

DOI: 10.29303/jrpb.v11i1.455
ISSN 2301-8119, e-ISSN 2443-1354
Tersedia online di <http://jrpb.unram.ac.id/>

ANALISIS MATEMATIS PERUBAHAN KUALITAS KOLANG-KALING (*Arenga pinnata*) PADA PENYIMPANAN MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING (MAP)

*Mathematical Analysis of Sugar Palm Fruit (*Arenga pinnata*) Quality Change in Modified Atmosphere Packaging*

Arina Fatharani^{1,*}, Nursigit Bintoro², Arifin Dwi Saputro²

¹ Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu, Jl. W.R. Supratman Kandang Limun Bengkulu 38371 A, Bengkulu, Indonesia

² Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Jl. Flora 1. Bulaksumur 55281, Yogyakarta, Indonesia

Email^{*}: arina.fatharani@unib.ac.id

ABSTRACT

Sugar palm fruit is a minimally processed product that will continue to show quality change during storage. It has high transpiration, so it quickly shows signs of product damage, such as texture, moisture content, and weight loss. Storage innovation is needed to slow down spoilage, and one of them is Modified Atmosphere Storage (MAP). This study aimed to perform mathematical analysis and model the quality change of sugar palms with the variation of storage temperature and packaging thickness during storage in the MAP. The treatment variations were temperatures of 5, 15, and 28°C and packaging thicknesses of 30, 50, and 80µm. Texture, moisture content, and weight loss were measured using a texture analyzer, oven, and digital scales. The quality change of the sugar palm fruit during storage in the MAP was analyzed using the kinetic equation and modeled using the Arrhenius and Second Order Polynomial Regression equation. In the kinetic analysis, the order for each parameter of quality change in texture, moisture content, and weight loss was second, first, and zero, respectively. In the kinetic analysis, the order of The Arrhenius equation and Second Order Polynomial Regression can be used to model changes in texture, moisture content, and weight loss of sugar palms during storage in the MAP with the average of R² were 0.9164 and 0.9160, respectively. Both these equations can be used for sugar palm storage in the MAP with a temperature range of 5-28°C and packaging thickness of 30-80µm.

Keywords: Arrhenius; kinetics; sugar palm fruit; polynomial regression

ABSTRAK

Kolang-kaling merupakan produk *minimally processed* yang masih akan terus menunjukkan perubahan kualitas selama penyimpanan. Produk ini memiliki transpirasi yang tinggi sehingga cepat menunjukkan tanda-tanda kerusakan produk, seperti tekstur, kadar air, dan susut bobot. Diperlukan inovasi penyimpanan untuk memperlambat kerusakan produk, salah satunya adalah *Modified Atmosphere Packaging* (MAP). Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisis matematis dan memodelkan perubahan kualitas tekstur, kadar air, dan susut bobot selama penyimpanan dengan variasi perlakuan suhu ruang penyimpanan dan ketebalan kemasan MAP

kolang-kaling selama penyimpanan. Variasi perlakuan yang digunakan adalah suhu ruang penyimpanan 5, 15, dan 28°C dan ketebalan kemasan 30, 50, dan 80µm. Pengukuran tekstur, kadar air, dan susut bobot masing-masing dilakukan dengan menggunakan *texture analyzer*, oven, dan timbangan digital. Perubahan tekstur, kadar air, dan susut bobot kolang-kaling selama penyimpanan pada sistem MAP dianalisa dengan menggunakan persamaan kinetika dan dimodelkan dengan menggunakan Persamaan Arrhenius dan regresi polinomial orde kedua. Pada analisis kinetika, didapatkan orde untuk setiap parameter perubahan kualitas tekstur, kadar air, dan susut bobot masing-masing adalah orde kedua, pertama, dan nol. Persamaan Arrhenius dan regresi polinomial orde kedua dapat digunakan untuk memodelkan perubahan tekstur, kadar air, dan susut bobot kolang-kaling selama penyimpanan pada sistem MAP dengan rerata nilai R² masing-masing sebesar 0,9164 dan 0,9160. Kedua persamaan tersebut dapat digunakan untuk penyimpanan kolang-kaling pada sistem MAP dengan rentang suhu ruang penyimpanan 5-28°C dan ketebalan kemasan 30-80µm.

Kata kunci: Arrhenius; kinetika; kolang-kaling; regresi polinomial

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kolang-kaling berasal dari endosperm buah aren, yang memiliki nama latin *Arenga pinnata*, banyak dimanfaatkan sebagai hidangan makanan dan minuman penutup. Selain itu, kolang-kaling juga memiliki manfaat di bidang kesehatan seperti memperlancar pencernaan dan menurunkan kolestrol dalam darah (Tusiyem *et al.*, 2015; Dameswari, 2017; Gunawan *et al.*, 2018). Kolang-kaling merupakan produk yang sudah terpisah dari kulitnya, sehingga produk ini termasuk ke dalam produk *minimally processed* dan masih akan terus menunjukkan perubahan kualitas walaupun sudah melalui proses penanganan. Produk *minimally processed* pada umumnya memiliki proses transpirasi yang lebih tinggi, sehingga cepat menunjukkan tanda-tanda kerusakan. Oleh karena itu, diperlukan penanganan yang tepat selama proses penyimpanan (Belay, Caleb and Linus, 2016; Kirana, 2017; Pacaphol, Seraypheap and Aht-Ong, 2019).

Kerusakan produk segar dapat ditandai dengan perubahan kualitas produk, misalnya pada tekstur, kadar air, dan susut bobot. Ketiga parameter kualitas tersebut saling berhubungan dan dipengaruhi oleh adanya proses transpirasi, yang merupakan salah satu aktivitas biologis utama pada produk segar. Aktivitas biologis menjadi

alasan penting dalam menurunnya umur simpan karena adanya degradasi kualitas fisik pada produk segar (Sagar *et al.*, 2022). Tanda-tanda kerusakan produk dapat terlihat dari perubahan kualitas yang dipengaruhi oleh keadaan sekitar tempat penyimpanan (Castellanos and Herrera, 2015; Sun *et al.*, 2022). Sehingga diperlukan inovasi penyimpanan produk segar yang dapat memperlambat kerusakan produk.

