesar di dunia. Sebagai contoh, Indonesia menjadi negara penghasil pisang terbesar ke tiga dunia dan produsen ke empat di dunia untuk buah jambu dan mangga (FAOSTAT, 2019). Meskipun tingkat produksinya tinggi, produk buah tropis segar tersebut memiliki umur simpan yang pendek, sehingga mudah mengalami penurunan kualitas. Hal itu disebabkan oleh sifat klimakterik buah-buahan tersebut.

Pada buah klimakterik, proses pematangan tetap berlangsung meskipun buah telah dipanen. Buah klimakterik memiliki pola khusus yang terdiri dari beberapa fase, yaitu pre-klimakterik, puncak klimakterik dan post-klimakterik (Gardjito dan Swasti, 2017). Pola klimakterik ditandai dengan peningkatan laju respirasi, peningkatan produksi etilen, serta terjadi perubahan secara fisik maupun kimiawi pada buah, hingga akhirnya mencapai puncak klimakterik (Fonseca *et al.*, 2002; Thompson, 2016). Fenomena tersebut terjadi beriringan dengan proses pematangan buah (Saltveit, 2016). Oleh karena itu, dengan menunda waktu tercapainya puncak klimakterik buah, maka proses pematangan dapat terjadi lebih lambat dan juga dapat memperpanjang umur simpan buah.

Penundaan puncak klimakterik dapat dilakukan dengan memperlambat laju respirasi buah. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi laju respirasi, diantaranya jenis buah, tingkat kematangan buah, kerusakan buah, suhu penyimpanan, dan komposisi gas dalam ruang penyimpanan (Fonseca *et al.*, 2002; Saltveit, 2016). Diantara faktor tersebut, suhu merupakan faktor yang sangat penting dalam perubahan laju respirasi (Fonseca *et al.*, 2002). Mengikuti aturan

van't Hoff yang menyatakan bahwa pada setiap penurunan 10°C, laju perubahan dalam suatu reaksi biologis dapat menurun 2 hingga 3 kali lipat dari keadaan normalnya (Kader dan Saltveit, 2003). Hal ini juga telah dibuktikan dengan menggunakan respirometer sistem tertutup pada buah pisang (Bhande *et al.*, 2008), leci (Mangaraj dan Goswami, 2011), mangga (Ravindra dan Goswami, 2008), dan jambu biji (Wang *et al.*, 2009), laju respirasi buah tersebut menurun seiring dengan penurunan suhu penyimpanan. Penentuan suhu terbaik untuk penyimpanan buah dapat dilakukan dengan mengembangkan model matematis berdasarkan perubahan laju respirasi selama penyimpanan.

Pemodelan laju respirasi merupakan cara yang paling mudah dan murah untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam pengembangan fasilitas ruang penyimpanan buah (Wang *et al.*, 2009). Selain itu, model hasil pengembangan juga dapat digunakan untuk memprediksi laju respirasi pada beragam suhu, komposisi gas, dan waktu tertentu. Pengembangan model dilakukan dengan mempertimbangkan faktor yang mempengaruhi laju respirasi diantaranya peran O₂ dan CO₂ serta suhu penyimpanan.

Pemodelan laju respirasi yang diterapkan untuk mengidentifikasi peran CO₂ selama proses respirasi umumnya menggunakan persamaan Michaelis-Menten. Persamaan Michaelis-Menten berdasarkan mekanisme enzim kinetik telah banyak direkomendasikan untuk pengembangan model laju respirasi produk segar terhadap pengaruh konsentrasi O₂. Kecocokan model dengan data eksperimen sangat baik, dengan asumsi O₂ merupakan substrat dan CO₂ sebagai inhibitor dalam reaksi enzimatik yang terjadi selama respirasi (Fonseca *et al.*, 2002). Ravindra & Goswami (2008), Wang *et al.*, (2009), dan Mangaraj dan Goswami (2008)

mengembangkan model laju respirasi dengan persamaan Michaelis-Menten tipe uncompetitive, ketiganya memperoleh tingkat kecocokan yang sangat tinggi dengan $r^2 > 0,9$. Sementara itu, pemodelan matematis berdasarkan persamaan Arrhenius dilakukan untuk melihat pengaruh suhu terhadap laju respirasi. Dengan demikian, laju respirasi selama penyimpanan dapat diprediksi dalam beragam kondisi tertentu.

Perubahan laju respirasi selama penyimpanan merupakan informasi yang diperlukan untuk pengembangan metode serta fasilitas ruang penyimpanan. Di Indonesia, kebutuhan terhadap fasilitas ruang penyimpanan untuk penanganan pascapanen produk segar sangatlah penting. Akan tetapi, penelitian dan pengembangan mengenai kebutuhan informasi laju respirasi produk segar masih sangat terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model laju respirasi pada buah varietas asli Indonesia yang selanjutnya dapat digunakan untuk pengembangan metode serta fasilitas ruang penyimpanan.

