

## MODEL KINETIKA PERUBAHAN KUALITAS TOMAT SELAMA PENYIMPANAN

### *Kinetics Model of Tomato Quality Changes During Storage*

Rudiati Evi Masithoh<sup>1\*</sup>, Budi Rahardjo<sup>1</sup>, Lilik Sutiarto<sup>1</sup>, Agus Harjoko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada

Jl. Flora No 1, Bulaksumur, Yogyakarta

<sup>2</sup>Fakultas MIPA, Universitas Gadjah Mada

Jl. Sekip Utara, Bulaksumur, Yogyakarta

\*Penulis Korespondensi: email evi@gadjahmada.edu

#### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengembangkan model kinetika perubahan kualitas tomat selama penyimpanan. Sampel yang digunakan adalah tomat yang disimpan pada suhu 6, 15, dan 28 °C. Parameter kualitas yang diamati adalah karoten total, asam sitrat, dan vitamin C. Pada pengembangan model kinetika perubahan kualitas diperoleh nilai  $k$  untuk karoten total, asam sitrat, dan vitamin C sebesar 0.075, -0.008, dan 0.042 untuk suhu 6 °C, 0.056, -0.029, dan 0.049 untuk suhu 15 °C, serta 0.125, -0.039, dan 0.044 untuk suhu 28 °C, secara berurutan. Energi aktivasi untuk kenaikan karoten total, penurunan asam sitrat, dan kenaikan vitamin C masing-masing secara berurutan adalah 17.83 kJ/mol, 47.91 kJ/mol, dan 0.96 kJ/mol. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) antara kandungan substrat observasi dengan prediksi menggunakan model kinetika yang dikembangkan adalah 0.70–0.96.

Kata kunci: Kinetika, karoten total, asam sitrat, vitamin C, tomat

#### ABSTRACT

*This study aims at developing a kinetics model of changes in tomatoes quality during storage. Samples were stored at temperature of 6, 15, and 28 °C. Quality parameters measured were total carotene, citric acid, and vitamin C. On the development of kinetic models of quality parameter changes the  $k$  values of total carotenoids, citric acid, and vitamin C were 0.075, -0.008, and 0.042 at 6 °C, 0.056, -0.029, and 0.049 at 28 °C, as well as 0.125, -0.039, dan 0.044 at 28 °C, respectively. Activation energy of the decrease of citric acid was 47.91 kJ/mol, whereas for total carotene and vitamin C were 17.83 kJ/mol dan 0.96 kJ/mol. The coefficient of determination ( $R^2$ ) of the quality content between observation and prediction were 0.70-0.96.*

*Keywords: Kinetics, total carotene, citric acid, vitamin C, tomato*

#### PENDAHULUAN

Tomat mempunyai komposisi utama pembentuk rasa yaitu gula, asam organik, asam amino bebas, dan garam (Yilmaz, 2001), selain itu juga kaya akan vitamin A dan C. Parameter kualitas tomat yang lain adalah warna, ukuran, bentuk, *firmness*, vitamin, volatil material, serta tingkat kemasakan (Mikkelsen, 2005; Shao *et al.*, 2007). Meskipun parameter pertama yang dipertimbangkan oleh konsumen adalah tampilan luar, kepuasan, dan keinginan untuk membeli kembali oleh konsumen ditentukan oleh kualitas siap makannya (*eating quality*) (Grierson dan Kader, 1986).

Karotenoid adalah senyawa yang bertanggung jawab atas warna merah, kuning, dan warna oranye pada buah-buahan dan sayuran, dan juga ditemukan di banyak sayuran berwarna hijau tua (Sass-Kiss *et al.*, 2005). Warna merah pada tomat terutama ditentukan oleh karoten khususnya likopen (Lewinsohn *et al.*, 2005). Karena selama pemasakan terjadi perubahan warna yang disebabkan oleh degradasi klorofil dan pembentukan karoten (Grierson dan Kader, 1986), maka terdapat hubungan yang erat antara warna dengan peningkatan kadar gula, penurunan rasio asam malat dan asam sitrat, dan penurunan keasaman total pada jaringan buah tomat yang terjadi selama pemasakan.

Beberapa penelitian untuk menentukan kualitas bahan pertanian telah banyak dilakukan. Antara lain adalah dengan uji kimiawi konvensional di laboratorium atau dengan metode non-destruktif menggunakan *electronic nose* (Gomez *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2008), VIS/NIR spektroskopi (Huang, *et al.*, 2008), serta *Computer Vision System* (CVS) (Brosnan dan Sun, 2004; Zheng *et al.*, 2006).