Salah satu inovasi penyimpanan untuk memperlambat kerusakan pada produk segar adalah dengan menggunakan *Modified Atmosphere Packaging* (MAP). Kelebihan lain penggunaan MAP pada penyimpanan adalah dapat meminimalisir kontaminasi lingkungan (McManamon *et al.*, 2019; Fatharani *et al.*, 2020). Dalam penggunaan MAP, diperlukan kemasan yang baik dan penyimpanan suhu yang optimum untuk dapat menjaga kualitas produk segar. Kemasan LDPE (*Low Density Polyethylene*) merupakan salah satu kemasan yang baik dan sudah banyak digunakan pada pengemasan produk segar. LDPE merupakan film tipis yang memiliki kemampuan transparansi, elastisitas, permeabilitas uap, dan *heat seal* yang baik. Selain itu, LDPE juga bebas bau sehingga sangat cocok untuk digunakan pada produk pangan dan non pangan (Kumar Sen and Raut, 2015).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Techavuthiporn & Boonyaritthongchai

(2016), penggunaan kemasan LDPE dapat meminimalisir kerusakan produk segar, sehingga dapat menjaga kualitas dan memperpanjang umur simpan. Selain penggunaan kemasan, penyimpanan suhu rendah juga dapat membantu menjaga kualitas dan meminimalisir kerusakan produk segar. Menurut Oliveira et al. (2015), penyimpanan produk segar dengan kombinasi perlakuan kemasan dan suhu rendah, dapat menjadi teknik penyimpanan sederhana untuk produk *minimally processed*. Pada penelitian yang dilakukan oleh Ktenioudaki et al. (2021), susut bobot dipengaruhi oleh suhu ruang penyimpanan. Susut bobot juga berhubungan dengan tekstur, sehingga tekstur juga dipengaruhi oleh suhu ruang penyimpanan. Xanthopoulos et al. (2017) melaporkan bahwa kadar air produk segar juga dipengaruhi oleh suhu ruang penyimpanan. Selain suhu ruang penyimpanan, kemasan juga berpengaruh pada kualitas produk segar selama penyimpanan. Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Murmu & Mishra (2017) dengan variasi perlakuan kemasan dan suhu ruang penyimpanan. Salah satu variasi kemasan yang digunakan adalah LDPE. Didapatkan hasil bahwa variasi kemasan memiliki pengaruh yang nyata terhadap nilai tekstur dan interaksi antara kemasan dan suhu ruang penyimpanan memiliki pengaruh nyata pada susut bobot produk segar.

Perubahan kualitas produk segar selama penyimpanan dapat dianalisa secara matematis dengan menggunakan persamaan kinetika. Perubahan kualitas produk segar dapat terjadi secara meningkat dan menurun seiring berjalannya waktu. Dengan adanya perlakuan suhu, penyimpanan produk segar dapat dimodelkan dengan menggunakan Persamaan Arrhenius (Vicent et al., 2018). Zhao et al. (2022) melaporkan bahwa perubahan susut bobot produk segar dapat dianalisa dan diprediksi dengan menggunakan persamaan kinetika dan Arrhenius. Li et al. (2022) juga melaporkan bahwa perubahan tekstur, kadar air, dan susut bobot dapat dianalisa dengan

menggunakan persamaan kinetika dan Arrhenius. Penelitian dengan dua variasi perlakuan dapat dianalisa lebih lanjut dengan menggunakan analisis regresi polinomial orde kedua. Ojha et al. (2016) melaporkan bahwa regresi polinomial orde kedua dapat digunakan untuk memodelkan kualitas produk segar seperti perubahan kadar air dan susut bobot.

Tujuan

Penyimpanan kolang-kaling pada sistem MAP belum banyak dilakukan. Berdasarkan penelitian terdahulu, perlakuan suhu ruang penyimpanan dan kemasan dapat mempengaruhi perubahan kualitas produk segar terutama pada tekstur, kadar air, dan susut bobot, sehingga pengamatan ketiga parameter kualitas tersebut diperlukan pada penyimpanan kolang-kaling pada sistem MAP. Pada analisis perubahan kualitas, diperlukan persamaan kinetika, Arrhenius, dan regresi polinomial orde kedua untuk memodelkan perubahan kualitas kolang-kaling yang sebelumnya belum pernah dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisis matematis dan memodelkan perubahan kualitas tekstur, kadar air, dan susut bobot selama penyimpanan dengan variasi perlakuan suhu ruang penyimpanan dan ketebalan kemasan MAP kolang-kaling selama penyimpanan.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat uji tekan atau *texture analyzer* yang dihubungkan dengan *software* LV-1000 untuk menentukan tekstur, oven merk Sanyo tipe MOV-212 dan timbangan analitik merk Shimadzu model AW220 untuk menentukan kadar air, timbangan digital model JS-01 tipe *Pocket Scale* untuk menentukan bobot produk, dan *sealer* untuk merekatkan kemasan agar kedap udara. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kolang-kaling yang didatangkan langsung dari Kulon Progo, DI Yogyakarta dan kemasan jenis *Low Density*

Polyethylene (LDPE) berukuran 19,8 x 29,7 cm dengan ketebalan 30, 50, dan 80µm.

Metode

Buah aren dipilih yang rata-rata sudah berumur 1 tahun dengan ukuran diameter 4-5 cm yang selanjutnya dipetik dan direbus bersama kulitnya selama 60 menit untuk memudahkan proses pengupasan dan menghilangkan getah yang dapat menyebabkan alergi. Buah aren kemudian dikupas dan diambil daging buahnya, atau kolang-kalingnya dengan volume rata-rata 4,94 cm³. Selanjutnya, kolang-kaling diangkut menuju Laboratorium Teknik Lingkungan dan Bangunan Pertanian UGM untuk diteliti lebih lanjut. Penelitian kolang-kaling berupa penyimpanan pada suhu ruang penyimpanan 5 dan 15°C dengan menggunakan *cold storage* pada RH rerata 80-90% serta suhu 28°C pada suhu ruang dengan RH rerata 75-85%. Kemasan yang digunakan adalah LDPE (*Low Density Polyethylene*) dengan ketebalan 30, 50, dan 80µm. Pengamatan dilakukan pada parameter kualitas tekstur, kadar air, dan susut bobot. Pengukuran tekstur dengan menggunakan alat uji tekan atau *texture analyzer* yang dihubungkan dengan *software* LV-1000. Pengukuran kadar air dengan menggunakan metode termogravimetri, yaitu dengan menggunakan oven dan timbangan digital. Pengukuran susut bobot dengan menggunakan timbangan digital. Pengukuran dilakukan secara periodik yang terbagi menjadi 3 periode, yaitu periode minggu pertama, kedua, dan ketiga dengan interval waktu masing-masing selama 1, 2, dan 3 hari.

Analisis Data

Tekstur

Tekstur kolang-kaling diukur dengan menggunakan alat uji tekan atau *texture analyzer* yang telah disambungkan dengan *software* LV-1000. *Output* nilai tekstur terbaca pada *software* LV-1000 dan membentuk sebuah grafik. Berdasarkan

grafik tersebut kemudian dapat terbaca nilai tekstur yang terukur dengan satuan kgf.