METODE

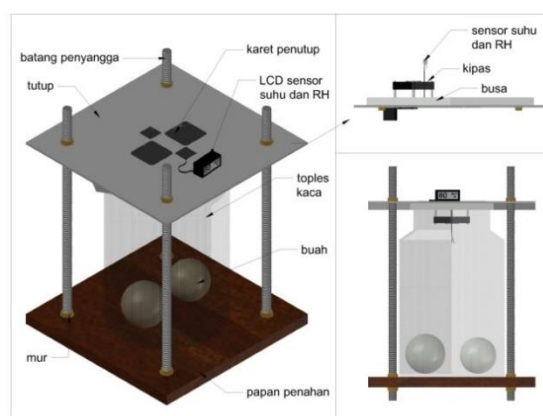
Bahan dan peralatan

Bahan yang digunakan adalah pisang (*Musa paradisiaca L.*) var. Mas Kirana, jambu biji (*Psidium guajava L.*) var. Jambu Biji Merah, dan mangga (*Mangifera indica L.*) var. Manalagi. Bahan tersebut diperoleh dari Pasar Induk Giwangan, Yogyakarta, satu hari setelah panen. Buah yang dipilih adalah buah yang telah memasuki fase tua namun belum matang. Pemilihan buah dilakukan dengan observasi visual berdasarkan warna (hijau tua), bentuk, keseragaman berat dan ukuran, dan tidak mengalami kerusakan fisik. Buah dicuci dengan air untuk membersihkan kotoran yang menempel pada kulit buah dan dikeringkan menggunakan tisu.

Alat yang digunakan adalah respirometer, gas analyser (*Quantek, Model 902D DualTrak*), dan lemari pendingin dengan suhu 10 dan 15°C. Respirometer dibuat dengan menggunakan toples kaca (volume 3300 ml) dan ditutup dengan plat logam yang dilapisi busa, sedangkan bagian bawahnya dialasi dengan papan kayu. Pada bagian tutup terdapat sensor suhu dan RH, kipas kecil, dan lubang inlet dan outlet yang dilapisi dengan karet. Rancangan respirometer terdapat pada Gambar 1.

Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tiga faktor yaitu jenis buah (P: pisang, J: jambu biji, M: mangga), suhu (10°C, 15°C, dan 28°C), serta waktu pengukuran laju respirasi selama 3 minggu (minggu ke-0, -1, -2, dan -3). Masing-masing perlakuan mendapatkan tiga kali pengulangan.



Gambar 1. Rancangan respirometer

Prosedur Penelitian

Buah yang telah dipilih dimasukkan ke dalam respirometer, dengan masing-masing respirometer diisi 2 buah dari jenis yang sama. Sebelumnya berat dan volume buah diukur untuk perhitungan laju respirasi. Total berat buah dalam respirometer yaitu 95 – 115 gram buah pisang, 280 – 360 gram buah jambu biji, dan 320 – 380 gram buah mangga.

Sementara itu, total volume buah berkisar antara 80-120 ml, 290-355 ml, dan 320-385 ml secara berturut-turut untuk pisang, jambu biji, dan mangga. Kemudian respirometer disimpan pada suhu ruang (28 °C), 15 °C, dan 10 °C selama 3 minggu (21 hari). Pengukuran konsentrasi O₂ dan CO₂ dilakukan dengan menggunakan *Gas Analyser O₂ and CO₂*. Pengambilan data pengamatan untuk laju respirasi dilakukan dengan interval waktu 3 x 6 jam, kemudian 2 x 12 jam, selanjutnya setiap 1 x 24 jam pada hari-hari selanjutnya.

Pemodelan dan Analisis Data

Laju Respirasi

Laju respirasi dihitung menggunakan persamaan (1) dan (2) masing-masing untuk laju respirasi O₂ dan CO₂.

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

$$R_{CO_2} = \frac{(y_{CO_2}^{t_f} - y_{CO_2}^{t_i}) \times V_f}{100 M (t_f - t_i)} \quad (2)$$

Dimana, RO₂ = laju respirasi O₂ (mlO₂/kg jam), RCO₂ = laju respirasi CO₂ (mlCO₂/kg jam), y = konsentrasi gas (%), V_f = volume ruang hampa respirometer (ml), M = massa produk (buah) di dalam respirometer (kg), serta t_i-t_f = interval waktu pengukuran pada periode tertentu, dengan t_i = waktu mula-mula (jam) dan t_f = waktu akhir pengukuran (jam). V_f diperoleh dengan metode *water displacement*, sementara nilai massa buah diperoleh dengan menimbang berat buah.

Pemodelan laju respirasi dikembangkan berdasarkan persamaan Michaelis-Menten (MM) dan Arrhenius dengan menggunakan hasil pengukuran dari penelitian yang dilakukan.

Persamaan Michaelis-Menten

Persamaan Michaelis-Menten berdasarkan peran CO₂ sebagai inhibitor mengindikasikan proses respirasi dapat berlangsung menjadi beberapa tipe (Fonseca et al., 2002).

Michaelis-Menten Tipe Sederhana

Jika tanpa memperhitungkan CO₂ sebagai inhibitor (proses berlangsung tanpa inhibisi) dapat mengikuti persamaan (3). Dalam persamaan tersebut, yang dipertimbangkan hanya seberapa besar pengaruh konsentrasi O₂ terhadap laju respirasi.

$$R = \frac{\alpha \times y_{O_2}}{\phi + y_{O_2}} \quad (3)$$

Dimana, α merupakan laju respirasi maksimum (konsumsi O₂ maupun produksi CO₂) pada setiap temperatur (mlO₂/kg jam atau mlCO₂/kg jam), dan φ adalah konstanta MM yang menunjukkan konsentrasi substrat (O₂) pada saat reaksi berada pada setengah α.

Michaelis-Menten Tipe Kompetitif

Reaksi kompetitif terjadi ketika CO₂ yang bersifat sebagai inhibitor saling bersaing dengan substrat (O₂) untuk mendapatkan sisi aktif enzim yang sama. Oleh karena itu, laju respirasi maksimum mencapai nilai terendah ketika konsentrasi CO₂ tinggi. Reaksi kompetitif dijelaskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$R = \frac{\alpha \times y_{O_2}}{\phi \times \left(1 + \frac{y_{CO_2}}{\gamma_c}\right) + y_{O_2}} \quad (4)$$

Dimana γ_c menunjukkan konstanta inhibisi CO₂ terhadap konsumsi O₂ secara kompetitif.