Model kinetika juga banyak digunakan untuk mengamati perubahan kualitas bahan pertanian. Misalnya, model kinetika perubahan warna nangka selama proses pengeringan (Saxena *et al.*, 2012), degradasi likopen pada bubur tomat pada berbagai kondisi penyimpanan (Sharma dan Mague, 1996), atau model kinetika pada tomat yang diberi perlakuan *osmo-dehidrofrozen* yang menunjukkan bahwa laju perubahan warna, likopen total, dan vitamin C berkurang sampai 64% (Dermesonlouoglou *et al.*, 2007). Suatu model kinetika perubahan kualitas tomat selama penyimpanan dikembangkan pada penelitian ini. Kualitas tomat yang dimaksud adalah karoten total, asam sitrat, dan vitamin C.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan dan Alat

Sampel tomat yang digunakan adalah tomat varietas Kaliurang dengan kondisi hijau matang. Buah yang sudah dicuci dan dikeringkan kemudian diletakkan dalam ruang bersuhu kamar  $\pm 28$  °C selama 24 jam untuk dianalisis pada hari berikutnya. Tomat dibagi dalam tiga kelompok yang masing-masing disimpan pada suhu ruang ( $\pm 28$  °C), dan suhu lemari pendingin 6 °C dan 15 °C.

### Metode

#### Analisis kualitas

Kadar karoten total (mg/g) ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer (Spectrophotometer visible, Genesys 20, Thermospectronic) berdasarkan metode standar AOAC (1990). Asam yang dianalisis adalah asam sitrat dalam persen (%). Metode pengukuran asam dengan melakukan titrasi 0.1 M NaOH sampai dengan kira-kira pH 8.1. Untuk vitamin C (mg/100g) ditentukan melalui titrasi menggunakan 2,6-dichloroindophenol (AOAC, 1990).

### Pengembangan model

Karoten total secara fisiologi ditentukan terutama oleh pigmen-pigmen seperti  $\beta$ -karoten, fitoen, fitofluen, likopen, dan  $\gamma$ -karoten (Tomes *et al.*, 1958). Pigmen tersebut menyebabkan warna tertentu pada tomat. Karoten total, seperti pigmen yang lain, akan mengalami perubahan selama penyimpanan biasanya mengikuti kinetika reaksi orde satu (Saxena *et al.*, 2012). Asam organik seperti asam sitrat dan vitamin C juga mengalami perubahan selama penyimpanan yang mengikuti kinetika reaksi orde satu (Gonçalves *et al.*, 2011).

Perubahan warna dan kualitas tersebut mengikuti orde nol (0) atau satu (1) tergantung dari parameter yang ditetapkan. Persamaan 1 dan 2 menunjukkan persamaan dasar kinetika reaksi orde 0 dan 1, secara berurutan.

$$Q = Q_0 - k.t \quad (1)$$

$$\frac{Q}{Q_0} = e^{-k.t} \quad (2)$$

dengan  $Q$  adalah parameter kualitas,  $k$  adalah konstanta laju reaksi, dan  $t$  adalah waktu.

Arrhenius menyatakan bahwa hubungan suhu terhadap reaksi atau perubahan yang terjadi dapat dinyatakan seperti Persamaan 3 (Chang, 1990).

$$k = k_0 e^{-\frac{Ea}{RT}} \quad (3)$$

Dengan  $k$  adalah konstanta laju reaksi,  $k_0$  adalah faktor frekuensi,  $Ea$  adalah energi aktivasi,  $R$  adalah konstanta gas, serta  $T$  adalah suhu mutlak. Apabila pada Persamaan 3 diubah menjadi fungsi logaritma maka menjadi:

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{Ea}{RT} \quad (4)$$

Perubahan kandungan karoten total, asam sitrat, dan vitamin C diamati selama penyimpanan pada suhu 6, 15, dan 28 °C. Secara umum, model kinetika untuk perubahan kualitas dapat dituliskan seperti Persamaan 5.

$$\frac{Q}{Q_0} = e^{-k_Q.t} \quad (5)$$

untuk  $n = 1$ , maka jika diselesaikan secara kalkulus penyelesaiannya adalah:

$$\ln \frac{Q}{Q_0} = -k_Q t \quad (6)$$

dengan:

$Q$  dan  $Q_0$  = nilai parameter kualitas saat  $t = t$  dan  $t = 0$

$k_Q$  = konstanta laju reaksi perubahan parameter kualitas

$n$  = orde reaksi

$t$  = waktu (hari), dihitung saat panen ( $t = 0$ )

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Parameter Kualitas Tomat selama Penyimpanan

Tabel 1 menunjukkan rentang nilai parameter kualitas tomat pada suhu penyimpanan 6, 15, dan 28 °C, sedangkan Gambar 1 menunjukkan grafik perubahan karoten total, asam sitrat, dan vitamin C selama penyimpanan pada suhu 6, 15, dan 28 °C.