Kadar Air

Kadar air kolang-kaling diukur dengan menggunakan metode termogravimetri dengan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 24 jam. Berdasarkan metode tersebut, pengukuran kadar air menggunakan persamaan (1) (Zhu *et al.*, 2022).

$$KA_{(wb)} = \frac{M_0 - M_i}{M_0} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Di mana:

- M₀ = massa bahan awal sebelum dioven (g)
- M_i = massa bahan setelah dioven (g)

Susut Bobot

Kolang-kaling ditimbang dengan menggunakan timbangan digital. Berdasarkan bobot kolang-kaling secara periodik, maka didapatkan susut bobot yang dapat dianalisa dengan menggunakan persamaan (2) (Zhao *et al.*, 2022).

$$\text{Susut Bobot} = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

Di mana:

- M₀ = massa bahan awal penyimpanan (g)
- M_t = massa bahan saat waktu t penyimpanan (g)

Kinetika

Perubahan kualitas kolang-kaling selama penyimpanan dianalisa dengan menggunakan analisis kinetika orde 0, 1, dan 2 tergantung pada bentuk grafik hasil pengukuran pada setiap parameter kualitas. Persamaan umum kinetika dapat dilihat pada Persamaan (3) (Vicent *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2021).

$$\frac{dM}{dt} = -k \cdot M^n \dots \dots \dots (3)$$

Di mana:

- k = konstanta laju perubahan
- M = data kualitas yang terukur
- n = orde

Berdasarkan Persamaan (3), penentuan orde kinetika dilakukan dengan *plotting* data mentah pada parameter kualitas terhadap waktu (t). Pada orde 0, *plot* data mentah akan membentuk grafik linear. Persamaan kinetika pada orde 0 dapat dilihat pada Persamaan (4).

$$M_t = -k \cdot t + M_0 \dots \dots \dots (4)$$

Pada orde 1, *plot* data mentah akan membentuk grafik nonlinear. Persamaan kinetika pada orde 1 diturunkan berdasarkan Persamaan (3) yang dapat dilihat pada Persamaan (5).

$$M_t = M_0 \cdot e^{-kt} \dots \dots \dots (5)$$

Pada orde 2, *plot* data mentah akan membentuk grafik nonlinear yang memiliki *slope* yang terbentuk sangat besar di awal dan tidak konstan. Persamaan kinetika pada orde 2 diturunkan berdasarkan Persamaan (3) dapat dilihat pada Persamaan (6).

$$M_t = \frac{M_0}{M_0 \cdot k \cdot t + 1} \dots \dots \dots (6)$$

Arrhenius

Penelitian ini menggunakan tiga variasi suhu, yaitu 5, 15, dan 28°C. Berdasarkan ketiga suhu tersebut, konstanta perubahan kualitas dapat dimodelkan dengan menggunakan Persamaan Arrhenius. Berdasarkan perubahan kualitas yang dimodelkan dengan Persamaan Arrhenius, nilai kualitas prediksi dapat dimodelkan lebih lanjut pada setiap parameter dan suhu. Rentang suhu yang dapat dimodelkan adalah pada suhu 5-28°C sesuai pada penelitian yang dilakukan. Unsur-unsur yang harus ditentukan dalam memodelkan perubahan kualitas dengan Persamaan Arrhenius adalah adanya nilai faktor frekuensi tumbukan dan energi aktivasi. Berdasarkan persamaan kinetika prediksi, kemudian dapat dikembalikan lagi ke persamaan kinetika untuk menentukan kualitas prediksi pada setiap variasi perlakuan. Persamaan Arrhenius dapat dilihat pada Persamaan (7) sebagai berikut (Vicent *et al.*, 2018; Zhao *et al.*, 2022):

$$k = A \cdot e^{-\frac{Ea}{R \cdot T}} \dots \dots \dots (7)$$

Di mana:

- A = faktor frekuensi tumbukan
- Ea = energi aktivasi (J/mol)
- R = konstanta gas (8,314 J/mol.K)
- T = suhu ruang penyimpanan (K)

Regresi Polinomial Orde Kedua

Penelitian ini menggunakan dua faktor pengaruh, yaitu suhu ruang penyimpanan

dan ketebalan kemasan. Nilai konstanta perubahan kolang-kaling berbentuk grafik nonlinear. Berdasarkan kedua faktor dan bentuk grafik, perubahan kualitas kolang-kaling selama penyimpanan dapat dianalisa lebih lanjut dengan menggunakan persamaan Regresi polinomial orde kedua. Persamaan Regresi polinomial orde kedua dapat dilihat pada Persamaan (8) sebagai berikut (Ojha *et al.*, 2016):

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^p \beta_j x_j + \sum_{j < k} \beta_{jk} x_j x_k + \sum_{j=1}^p \beta_{jj} x_j^2 + \epsilon \dots (8)$$

Berdasarkan variasi suhu dan ketebalan kemasan, persamaan Regresi polinomial orde kedua dapat dikembangkan menjadi persamaan (9).

$$k = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 L + \beta_{11} T^2 + \beta_{22} L^2 + \beta_{12} TL \dots (9)$$

Di mana:

- β = konstanta regresi
- T = suhu ruang penyimpanan (°C)
- L = tebal kemasan (μ m)

Analisis Statistik

Penelitian ini menggunakan analisis statistik *Two Ways Analysis* dengan *Completely Randomized Design* (CRD) sebanyak 2 faktor dengan 3 taraf dan 3 ulangan pada setiap variasi perlakuan. Faktor pengaruh pertama adalah suhu ruang penyimpanan 5, 15, dan 28°C. Faktor pengaruh kedua adalah ketebalan kemasan 30, 50, dan 80 μ m. Perbedaan pada setiap perlakuan diuji lanjut dengan menggunakan *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) dengan tingkat signifikansi 0,05.

HASIL DAN PEMBAHASAN

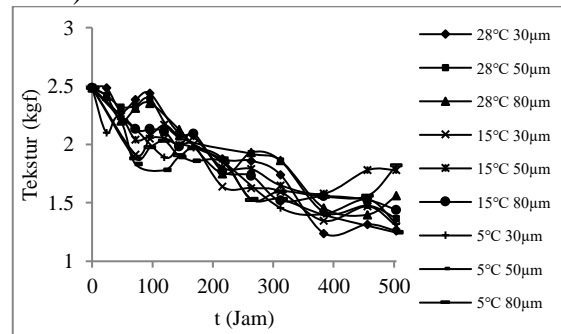
Tekstur

Tekstur kolang-kaling selama penyimpanan pada sistem MAP dapat dilihat pada Gambar 1. Tekstur kolang-kaling menunjukkan *trend* yang terus menurun hingga akhir penyimpanan pada setiap variasi perlakuan. Nilai tekstur yang menurun menunjukkan kolang-kaling mengalami perubahan tektur menjadi semakin lunak hingga akhir penyimpanan. Fenomena ini juga diungkapkan dalam penelitian yang dilakukan oleh (Joshi *et al.*, 2018; Zhao *et al.*, 2019). Pada ketiga

penelitian tersebut, buah yang disimpan akan menunjukkan tekstur yang semakin lunak karena adanya degradasi enzim, air, dan pektin pada buah. Degradasi protopektin yang tidak larut menjadi asam pektat yang lebih mudah larut dan pektin berkontribusi pada penurunan tekstur buah (Nasrin *et al.*, 2022). Hal ini juga ditandai dengan menyusutnya bobot buah karena adanya proses kehilangan uap air dan degradasi sel. Perubahan tekstur pada buah juga dipengaruhi oleh suhu ruang penyimpanan. Pada suhu ruang penyimpanan yang tinggi, maka buah akan lebih cepat menunjukkan kematangan atau kerusakan (Barikloo and Ahmadi, 2018).