Michaelis-Menten Tipe Uncompetitive

CO₂ mulai bereaksi ketika enzim-substrat sudah mulai terbentuk merupakan MM tipe *uncompetitive*. Sehingga laju respirasi maksimum tidak begitu terpengaruh pada konsentrasi CO₂ yang tinggi. Persamaan matematis dari reaksi *uncompetitive* adalah sebagai berikut:

$$R = \frac{\alpha \times y_{O_2}}{\phi + \left(1 + \frac{y_{CO_2}}{\gamma_u}\right) \times y_{O_2}} \quad (5)$$

Dimana γ_c menunjukkan konstanta inhibisi CO₂ terhadap konsumsi O₂ secara unkompetitif.

Michaelis-Menten Tipe *Non-competitive*

Reaksi *non-competitive* terjadi ketika inhibitor bereaksi pada enzim dan enzim-substrat. Sehingga nilai laju maksimum berada di antara kedua kondisi tersebut. Reaksi *non-competitive* dapat dijelaskan secara matematis pada persamaan (6).

$$R = \frac{\alpha \times y_{O_2}}{(\emptyset + y_{O_2}) \times \left(1 + \frac{y_{CO_2}}{\gamma_n}\right)} \quad (6)$$

Michaelis-Menten Tipe Kombinasi

Reaksi CO₂ sebagai inhibitor juga dapat terjadi secara bersamaan antara *competitive* dan *uncompetitive*. Kombinasi kedua reaksi ini secara matematis dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$R = \frac{\alpha \times y_{O_2}}{\emptyset \times \left(1 + \frac{y_{CO_2}}{\gamma_c}\right) + y_{O_2} \times \left(1 + \frac{y_{CO_2}}{\gamma_u}\right)} \quad (7)$$

Semua parameter model MM diperoleh dengan merubah persamaan tersebut menjadi bentuk linier, kemudian dianalisis menggunakan regresi linier berganda.

Persamaan Arrhenius

Persamaan Arrhenius dapat digunakan jika dalam eksperimen menggunakan dua atau lebih perlakuan suhu, namun diutamakan menggunakan lebih dari dua perbedaan suhu untuk mengurangi bias yang terjadi jika hanya menggunakan dua suhu. Persamaan (8) merupakan persamaan Arrhenius, sementara bentuk linier persamaan tersebut adalah Persamaan (9).

$$k = A \times e^{\left[-\frac{E_a}{R_c T}\right]} \quad (8)$$

$$\ln K = \ln A - \left(\frac{E_a}{R}\right) \left(\frac{1}{T}\right) \quad (9)$$

Dimana, k = laju reaksi, A = pra-exponensial atau frekuensi tumbukan, E_a = energi aktivasi (kJ/mol), R_c merupakan konstanta gas ideal (8,314 J/g mol K), dan T adalah suhu mutlak (K), dengan T₁ menunjukkan suhu yang lebih rendah dibanding T₂.

Analisa Statistik

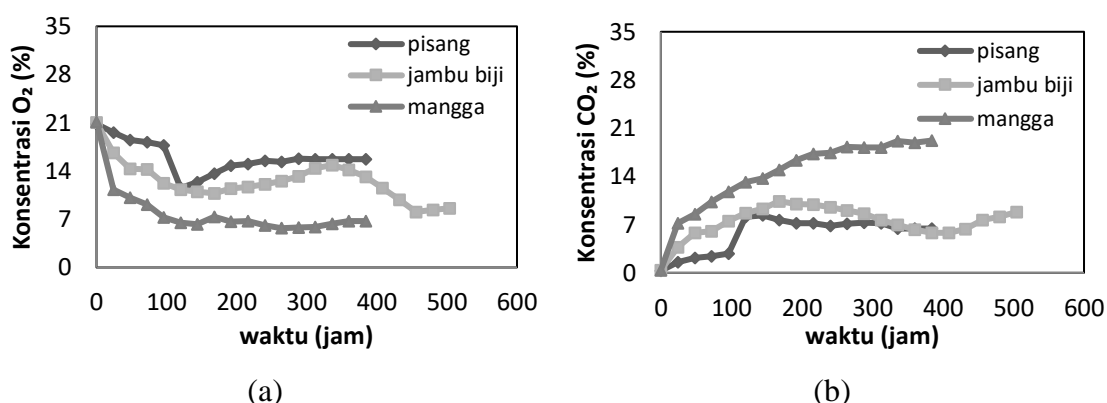
Data hasil percobaan dianalisis secara statistik untuk mengetahui pengaruh setiap parameter terhadap perlakuan yang diberikan menggunakan SPSS vr.20. Interaksi antara jenis buah, suhu penyimpanan, dan waktu pengukuran terhadap RO₂ dan RCO₂ dianalisa menggunakan metode *3-way repeated measure*, sementara uji antar faktor jenis buah dan suhu dilanjutkan dengan uji DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan konsentrasi O₂ dan CO₂

Perubahan laju respirasi buah akan sesuai dengan perubahan konsentrasi O₂ dan CO₂ selama respirasi berlangsung. Pada buah klimakterik, O₂ akan turun drastis kemudian naik hingga buah mencapai puncak klimakterik, lalu turun kembali hingga akhirnya stabil. Sebaliknya, CO₂ terus meningkat dan peningkatan drastis terjadi saat menuju puncak klimakterik, kemudian CO₂ turun dan lama-kelamaan stabil (Fonseca *et al.*, 2002). Gambar 2 menunjukkan perubahan konsentrasi O₂ dan CO₂ pada respirometer dengan konsentrasi awal O₂ 21% dan CO₂ 0,03% untuk setiap buah pada suhu ruang.