Dari pengamatan tampak bahwa parameter kualitas yaitu karoten total, asam sitrat, dan vitamin C akan mengalami perubahan secara signifikan selama penyimpanan. Hasil dari uji koefisien korelasi menunjukkan bahwa pada suhu penyimpanan 6 °C karoten total dan asam sitrat mengalami perubahan secara signifikan ( $P < 0.05$ ) selama penyimpanan, juga untuk vitamin C mengalami kenaikan signifikan ( $P < 0.01$ ). Untuk suhu penyimpanan 15 °C, karoten total mengalami perubahan signifikan ( $P < 0.05$ ) selama penyimpanan, begitu juga perubahan signifikan ( $P < 0.01$ ) untuk asam sitrat dan vitamin C. Sedangkan untuk suhu penyimpanan 28 °C, uji statistik juga menunjukkan bahwa karoten total dan

vitamin C mengalami kenaikan signifikan ( $P < 0.01$ ), sedangkan asam sitrat akan mengalami penurunan secara signifikan ( $P < 0.01$ ) selama penyimpanan. Berdasarkan uji ANOVA, asam sitrat dari tomat yang disimpan pada suhu 6, 15, dan 28 °C berbeda secara signifikan ( $P < 0.05$ ), sedangkan karoten total dan vitamin C mempunyai rerata yang sama pada suhu penyimpanan yang berbeda.

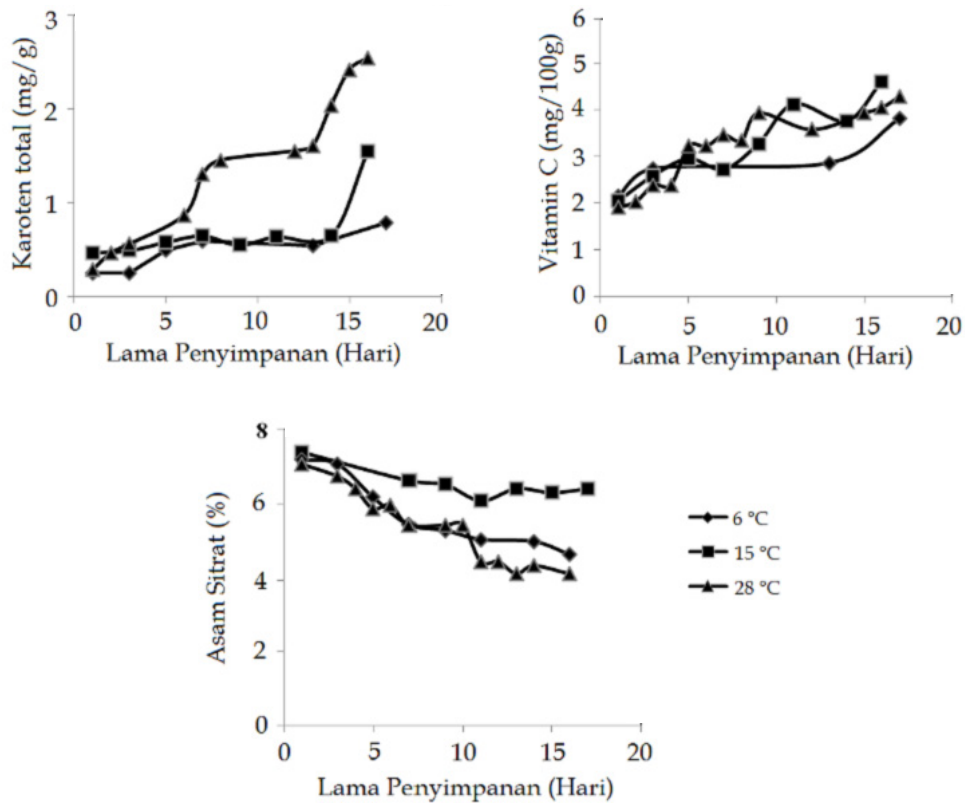
Karoten total naik selama penyimpanan, dengan kadar yang paling tinggi pada suhu 28 °C. Suhu yang tinggi menyebabkan proses pemasakan yang lebih cepat dibandingkan dengan suhu rendah, sehingga sintesa karoten juga akan lebih cepat (Muoki *et al.*, 2006). Selama penyimpanan, karoten akan mengalami kenaikan baik dari jenis dan jumlahnya (Rodriguez-Amaya dan Kimura, 2004). Selain itu selama penyimpanan tomat mengalami pemasakan yang menyebabkan kandungan klorofil berkurang dan karoten meningkat karena kloroplas diubah menjadi kromoplas (Gautier *et al.*, 2008). Waktu penyimpanan menyebabkan warna tomat menjadi semakin oranye atau merah dan kelas kemasakan tomat semakin meningkat karena kelas kemasakan diklasifikasikan berdasarkan warna (USDA, 1976). Ilahi *et al.* (2011) menemukan bahwa kelas kemasakan secara signifikan mempengaruhi kandungan total karoten. Pada penelitian ini, tomat disimpan dari kondisi awal yang berwarna hijau menjadi merah.