Nilai konstanta perubahan tekstur kolang-kaling selama penyimpanan pada sistem MAP dapat dilihat pada Tabel 1. Perubahan tekstur dianalisa dengan menggunakan persamaan kinetika orde kedua. Berdasarkan analisis tersebut, didapatkan nilai konstanta perubahan tekstur terbesar terjadi pada kolang-kaling yang disimpan di dalam kemasan dengan ketebalan 30 μm , yaitu sebesar $7,53 \times 10^{-4}$; $7,44 \times 10^{-4}$; dan $7,10 \times 10^{-4}$ kgf/jam pada suhu ruang penyimpanan 28, 15, dan 5°C. Berdasarkan analisis statistik, perbedaan nilai konstanta perubahan tekstur secara signifikan pada setiap variasi perlakuan yang dipengaruhi oleh suhu ruang penyimpanan, ketebalan kemasan, dan interaksi antara keduanya ($p < 0,05$). Berdasarkan uji DMRT, perbedaan nilai konstanta perubahan tekstur dapat dilihat pada *superscript* yang berbeda. Hal ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Tilahun *et al.* (2021), yaitu kombinasi perlakuan suhu ruang penyimpanan dan kemasan mempengaruhi perubahan tekstur pada buah selama penyimpanan. Pada penelitian ini, setiap penurunan ketebalan kemasan sebanyak 60%, perubahan tekstur kolang-kaling meningkat sebanyak 1-1,5 kali lipat. Kemasan yang tipis memiliki nilai permeabilitas yang besar (Fatharani & Bintoro, 2019). Oleh karena itu, kemasan yang tipis dapat menyebabkan tingginya transpirasi pada kolang-kaling yang

disimpan. Transpirasi yang tinggi dapat menyebabkan degradasi sel yang sangat berpengaruh pada tekstur buah (Zhao *et al.*, 2019).



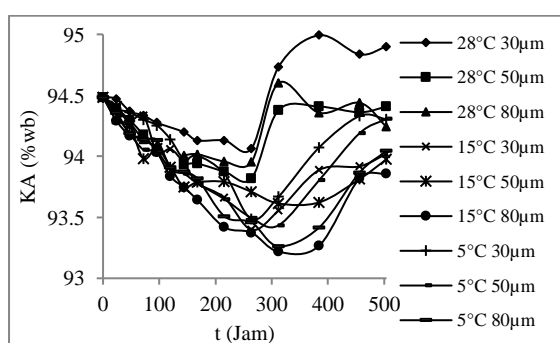
Gambar 1. Perubahan tekstur kolang-kaling selama penyimpanan pada sistem MAP

Kadar Air

Kadar air kolang-kaling selama penyimpanan dalam sistem MAP dapat dilihat pada Gambar 2. Kadar air kolang-kaling menunjukkan *trend* menurun pada setiap variasi perlakuan. Kadar air kolang-kaling dapat mencapai lebih dari 90%, sehingga dapat dikatakan buah tersebut didominasi oleh air. Selama penyimpanan, kolang-kaling juga menunjukkan fisik yang sangat lembap hingga berair pada sekitar buah. Hal ini juga sejalan dengan pernyataan yang diungkapkan oleh Kementerian Pertanian (2014), bahwa kadar air kolang-kaling dapat mencapai lebih dari 90%. Pada penelitian ini, didapatkan kadar air terus mengalami penurunan pada waktu tertentu, kemudian secara drastis meningkat dan berubah menjadi konstan sampai akhir penyimpanan. Pada kolang-kaling yang disimpan pada suhu ruang penyimpanan 28°C, setiap ketebalan kemasan menunjukkan kadar air menurun hingga jam ke-264 atau hari ke-11. Berbeda dengan kolang-kaling yang disimpan pada suhu ruang penyimpanan 15 dan 5°C, dimana dapat lebih lama mempertahankan penurunan kadar air hingga jam ke-312 atau hari ke-13. Perubahan kadar air pada kolang-kaling disebabkan karena adanya proses transpirasi yang dapat mempercepat kerusakan buah (Bovi *et al.*, 2018). Pada saat kadar air meningkat secara drastis setelah jam ke-312, kolang-kaling sudah

menunjukkan tanda kerusakan atau pembusukan buah yang ditandai dengan dinding sel yang menjadi tidak stabil dan disertai dengan proses pelunakan buah. Hal ini dikarenakan terjadi perubahan enzim dengan dekomposisi pektin yang terjadi pada buah (Xu *et al.*, 2022).

Nilai konstanta perubahan kadar air kolang-kaling selama penyimpanan pada sistem MAP dapat dilihat pada Tabel 1. Perubahan kadar air dianalisa dengan menggunakan persamaan kinetika orde pertama. Nilai konstanta perubahan kadar air terjadi pada rentang $2,59 \times 10^{-5}$ hingga $5,04 \times 10^{-5}$ %wb/jam. Berdasarkan analisis statistik, perbedaan nilai konstanta perubahan kadar air pada setiap variasi perlakuan tidak dipengaruhi oleh interaksi antara suhu ruang penyimpanan dan ketebalan kemasan ($p < 0,05$). Meskipun tidak terlihat adanya perbedaan pada setiap kombinasi perlakuan, penyimpanan kolang-kaling menunjukkan perubahan kadar air yang terjadi karena adanya proses transpirasi yang terjadi pada produk. Pada proses ini terjadi proses transfer massa dari dalam dan menuju keluar produk, perpindahan kelembapan melalui lapisan luar produk, evaporasi dari permukaan produk, dan perpindahan massa konvektif berupa uap air menuju lingkungan (Zhao *et al.*, 2019).



Gambar 2. Perubahan kadar air kolang-kaling selama penyimpanan pada sistem MAP

Susut Bobot

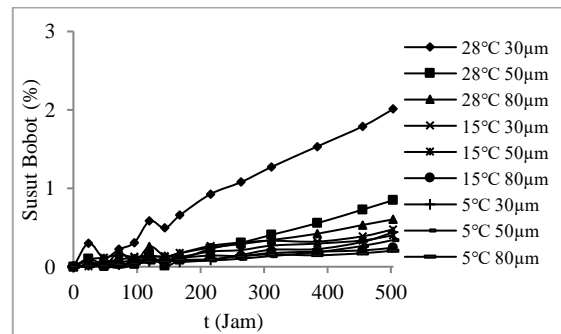
Susut bobot kolang-kaling selama penyimpanan pada sistem MAP dapat dilihat pada Gambar 3. Susut bobot kolang-kaling menunjukkan *trend* meningkat. Susut

bobot yang meningkat menunjukkan bobot buah yang terus menurun. Perubahan susut bobot yang mencolok dapat dilihat pada kolang-kaling yang disimpan pada suhu 28°C dan ketebalan kemasan 30µm. Suhu ruang penyimpanan yang tinggi menjadi faktor terbesar terjadinya aktivitas metabolisme pada buah yang berupa proses respirasi, pematangan, dan transpirasi. Kemasan yang tipis juga menyebabkan terjadinya proses transpirasi yang tinggi karena adanya kehilangan air pada buah dan penurunan bobot buah (Wei *et al.*, 2017). Pada penelitian ini, kolang-kaling mengalami penurunan tekstur, kadar air, dan bobot kolang-kaling yang saling berhubungan dan ditunjukkan pada Gambar 1, 2, dan 3 karena adanya proses transpirasi (Sagar *et al.*, 2022).