Penurunan O₂ dan peningkatan CO₂ secara drastis terlihat jelas pada buah pisang pada jam ke-96 hingga 120. Fenomena ini dapat terlihat lebih jelas pada penyimpanan dalam suhu ruang karena laju respirasi terjadi cukup cepat, sementara pada suhu 15 dan 10°C hal itu mungkin tidak terjadi atau belum terjadi selama masa penyimpanan 21 hari (data tidak ditampilkan). Hal ini disebabkan semakin rendah suhu penyimpanan maka penurunan O₂ dan peningkatan CO₂ terjadi lebih lambat.



Gambar 2. Perubahan komposisi gas pisang, jambu biji dan mangga dalam respirometer pada suhu 28 °C; (a) O₂; (b) CO₂

Data perubahan konsentrasi O₂ dan CO₂ selama penyimpanan pada setiap buah dan suhu kemudian digunakan untuk perhitungan laju respirasi. Persamaan (1) untuk laju konsumsi O₂ dan Persamaan (2) untuk laju produksi CO₂. Laju respirasi buah pisang, jambu biji, dan mangga pada ketiga suhu penyimpanan digambarkan pada Gambar 3. Ketiga buah memiliki pola yang sama yaitu laju respirasi menurun seiring dengan pertambahan waktu.

Pada pola laju respirasi buah klimakterik seharusnya akan terdapat puncak klimakterik, dimana tinggi serta waktu terjadinya puncak klimakterik pada setiap jenis buah berbeda-beda. Akan tetapi, puncak klimakterik terlihat sangat jelas hanya pada buah pisang (28°C) di jam ke-96 untuk RO₂ dan RCO₂, sedangkan puncak klimakterik pada jambu biji dan mangga tidak terlihat jelas. Tidak terdeteksinya puncak klimakterik pada buah jambu biji dan mangga kemungkinan disebabkan frekuensi pengukuran laju respirasi dilakukan kurang sering, sehingga pada saat terjadinya puncak klimakterik tidak dapat terekam atau bisa juga disebabkan puncak klimakterik kemungkinan memang tidak terjadi pada kedua buah tersebut.

Laju respirasi pada ketiga buah memiliki nilai yang berbeda meskipun penyimpanan dilakukan pada suhu yang

sama. Kandungan nutrisi pada buah mungkin menjadi faktor penyebab terjadinya perbedaan nilai laju respirasi. Molekul organik seperti gula, pati dan asam organik merupakan molekul utama yang digunakan untuk respirasi (Saltveit *et al.*, 2016). Kandungan gula tertinggi dimiliki oleh mangga, kemudian pisang, lalu jambu biji (USDA, 2019), sesuai dengan nilai RO₂ dan RCO₂ tertinggi dimiliki oleh mangga, kemudian pisang dan jambu biji.

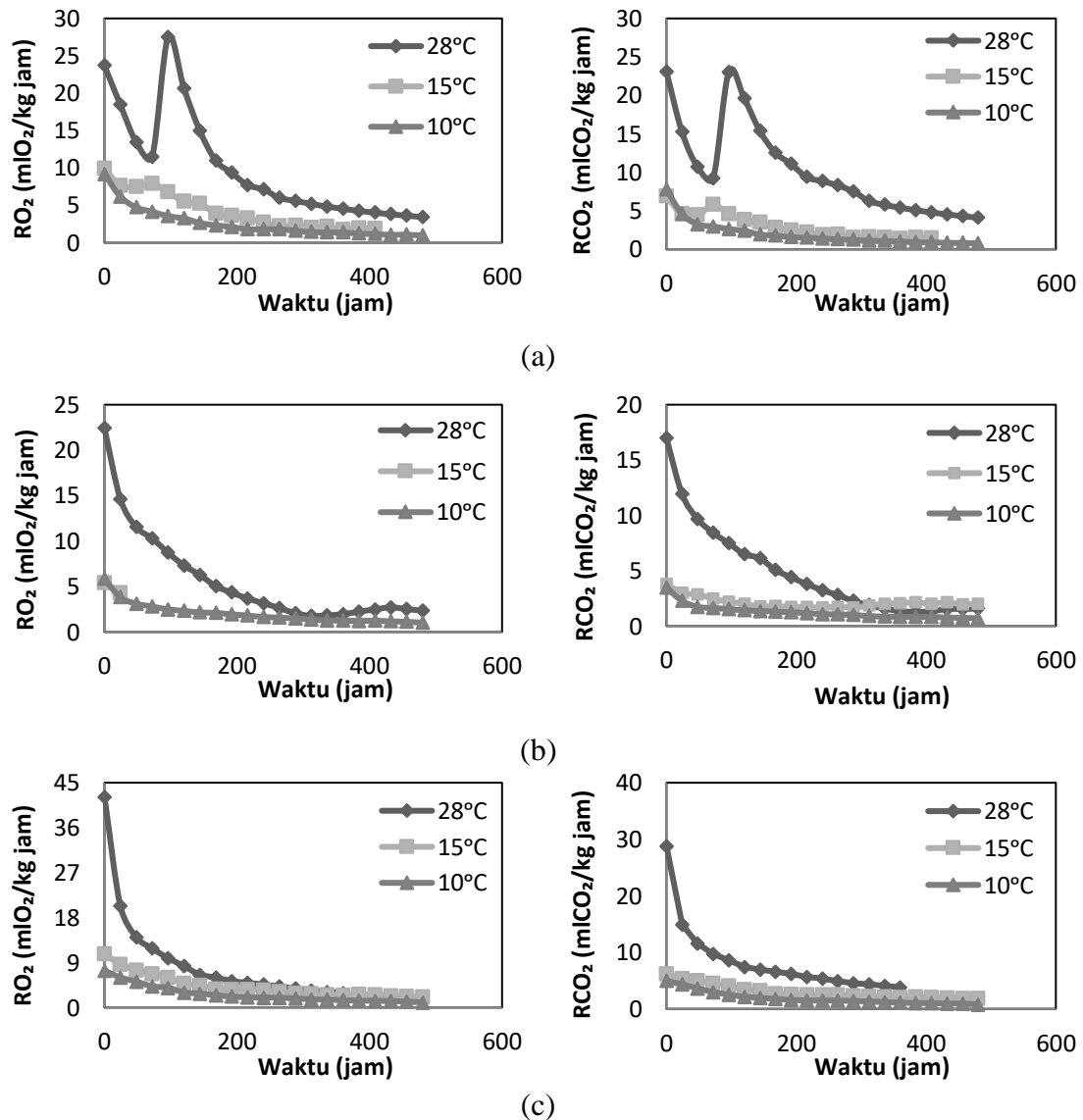
Selain itu, suhu rendah dapat menekan laju respirasi (Fonseca *et al.*, 2002; Saltveit *et al.*, 2016; Kader dan Saltveit, 2003). Pada buah pisang, perubahan laju respirasi awal pada suhu 28°C (RO₂ = 27,45 mlO₂/kg jam; RCO₂ = 23,02 mlCO₂/kg jam) mengalami penurunan hingga 3 kali lipat di suhu 15°C dan 10°C. Sementara nilai awal RO₂ dan RCO₂ buah jambu biji pada suhu 10°C yaitu 5,83 mlO₂/kg jam dan 3,49 mlCO₂/kg jam sedikit lebih rendah dibandingkan RO₂ dan RCO₂ yang diperoleh Wang (2009) untuk jambu biji varietas Pearl yaitu 6,39 ml/kg jam dan 6,90 ml/kg jam untuk RO₂ dan RCO₂ secara berturut-turut. Hal ini dapat terjadi karena perbedaan varietas jambu biji yang digunakan meskipun pengukuran dilakukan pada suhu yang sama. Disisi lain, mangga memiliki laju respirasi awal yang paling tinggi dibandingkan pisang dan jambu biji dengan RO₂ mencapai 42,18