Kandungan asam sitrat mengalami penurunan selama penyimpanan pada semua suhu, dengan beda yang cukup signifikan antara ketiga suhu (Tabel 1). Hal yang sama juga dilaporkan oleh beberapa peneliti bahwa terjadi konsentrasi asam sitrat selama penyimpanan (Artes *et al.*, 1999; Xin *et al.*, 2010; Žnidarčič *et al.*, 2010; Tigist *et al.*, 2011). Penurunan asam sitrat

Tabel 1. Nilai rata-rata dan standar deviasi tomat pada suhu 6 °C, 15 °C, dan 28 °C selama penyimpanan

Parameter	6 °C	15 °C	28 °C
Karoten total (mg/g)	0.48 ± 0.21 <sup>a</sup>	0.69 ± 0.35 <sup>a</sup>	1.37 ± 0.77 <sup>a</sup>
Asam sitrat (%)	6.52 ± 0.17 <sup>c</sup>	5.73 ± 0.95 <sup>d</sup>	5.38 ± 0.89 <sup>e</sup>
Vitamin C (mg/100g)	2.89 ± 0.69 <sup>b</sup>	4.60 ± 0.80 <sup>b</sup>	3.20 ± 0.79 <sup>b</sup>

Keterangan: Nilai pada baris yang sama dengan huruf yang sama, tidak berbeda secara signifikan ( $P < 0.05$ )



Gambar 1. Karoten total, asam sitrat, dan Vitamin C tomat yang disimpan pada suhu 6, 15, dan 28 °C

tersebut disebabkan respirasi yang terjadi saat pemasakan menggunakan asam organik sebagai substratnya disamping karbohidrat (Grierson dan Kader, 1986).

Kandungan vitamin C tomat yang disimpan pada suhu 6, 15, dan 28 °C juga ditunjukkan pada Gambar 1. Tampak bahwa selama penyimpanan, terdapat kenaikan kandungan vitamin C untuk semua suhu. Fenomena ini sejalan dengan yang ditemukan oleh Toor dan Savage (2006) untuk tomat yang disimpan pada suhu 5, 15, dan 25°C. Kenaikan konsentrasi asam askorbat selama penyimpanan juga telah dilaporkan (Abushita *et al.*, 1997; Giovanelli *et al.*, 1999). Namun berbeda dengan yang telah laporkan oleh Žnidarčič *et al.* (2010), bahwa kandungan vitamin C menurun selama penyimpanan pada suhu 5 dan 10°C. Begitu juga, Oms-Oliu *et al.* (2011) yang menyatakan bahwa tomat akan mengalami penurunan kandungan asam askorbat dengan semakin meningkatnya kelas kemasakan.

Meskipun rerata Vitamin C pada berbagai suhu penyimpanan tidak berbeda, tetapi penyimpanan pada suhu tinggi menyebabkan penurunan kadar asam

askorbat yang lebih besar dibanding suhu rendah (Chang *et al.*, 2006). Suhu tinggi mempercepat terjadinya oksidasi asam askorbat menjadi dehidroaskorbat asam, diikuti proses hidrolisis menjadi asam 2,3-diketogulonik, dan polimerisasi lebih lanjut untuk membentuk produk nutrisi aktif lainnya.

#### Model Kinetika Perubahan Kualitas Tomat

Model kinetika perubahan warna tersebut dapat didekati dengan regresi linier orde 1, dimana laju kenaikan atau penurunannya dipengaruhi oleh konsentrasi awal. Beberapa peneliti melaporkan bahwa kinetika orde 1 digunakan untuk mengamati degradasi likopen pada bubur tomat (Sharma dan Mague, 1996), dan degradasi klorofil dan vitamin C pada brokoli (Gonçalves *et al.*, 2011).