Nilai konstanta perubahan susut bobot kolang-kaling selama penyimpanan pada sistem MAP dapat dilihat pada Tabel 1. Nilai konstanta perubahan susut bobot dianalisa dengan menggunakan persamaan kinetika orde ke-0. Nilai konstanta perubahan susut bobot tertinggi terjadi pada kolang-kaling yang disimpan pada suhu ruang penyimpanan 28°C dan ketebalan kemasan 30µm, yaitu sebesar $39,97 \times 10^{-4}$ %/jam, sedangkan nilai konstanta perubahan susut bobot terendah terjadi pada kolang-kaling yang disimpan pada suhu ruang penyimpanan 5°C dan ketebalan kemasan 80µm, yaitu sebesar $4,25 \times 10^{-4}$ %/jam. Berdasarkan analisis statistik, perbedaan nilai konstanta perubahan susut bobot pada setiap variasi perlakuan dipengaruhi oleh suhu ruang penyimpanan, ketebalan kemasan, dan interaksi antara keduanya ($p < 0,05$). Berdasarkan uji DMRT, perbedaan nilai konstanta perubahan tekstur dapat dilihat pada *superscript* yang berbeda. Hal ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Tilahun *et al.* (2021), yaitu suhu mempengaruhi susut bobot buah selama penyimpanan. Selain itu, berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wanakamol *et al.* (2022), yaitu perlakuan kemasan mempengaruhi perubahan susut bobot buah. Pada penelitian ini, setiap

kenaikan suhu ruang penyimpanan 10°C, rerata susut bobot kolang-kaling meningkat sebanyak 1-3 kali lipat, sedangkan setiap penurunan ketebalan kemasan 60%, rerata susut bobot kolang-kaling meningkat sebanyak 1-2 kali lipat. Susut bobot terbesar terjadi pada suhu ruang penyimpanan tertinggi dan ketebalan kemasan terendah. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Joshi et al. (2019) dan (Zhao et al., 2019), yaitu susut bobot tertinggi juga dialami oleh buah yang disimpan pada suhu yang lebih tinggi. Buah yang dikemas dalam kemasan yang tipis akan mudah terkena

kontaminasi dari lingkungan dan menunjukkan susut bobot yang besar.



Gambar 3. Perubahan susut bobot kolang-kaling selama penyimpanan pada sistem MA

Tabel 1. Nilai konstanta perubahan kualitas kolang-kaling selama penyimpanan pada sistem MAP

Suhu (°C)	Tebal Kemasan (µm)	Nilai konstanta perubahan		
		Tekstur (10 ⁻⁴ kgf/ jam)	Kadar Air (10 ⁻⁵ %wb/ jam)	Susut Bobot (10 ⁻⁴ %/ jam)
28	30	7,53 ^c	3,45	39,97 ^f
	50	7,13 ^{bc}	3,22	14,04 ^e
	80	5,78 ^b	2,79	11,56 ^e
15	30	7,44 ^c	3,75	9,72 ^d
	50	4,95 ^a	2,59	8,04 ^{cd}
	80	5,62 ^a	5,04	5,21 ^{ab}
5	30	7,10 ^c	3,45	6,90 ^{bc}
	50	6,91 ^{bc}	3,40	5,37 ^{ab}
	80	5,61 ^a	4,40	4,25 ^a

Nilai konstanta perubahan rerata

Pada kolom yang sama, *superscript* yang berbeda menunjukkan bahwa nilai konstanta perubahan berbeda secara signifikan pada p<0,05

Analisis Matematis Perubahan Kualitas Kolang-kaling

Menurut Zhang et al. (2021), Persamaan Arrhenius dapat digunakan untuk memprediksi suatu perubahan kualitas produk segar yang dipengaruhi oleh perbedaan suhu. Pada analisis ini, didapatkan nilai faktor frekuensi tumbukan dan energi aktivasi, sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan kedua nilai tersebut, kemudian dapat ditentukan nilai konstanta perubahan kualitas prediksi berdasarkan Persamaan Arrhenius. Faktor frekuensi tumbukan, energi aktivasi, dan Persamaan Arrhenius dianalisa pada setiap ketebalan kemasan di setiap parameter kualitas. Terdapat nilai energi aktivasi positif pada tekstur dan susut bobot, serta energi aktivasi negatif pada kadar air. Energi aktivasi negatif pada kadar air menandakan

penurunan kinetika kadar air seiring bertambahnya suhu ruang penyimpanan (Ghosh and Dash, 2018). Berdasarkan Persamaan Arrhenius yang telah terbentuk, maka didapatkan kurva prediksi perubahan kualitas kolang-kaling selama penyimpanan dalam sistem MAP, seperti pada Gambar 4.

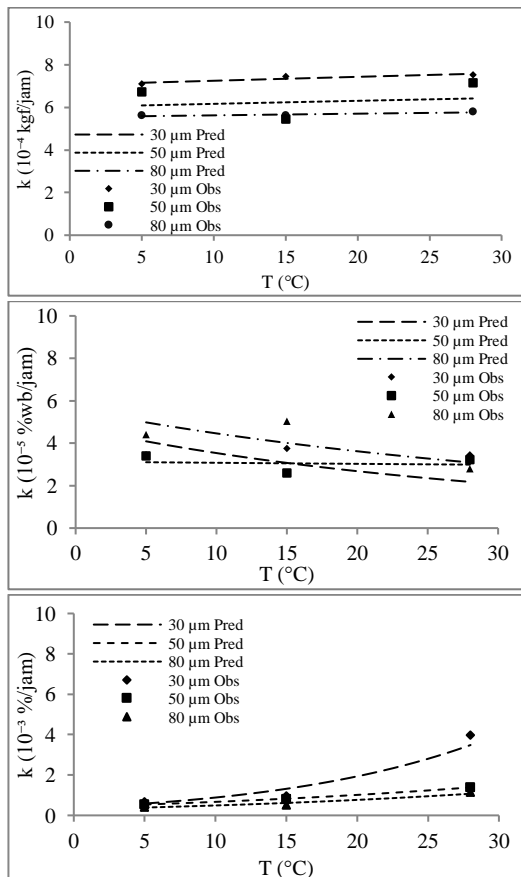
Berdasarkan nilai konstanta perubahan pada setiap variasi perlakuan pada parameter kualitas kemudian dapat dimodelkan berdasarkan dua faktor pengaruh dengan menggunakan persamaan regresi polinomial orde kedua, sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan persamaan yang telah terbentuk, dapat langsung ditentukan dua faktor yang akan ditentukan. Persamaan kinetika prediksi pada setiap parameter perlakuan dapat dibuat grafik dengan melibatkan dua faktor sekaligus seperti pada Gambar 5.