mlO₂/kg jam dan RCO₂ mencapai 28,81 mlCO₂/kg jam pada penyimpanan suhu ruang, dengan penurunan terbesar yaitu 4 hingga 6 kali lipat untuk suhu 15 dan 10°C.

Pemodelan Matematis

Michaelis-Menten

Pengembangan model matematis berdasarkan persamaan Michaelis-Menten



Gambar 3. Laju respirasi O₂ dan CO₂ pisang (a), jambu biji (b), dan mangga (c) pada beragam suhu

Tabel 1. Parameter model Michaelis-Menten untuk RO₂

MM tipe	Parameter	Pisang			Jambu Biji			Mangga		
		10°C	15°C	28°C	10°C	15°C	28°C	10°C	15°C	28°C
tanpa inhibisi	α	-0,09	-0,52	6,24	-0,70	4,32	5,73	-0,40	-0,95	-0,52
	ϕ	-20,53	-21,84	-5,66	-22,85	6,71	8,24	-18,76	-19,70	-13,00
	R ²	0,83	0,46	0,15	0,86	0,29	0,19	0,70	0,86	0,95
competitiv e	α	0,06	0,13	1,45	0,45	-5,99	9,73	0,24	-2,35	3,56
	ϕ	-21,80	-21,31	-18,74	-21,88	-58,62	44,72	-21,96	-19,85	-15,07
	Y_c	-10,00	-12,84	-20,53	-7,84	-20,01	-15,58	-11,33	50,97	-18,95
	R ²	0,77	0,55	0,46	0,98	0,39	0,00	0,88	0,84	0,74
un-competitiv	α	0,07	0,15	2,49	1,04	0,98	4,06	0,76	-1,17	-15,07
	ϕ	-22,09	-21,56	-18,81	-26,59	-19,40	8,57	-28,67	-18,86	26,59
	Y_u	7,92	10,14	12,35	2,74	6,61	-14,71	3,43	-77,15	-2,02
	R ²	0,83	0,62	0,47	0,90	0,89	0,00	0,27	0,71	0,96
kombinasi	α	0,04	0,14	-3,63	0,45	1,16	-0,60	0,84	-1,89	16,33
	ϕ	-20,60	-21,42	-19,07	-21,38	-19,08	-16,14	-9,22	-20,97	-44,65
	Y_c	-46,77	-171,07	1,01	-14,83	83,35	13,65	-10,88	-27,04	-2,08
	Y_u	-1,74	23,10	-2,65	-28,70	5,71	-6,87	-15,30	40,59	2,83
	R ²	0,47	0,58	0,64	0,98	0,90	0,46	0,96	0,89	0,98

Tabel 2. Parameter Arrhenius untuk RO₂ pada beragam buah

Nilai	Buah			
	Pisang	Jambu biji	Mangga	
Ea (J/mol)		79916,662	50571,568	34535,525
A (g/jam)		20,18 x 10 ¹⁴	5,04 x 10 ⁹	9,97 x 10 ⁶
R ²		0,999	0,996	0,977

Tabel 3. Hasil perbandingan rata-rata RO₂ dengan uji DMRT

Perlakuan Buah	RO ₂ (mlO ₂ /kg jam)	Perlakuan Suhu	RO ₂ (ml O ₂ /kg jam)
J	6,222 ± 0,416 ^a	T3	4,885 ± 0,416 ^a
P	7,382 ± 0,416 ^{ab}	T2	5,458 ± 0,416 ^a
M	7,870 ± 0,416 ^b	T1	11,131 ± 0,416 ^b