Tabel 2. Faktor frekuensi tumbukan, energi aktivasi, dan Persamaan Arrhenius pada kinetika prediksi perubahan kualitas kolang-kaling selama penyimpanan dalam sistem MAP

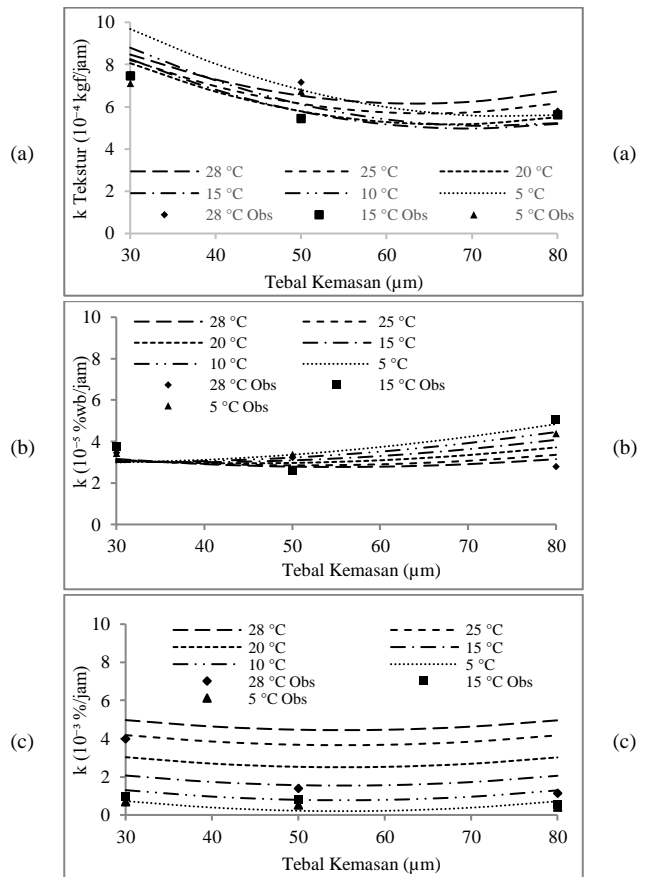
Parameter Kualitas	Tebal Kemasan (µm)	Faktor Frekuensi Tumbukan	Ea (J/mol)	Persamaan Arrhenius
Tekstur	30	$1,51 \cdot 10^{-3}$	1729,74	$k = 1,51 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-208,04 \frac{1}{T}}$
	50	$1,21 \cdot 10^{-3}$	1579,50	$k = 1,21 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-189,97 \frac{1}{T}}$
	80	$0,84 \cdot 10^{-3}$	947,43	$k = 0,84 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-113,95 \frac{1}{T}}$
Kadar Air	30	$1,07 \cdot 10^{-8}$	-19080,88	$k = 1,07 \cdot 10^{-8} \cdot e^{-2294,90 \frac{1}{T}}$
	50	$1,91 \cdot 10^{-5}$	-1123,53	$k = 1,91 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-135,13 \frac{1}{T}}$
	80	$9,73 \cdot 10^{-8}$	-14426,44	$k = 9,73 \cdot 10^{-8} \cdot e^{-14,43 \frac{1}{T}}$
Susut Bobot	30	8219336,122	54038,25	$k = 8219336,122 \cdot e^{-6499,30 \frac{1}{T}}$
	50	129,80	28662,48	$k = 129,80 \cdot e^{-3447,30 \frac{1}{T}}$
	80	235,33	30795,14	$k = 235,33 \cdot e^{-3703,80 \frac{1}{T}}$

Tabel 3. Persamaan regresi polinomial orde kedua untuk prediksi perubahan kualitas kolang-kaling selama penyimpanan dalam sistem MAP

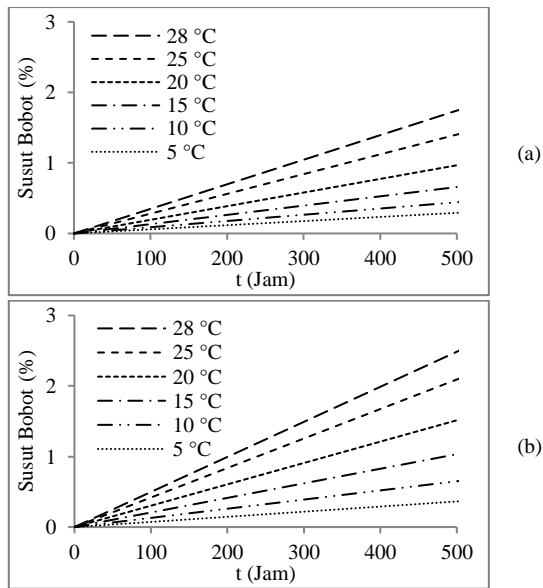
Parameter Kualitas	Persamaan Regresi Polinomial Orde Kedua
Tekstur	$k = (18,674 - 0,342T - 0,321L + 0,007T^2 + 0,002L^2 + 0,002TL) \times 10^{-4}$
Kadar Air	$k = (30,880 + 0,499T - 0,219L + 0,002T^2 + 0,006L^2 - 0,016TL) \times 10^{-6}$
Susut Bobot	$k = (23,564 + 0,562T - 0,813L + 0,039T^2 + 0,008L^2 - 0,021TL) \times 10^{-4}$



Gambar 4. Kurva nilai konstanta perubahan (a) tekstur, (b) kadar air, dan (c) susut bobot kolang-kaling pada berbagai variasi ketebalan kemasan dengan Persamaan Arrhenius



Gambar 5. Kurva nilai konstanta perubahan (a) tekstur, (b) kadar air, dan (c) susut bobot kolang-kaling pada berbagai suhu ruang penyimpanan dan ketebalan kemasan



Gambar 6. Kurva prediksi susut bobot dengan ketebalan kemasan 30 µm pada berbagai suhu dengan Persamaan (a) Arrhenius dan (b) regresi polinomial orde kedua

Kurva prediksi nilai konstanta perubahan yang dimodelkan dengan Persamaan Arrhenius dapat dilanjutkan untuk memodelkan perubahan kualitas pada setiap parameter kualitas dan variasi perlakuan dengan berbagai suhu pada rentang 5-28°C. Kurva prediksi nilai konstanta perubahan yang dimodelkan dengan persamaan regresi polinomial orde kedua juga dapat dilanjutkan untuk memodelkan perubahan kualitas pada setiap parameter dan variasi perlakuan pada berbagai suhu dan ketebalan kemasan. Rentang suhu yang dapat dimodelkan sama

seperti Persamaan Arrhenius, yaitu 5-28°C. Sedangkan rentang ketebalan kemasan yang dapat dimodelkan adalah 30-80µm. Pemodelan kedua persamaan tersebut telah sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan (Fatharani *et al.*, 2020). Contoh kurva prediksi perubahan kualitas prediksi dapat dilihat pada Gambar 6.