^{a,b} *superscript* pada setiap kolom menunjukkan perbedaan rata-rata yang terjadi pada setiap perlakuan

Berdasarkan tabel tersebut terlihat bahwa setiap perlakuan memiliki tingkat kecocokan yang berbeda-beda pada setiap tipe MM. Namun secara keseluruhan, MM tipe kombinasi memiliki tingkat kecocokan yang lebih baik dibandingkan tipe lainnya. Perbandingan antara nilai RO₂ observasi dengan RO₂ hasil prediksi menggunakan model MM tipe kombinasi terhadap waktu diplotkan dalam grafik pada Gambar 4. Gambar tersebut hanya menampilkan hasil

prediksi RO₂ dengan model MM tipe kombinasi dengan R² terbaik.

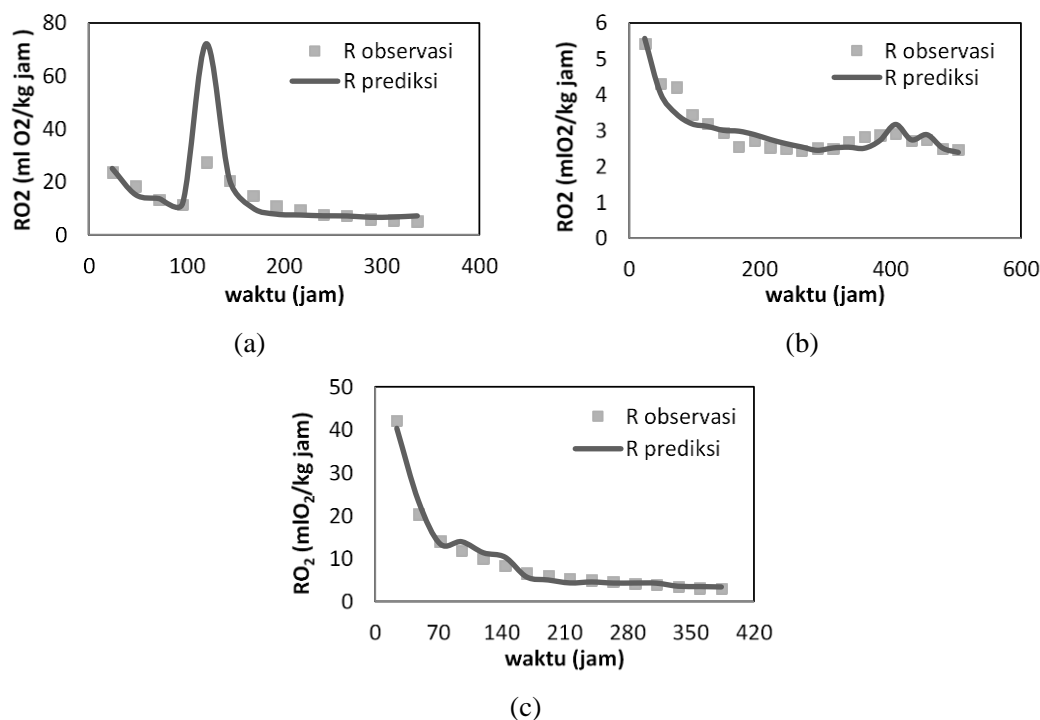
Pemodelan Matematis Arrhenius

Dalam persamaan Arrhenius terdapat parameter Ea dan A. Nilai Ea menunjukkan jumlah minimal energi yang dibutuhkan untuk tercapainya suatu reaksi. Sementara A menunjukkan frekuensi tumbukan yang terjadi antar molekul selama reaksi berlangsung. Semakin besar nilai Ea maka reaksi berlangsung semakin lambat. Tabel

2 menunjukkan parameter E_a dan A pada masing-masing buah. Parameter tersebut dimasukkan ke dalam Persamaan 8, sehingga dapat terbentuk model matematis untuk RO_2 . Secara keseluruhan nilai E_a masih berada pada interval nilai energi aktivasi laju respirasi untuk buah dan sayuran. Nilai energi aktivasi pada beragam buah dan sayuran segar pada komposisi udara normal berkisar antara 29,0 – 92,9 kJ/mol (Exama *et al.*, 1993).

Buah mangga memiliki E_a paling rendah dengan nilai 34,5 kJ/mol, sedangkan buah pisang memiliki nilai E_a tertinggi dengan nilai E_a lebih dari dua kali

lipat jumlah energi aktivasi yang dibutuhkan oleh buah mangga untuk respirasi. Hal ini juga didukung dengan nilai A pada buah pisang jauh lebih tinggi dibandingkan buah lain. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa laju respirasi paling cepat berlangsung pada buah mangga. Nilai prediksi dan observasi laju respirasi diplotkan terhadap suhu (Gambar 5). Dalam gambar tersebut terlihat bahwa nilai prediksi laju respirasi sangat sesuai dengan hasil pengukuran laju respirasi, yang dibuktikan dengan nilai R^2 mendekati satu.



Gambar 1. Validasi model Michaelis-Menten tipe kombinasi untuk RO_2 buah pisang (a) (28°C), jambu biji (b)(15°C), dan mangga (c) (28°C)

Tabel 4. Hasil perbandingan rata-rata RCO_2 dengan uji DMRT

Perlakuan Buah	RCO_2 (ml CO_2 /kg jam)	Perlakuan Suhu	RCO_2 (ml CO_2 /kg jam)
J	$4,485 \pm 0,394^a$	T3	$3,936 \pm 0,394^a$
M	$6,179 \pm 0,394^b$	T2	$4,003 \pm 0,394^a$
P	$7,058 \pm 0,394^b$	T1	$9,783 \pm 0,394^b$

^{a,b} *superscript* pada setiap kolom menunjukkan perbedaan rata-rata yang terjadi pada setiap perlakuan

Analisis Statistik

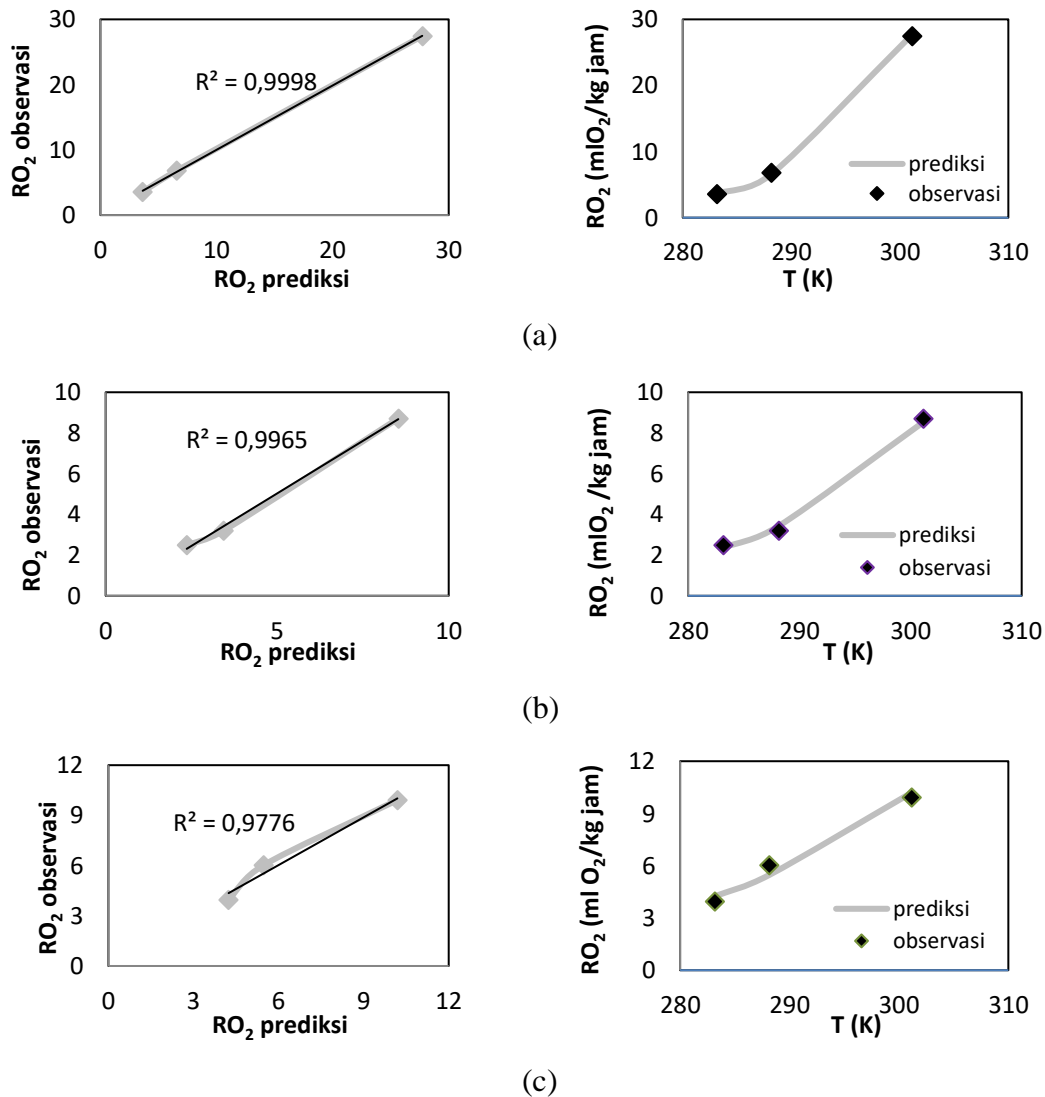
Hasil analisis *3-way repeated measure* untuk RO_2 dan RCO_2 selama penyimpanan menunjukkan interaksi antara jenis buah, suhu, dan waktu pengukuran hanya terjadi pada RCO_2 dengan nilai signifikansi $< 0,05$ (hasil tidak ditampilkan). Sementara uji antar subjek dengan faktor jenis buah dan suhu terhadap RO_2 dan RCO_2 selama penyimpanan dianalisis dengan uji lanjut DMRT. Tabel 3 menunjukkan RO_2 pada setiap faktor. Tabel tersebut menunjukkan berdasarkan perlakuan jenis buah, RO_2 jambu biji (J) berbeda nyata dengan mangga (M), namun tidak berbeda nyata dengan pisang (P). berdasarkan perlakuan suhu, RO_2 pada suhu ruang (T1) berbeda nyata dengan suhu 15°C (T2) dan 10°C (T3), akan tetapi RO_2 pada T2 dan T1 tidak berbeda nyata. Kemudian Tabel 4 menyajikan perbandingan rerata RCO_2 selama penyimpanan pada faktor jenis buah dan suhu. Hasilnya menunjukkan RCO_2 jambu biji berbeda secara signifikan dengan pisang dan mangga, namun RCO_2 antara pisang dan mangga tidak berbeda

signifikan. Sedangkan pada perlakuan suhu, RCO_2 pada T2 dan T3 tidak berbeda nyata, namun berbeda nyata dengan T1.