Kurva prediksi dengan menggunakan Persamaan Arrhenius dan regresi polinomial orde kedua dapat diuji validasi dengan menggunakan nilai koefisien determinasi (R^2), sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 4. Uji validasi kedua model tersebut dilakukan pada setiap parameter kualitas dan variasi perlakuan. Didapatkan rerata nilai R^2 pada kurva prediksi setiap variasi perlakuan dan parameter dengan Persamaan Arrhenius dan regresi polinomial orde kedua masing-masing sebesar 0,9164 dan 0,9160. Dengan demikian, kedua model tersebut dapat digunakan untuk memodelkan perubahan kualitas tekstur, kadar air, dan susut bobot pada penyimpanan kolang-kaling pada sistem MAP. Prediksi perubahan kualitas produk segar dengan menggunakan Persamaan Arrhenius juga berhasil dilakukan oleh Li *et al.* (2022) dan Zhang *et al.* (2021) dengan rerata nilai R^2 lebih dari 0,90, sedangkan prediksi perubahan kualitas produk segar dengan menggunakan persamaan regresi polinomial orde kedua juga berhasil dilakukan oleh Qambrani *et al.* (2022) dengan rerata nilai R^2 lebih dari 0,90.

Tabel 4. Nilai uji validasi koefisien determinasi (R^2) untuk kurva prediksi dengan Persamaan Arrhenius dan regresi polinomial orde kedua

Parameter Kualitas	Tebal Kemasan (µm)	Koefisien Determinasi (R^2)	
		Arrhenius	Regresi Polinomial Orde Kedua
Tekstur	30	0,9151	0,9138
	50	0,8751	0,8743
	80	0,8337	0,8326
Kadar Air	30	0,9587	0,9588
	50	0,8979	0,8979
	80	0,9236	0,9236
Susut Bobot	30	0,9477	0,9477
	50	0,9468	0,9468
	80	0,9487	0,9487

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Perubahan tekstur, kadar air, dan susut bobot kolang-kaling selama penyimpanan pada sistem MAP dianalisa dengan menggunakan persamaan kinetika, Arrhenius, dan regresi polinomial orde kedua. Pada analisis kinetika, didapatkan orde untuk setiap parameter perubahan kualitas tekstur, kadar air, dan susut bobot masing-masing adalah orde kedua, pertama, dan nol. Berdasarkan analisis statistik, perbedaan nilai konstanta perubahan tekstur dan susut bobot dipengaruhi oleh suhu ruang penyimpanan, kemasan, dan interaksi antara keduanya ($p < 0,05$), sedangkan perbedaan nilai konstanta perubahan kadar air tidak dipengaruhi oleh interaksi antara suhu ruang penyimpanan dan kemasan ($p < 0,05$). Pemodelan dengan menggunakan persamaan Arrhenius dan regresi polinomial orde kedua dapat digunakan untuk memodelkan perubahan tekstur, kadar air, dan susut bobot kolang-kaling selama penyimpanan pada sistem MAP dengan nilai R^2 pada kurva prediksi dengan Persamaan Arrhenius dan regresi polinomial orde kedua masing-masing sebesar 0,9164 dan 0,9160. Kedua persamaan tersebut dapat digunakan untuk penyimpanan kolang-kaling pada sistem MAP dengan rentang suhu ruang penyimpanan 5-28°C dan ketebalan kemasan 30-80µm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia karena sudah memberikan biaya melalui Program Penelitian Magister (PTM) tahun 2019.

DAFTAR REFERENSI

Barikloo, H. and Ahmadi, E. (2018) 'Shelf life extension of strawberry by temperatures conditioning, chitosan coating, modified atmosphere, and

clay and silica nanocomposite packaging', *Scientia Horticulturae*, 240(June), pp. 496–508. doi: 10.1016/j.scienta.2018.06.012.

Belay, Z. A., Caleb, O. J. and Linus, U. (2016) 'Modelling approaches for designing and evaluating the performance of modified atmosphere packaging (MAP) systems for fresh produce: A review', *Food Packaging and Shelf Life*, 10, pp. 1–15. doi: 10.1016/j.fpsl.2016.08.001.

Bovi, G. G. et al. (2018) 'Measurement and modelling of transpiration losses in packaged and unpackaged strawberries', *Biosystems Engineering*, 174, pp. 1–9. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2018.06.012.

Castellanos, D. A. and Herrera, A. O. (2015) 'Review Article Mathematical Models for the Representation of Some Physiological and Quality Changes during Fruit Storage', *Journal of Postharvest Technology*, 03(01), pp. 18–35.

Dameswari, A. H. et al. (2017) 'Kombinasi Teknologi Kemasan dan Bahan Tambahan Untuk Mempertahankan Mutu Kolang Kaling', *Jurnal Keteknik Pertanian*, 5(Desember), pp. 201–208. doi: 10.19028/jtep.05.3.201-208.

Fatharani, A. and Bintoro, N. (2019) 'Kinetics analysis of the effect of storage room temperature and packaging films characteristics on the rate of change of Sugar Palm Fruit (Arenga pinata) quality in A Modified Atmospheric Packaging (MAP)', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 355(1). doi: 10.1088/1755-1315/355/1/012035.

Fatharani, A., Bintoro, N. and Saputro, A. D.

- (2020) ‘Pemodelan Laju Respirasi Buah Kolang-kaling (*Arenga pinnata*) pada Penyimpanan Modified Atmospheric Packaging (MAP)’, *Agriotech: Jurnal Fakultas Teknologi Pertanian UGM*, 40(2), pp. 124–132. doi: 10.22146/agriotech.50247.
- Ghosh, T. and Dash, K. K. (2018) ‘Respiration rate model and modified atmosphere packaging of bhimkol banana’, *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 11(4), pp. 186–195. doi: 10.1016/j.eaef.2018.04.004.
- Gunawan, R. *et al.* (2018) ‘Local knowledge of utilization and management of sugar palm (*Arenga pinnata*) among Cipanggulaan People of Karyamukti, Cianjur (West Java, Indonesia)’, *Biodiversitas*, 19(1), pp. 93–105. doi: 10.13057/biodiv/d190115.
- Joshi, K. *et al.* (2018) ‘Impact of cold chain and product variability on quality attributes of modified atmosphere packed mushrooms (*Agaricus bisporus*) throughout distribution’, *Journal of Food Engineering*, 232, pp. 44–55. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2018.03.019.
- Joshi, K. *et al.* (2019) ‘Predicting quality attributes of strawberry packed under modified atmosphere throughout the cold chain’, *Food Packaging and Shelf Life*, 21(May), pp. 1–10. doi: 10.1016/j.fpsl.2019.100354.
- Kementerian Pertanian (2014) ‘Peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 133/Permentan/OT.140/12/2013 Tentang Pedoman Budidaya Aren (*Arenga pinnata* Merr) yang Baik’.
- Kirana, M. A. (2017) *Kajian Matematis Laju Respirasi dan Perubahan Sifat Fisik Buah Nangka (*Artocarpus heterophyllus* Lamk.) Terolah Minimal Selama Penyimpanan pada Kondisi Atmosfer Termodifikasi*. Universitas Gadjah Mada. Available at: <http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/128439>.
- Ktenioudaki, A. *et al.* (2021) ‘Blueberry supply chain: Critical steps impacting fruit quality and application of a boosted regression tree model to predict weight loss’, *Postharvest Biology and Technology*, 179(February), p. 111590. doi: 10.1016/j.postharvbio.2021.111590.
- Kumar Sen, S. and Raut, S. (2015) ‘Microbial degradation of low density polyethylene (LDPE): A review’, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3(1), pp. 462–473. doi: 10.1016/j.jece.2015.01.003.
- Li, Y., Ding, S. and Wang, Y. (2022) ‘Shelf life predictive model for postharvest shiitake mushrooms’, *Journal of Food Engineering*, 330(December 2021), p. 111099. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2022.111099.
- McManamon, O. *et al.* (2019) ‘Nisin application delays growth of *Listeria monocytogenes* on fresh-cut iceberg lettuce in modified atmosphere packaging, while the bacterial community structure changes within one week of storage’, *Postharvest Biology and Technology*, 147(June 2018), pp. 185–195. doi: 10.1016/j.postharvbio.2018.10.002.
- Murmu, S. B. and Mishra, H. N. (2017) ‘Engineering evaluation of thickness and type of packaging materials based on the modified atmosphere packaging requirements of guava (*Cv. Baruipur*)’, *LWT - Food Science and Technology*, 78, pp. 273–280. doi: 10.1016/j.lwt.2016.12.043.

- Nasrin, T. A. A. *et al.* (2022) 'Preservation of postharvest quality of fresh cut cauliflower through simple and easy packaging techniques', *Applied Food Research*, 2(2), p. 100125. doi: 10.1016/j.afres.2022.100125.
- Ojha, K. S. *et al.* (2016) 'Effect of enzymatic hydrolysis on the production of free amino acids from boarfish (*Capros aper*) using second order polynomial regression models', *LWT - Food Science and Technology*, 68, pp. 470–476. doi: 10.1016/j.lwt.2015.11.040.
- Oliveira, M. *et al.* (2015) *Application of Modified Atmosphere Packaging as a safety approach to fresh-cut fruits and vegetables – A review*, *Trends in Food Science & Technology*. Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.tifs.2015.07.017.
- Pacaphol, K., Seraypheap, K. and Aht-Ong, D. (2019) 'Development and application of nanofibrillated cellulose coating for shelf life extension of fresh-cut vegetable during postharvest storage', *Carbohydrate Polymers*, 224(July), p. 115167. doi: 10.1016/j.carbpol.2019.115167.
- Qambrani, S. *et al.* (2022) 'Development of guar gum-based coating with castor oil for improved postharvest quality of fresh mangoes using response surface methodology', *Applied Food Research*, 2(2). doi: 10.1016/j.afres.2022.100220.
- Sagar, N. A. *et al.* (2022) 'Prospecting the role of nanotechnology in extending the shelf-life of fresh produce and in developing advanced packaging', *Food Packaging and Shelf Life*, 34(January), p. 100955. doi: 10.1016/j.fpsl.2022.100955.
- Sun, M. *et al.* (2022) 'Effects of O₂/CO₂ transmission rate of BOPA/LDPE or PE film on shelf life and quality attributes of fresh-cut cherry radish', *Food Bioscience*, 51(1800), p. 102171. doi: 10.1016/j.fbio.2022.102171.
- Techavuthiporn, C. and Boonyaritthongchai, P. (2016) 'Effect of prestorage short-term Anoxia treatment and modified atmosphere packaging on the physical and chemical changes of green asparagus', *Postharvest Biology and Technology*, 117, pp. 64–70. doi: 10.1016/j.postharvbio.2016.01.016.
- Tilahun, S. *et al.* (2021) 'Modified atmosphere packaging combined with CO₂ and 1-methylcyclopropene prolong the storability and maintain antioxidant properties of cherry tomato', *Scientia Horticulturae*, 288(August 2020), p. 110401. doi: 10.1016/j.scienta.2021.110401.
- Tusiyem *et al.* (2015) 'Uji fisis dan pH Manisan Air Buah Kolong-Kaling', *Jurnal Photon*, 5(2), pp. 53–62. Available at: blob:http://ejurnal.umri.ac.id/0a80a3a2-27d2-4638-af23-86f3e69abadb.
- Vicent, V. *et al.* (2018) 'Quality changes kinetics of apple tissue during frozen storage with temperature fluctuations', *International Journal of Refrigeration*, 92, pp. 165–175. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2018.05.023.
- Wanakamol, W. *et al.* (2022) 'Hurdle Approach for Control of Enzymatic Browning and Extension of Shelf Life of Fresh-Cut Leafy Vegetables Using Vacuum Precooling and Modified Atmosphere Packaging: Commercial Application', *Horticulturae*, 8(8). doi: 10.3390/horticulturae8080745.
- Wei, W. *et al.* (2017) 'Postharvest Biology and Technology Fresh-keeping effects of three types of modified atmosphere packaging of pine-

- mushrooms’, *Postharvest Biology and Technology*, 132(April), pp. 62–70. doi: 10.1016/j.postharvbio.2017.05.020.
- Xanthopoulos, G. T. *et al.* (2017) ‘The contribution of transpiration and respiration in water loss of perishable agricultural products: The case of pears’, *Biosystems Engineering*, 158, pp. 76–85. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2017.03.011
- Xu, C. *et al.* (2022) ‘Cell wall and reactive oxygen metabolism responses of strawberry fruit during storage to low voltage electrostatic field treatment’, *Postharvest Biology and Technology*, 192(June), p. 112017. doi: 10.1016/j.postharvbio.2022.112017.
- Zhang, W. *et al.* (2021) ‘Kinetic models applied to quality change and shelf life prediction of kiwifruits’, *Lwt*, 138(July 2020), p. 110610. doi: 10.1016/j.lwt.2020.110610.
- Zhao, S. *et al.* (2022) ‘Shelf-life prediction model of fresh-cut potato at different storage temperatures’, *Journal of Food Engineering*, 317(November 2021), p. 110867. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2021.110867.
- Zhao, X. *et al.* (2019) ‘Consolidated cold and modified atmosphere package system for fresh strawberry supply chains’, *Lwt*, 109, pp. 207–215. doi: 10.1016/j.lwt.2019.04.032.
- Zhu, M. *et al.* (2022) ‘Investigation of thermal contaminants in coffee beans induced by roasting: A kinetic modeling approach’, *Food Chemistry*, 378(July 2021), p. 132063. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.132063.