KESIMPULAN

Laju respirasi dipengaruhi oleh jenis buah, suhu, dan waktu penyimpanan. Penurunan suhu dapat menekan laju respirasi dan menunda waktu tercapainya puncak klimakterik, sehingga buah dapat disimpan lebih lama. Buah mangga memiliki laju respirasi tertinggi dibandingkan pisang dan jambu biji, namun pisang lebih cepat mencapai puncak klimakterik dibandingkan buah mangga dan jambu biji.

Pemodelan matematis berhasil dikembangkan berdasarkan persamaan Michaelis-Menten dan Arrhenius. Secara keseluruhan, model MM tipe kombinasi memiliki tingkat kecocokan paling baik hampir disemua perlakuan yang diberikan. Model Arrhenius cocok digunakan untuk memprediksi laju respirasi pisang, jambu biji, dan mangga dengan rentang suhu penyimpanan $10 - 28^\circ\text{C}$.



Gambar 4. Validasi model laju respirasi Arrhenius pisang (a), jambu biji (b), mangga (c)

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

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>

Exama, A., Arul, J., Lencki, R. W., Lee, L. Z., & Toupin, C. (1993). Suitability of Plastic Films for Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables. 58(6), 1365–1370.

Food and Agricultural Organization (FAO) Statistics. (2019). FAO agriculture database. Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations.

Fonseca, S. C., Oliveira, F. A. R., dan Brecht, J. K. (2002). Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere

- packages : a review. *Journal of Food Eng.* **52**: 99–119.
- Gardjito, M., Swasti, Y. R., (2017). *Fisiologi pascapanen buah dan sayur*. Yogyakarta. Gadjah Mada University Press.
- Kader, A. A., dan Saltveit, M. (2003). Respiration and gas exchange. In J. A. Bartz dan J. K. Brecht (Eds.), *Postharvest physiology and pathology of vegetables* 2nd ed., pp 7 - 29. Marcel Dekker, New York.
- Mangaraj, S., & Goswami, T. K. (2011). Modeling of Respiration Rate of Litchi Fruit under Aerobic Conditions. *Food Bioprocess Technol* **4**: 272–281. <https://doi.org/10.1007/s11947-008-0145-z>
- 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>
- 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>
- Saltveit, M. (2016). Respiratory metabolism. In Gross, K., Wang, C., dan Saltveit, M. (eds.). *The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks: Agricultural Handbook 66*: 68-75. United States Departement of Agriculture.
- Thompson, A. K. (2016). Storage. (1927), 1–20. <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#/food-details/169910/nutrients>
- United States Departement of Agriculture (USDA). (2019). Guava, common, raw. SR Legacy. NDB Number 9139. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/173044/nutrients>
- United States Departement of Agriculture (USDA). (2019). Mango, raw. SR Legacy. NDB Number 9176. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169910/nutrients>
- 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>.

AUTHOR GUIDELINES

Term and Condition

1. Types of paper are original research or review paper that relevant to our Focus and Scope and never or in the process of being published in any national or international journal
2. Paper is written in good Indonesian or English
3. Paper must be submitted to <http://journal.trunojoyo.ac.id/agrointek/index> and journal template could be download here.
4. Paper should not exceed 15 printed pages (1.5 spaces) including figure(s) and table(s)

Article Structure

1. Please ensure that the e-mail address is given, up to date and available for communication by the corresponding author
2. Article structure for original research contains

Title, The purpose of a title is to grab the attention of your readers and help them decide if your work is relevant to them. Title should be concise no more than 15 words. Indicate clearly the difference of your work with previous studies.

Abstract, The abstract is a condensed version of an article, and contains important points of introduction, methods, results, and conclusions. It should reflect clearly the content of the article. There is no reference permitted in the abstract, and abbreviation preferably be avoided. Should abbreviation is used, it has to be defined in its first appearance in the abstract.

Keywords, Keywords should contain minimum of 3 and maximum of 6 words, separated by semicolon. Keywords should be able to aid searching for the article.

Introduction, Introduction should include sufficient background, goals of the work, and statement on the unique contribution of the article in the field. Following questions should be addressed in the introduction: Why the topic is new and important? What has been done previously? How result of the research contribute to new understanding to the field? The introduction should be concise, no more than one or two pages, and written in present tense.

Material and methods, “This section mentions in detail material and methods used to solve the problem, or prove or disprove the hypothesis. It may contain all the terminology and the notations used, and develop the equations used for reaching a solution. It should allow a reader to replicate the work”

Result and discussion, “This section shows the facts collected from the work to show new solution to the problem. Tables and figures should be clear and concise to illustrate the findings. Discussion explains significance of the results.”

Conclusions, “Conclusion expresses summary of findings, and provides answer to the goals of the work. Conclusion should not repeat the discussion.”

Acknowledgment, Acknowledgement consists funding body, and list of people who help with language, proof reading, statistical processing, etc.

References, We suggest authors to use citation manager such as Mendeley to comply with Ecology style. References are at least 10 sources. Ratio of primary and secondary sources (definition of primary and secondary sources) should be minimum 80:20.

Journals

Adam, M., Corbeels, M., Leffelaar, P.A., Van Keulen, H., Wery, J., Ewert, F., 2012. Building crop models within different crop modelling frameworks. *Agric. Syst.* 113, 57–63. doi:10.1016/j.agry.2012.07.010

Arifin, M.Z., Probowati, B.D., Hastuti, S., 2015. Applications of Queuing Theory in the Tobacco Supply. *Agric. Sci. Procedia* 3, 255–261. doi:10.1016/j.aaspro.2015.01.049

Books

Agrios, G., 2005. *Plant Pathology*, 5th ed. Academic Press, London.