Gambar 2 menunjukkan hubungan antara konstanta laju reaksi perubahan karoten total, asam sitrat, dan vitamin C dengan suhu penyimpanan 6, 15, dan 28°C atau masing-masing setara dengan 279.15, 288.15, dan 301.15 K. Dari gambar tersebut tampak bahwa dengan meningkatnya suhu maka kecepatan reaksi perubahan perubahan

karoten total dan vitamin C akan semakin tinggi, sedangkan asam sitrat akan menurun.

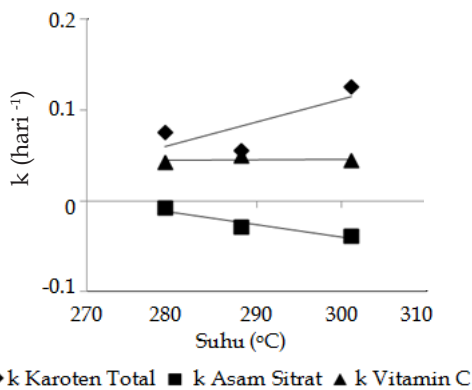
Tabel 2 menunjukkan konstanta laju reaksi ( $k$ ) dan energi aktivasi ( $E_a$ ) perubahan karoten total, asam sitrat, dan vitamin C yang diperoleh dari model kinetika. Gambar 3 menunjukkan plot dari logaritma natural ( $\ln$ ) konstanta laju reaksi ( $k$ ) dengan  $1/T$  untuk perubahan karoten total, asam sitrat, dan vitamin C tomat selama penyimpanan. Dari plot tersebut dapat ditentukan besarnya energi aktivasi dari masing-masing parameter kualitas. Dari Gambar 3 tampak bahwa perubahan karoten total, asam sitrat, dan vitamin C dapat dijelaskan secara baik dengan menggunakan model kinetika dan Arrhenius.

Dari Tabel 2 tampak bahwa  $k$  adalah bernilai positif untuk perubahan karoten total dan vitamin C pada suhu 6, 15, dan 28 °C yang berarti terjadi kenaikan karoten total dan vitamin C selama penyimpanan. Pada suhu 6, 15, dan 28°C terjadi kenaikan karoten total dan vitamin C dengan  $k$  sebesar 0.075 dan 0.041, 0.056 dan 0.049, serta 0.125 dan 0.044, secara berurutan. Nilai negatif pada  $k$  untuk asam sitrat berarti terjadi penurunan kandungan asam

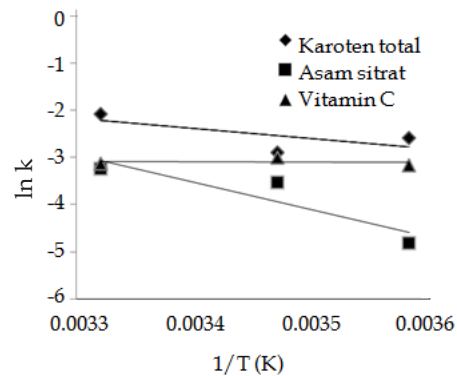
sitrat selama penyimpanan. Pada suhu 6°C, 15°C, dan 28°C terjadi penurunan dengan  $k$  sebesar -0.008, -0.029, dan -0.039, secara berurutan.

Perubahan karoten total, asam sitrat, dan vitamin C mengikuti model kinetika reaksi orde satu dan mengikuti hukum Arrhenius terhadap suhu. Energi aktivasi paling besar adalah 47.91 kJ/mol pada penurunan kandungan asam sitrat, diikuti dengan kenaikan karoten total dan vitamin C sebesar 17.83 kJ/mol dan 0.96 kJ/mol, secara berurutan. Penyimpanan pada suhu tinggi dapat mempercepat sintesa karoten total. Sebaliknya, penyimpanan suhu rendah secara kinetik membatasi kerusakan pigmen sehingga baik untuk mempertahankan klorofil. Energi aktivasi yang tinggi membuat karoten total sensitif terhadap suhu penyimpanan yang lebih tinggi dan fluktuatif di dalam freezer (Martins dan Silva, 2002).

Model kinetika perubahan kualitas ditunjukkan pada Persamaan 7 sampai 9, Persamaan 10 sampai 12, serta Persamaan 13 sampai 15, untuk masing-masing suhu 6, 15, dan 28 °C secara berurutan.  $Q_K$ ,  $Q_{AS}$ , dan  $Q_{VC}$  menunjukkan kandungan karoten total, asam sitrat, dan vitamin C.



Gambar 2. Hubungan konstanta laju reaksi perubahan karoten total, asam sitrat, dan vitamin C terhadap suhu penyimpanan

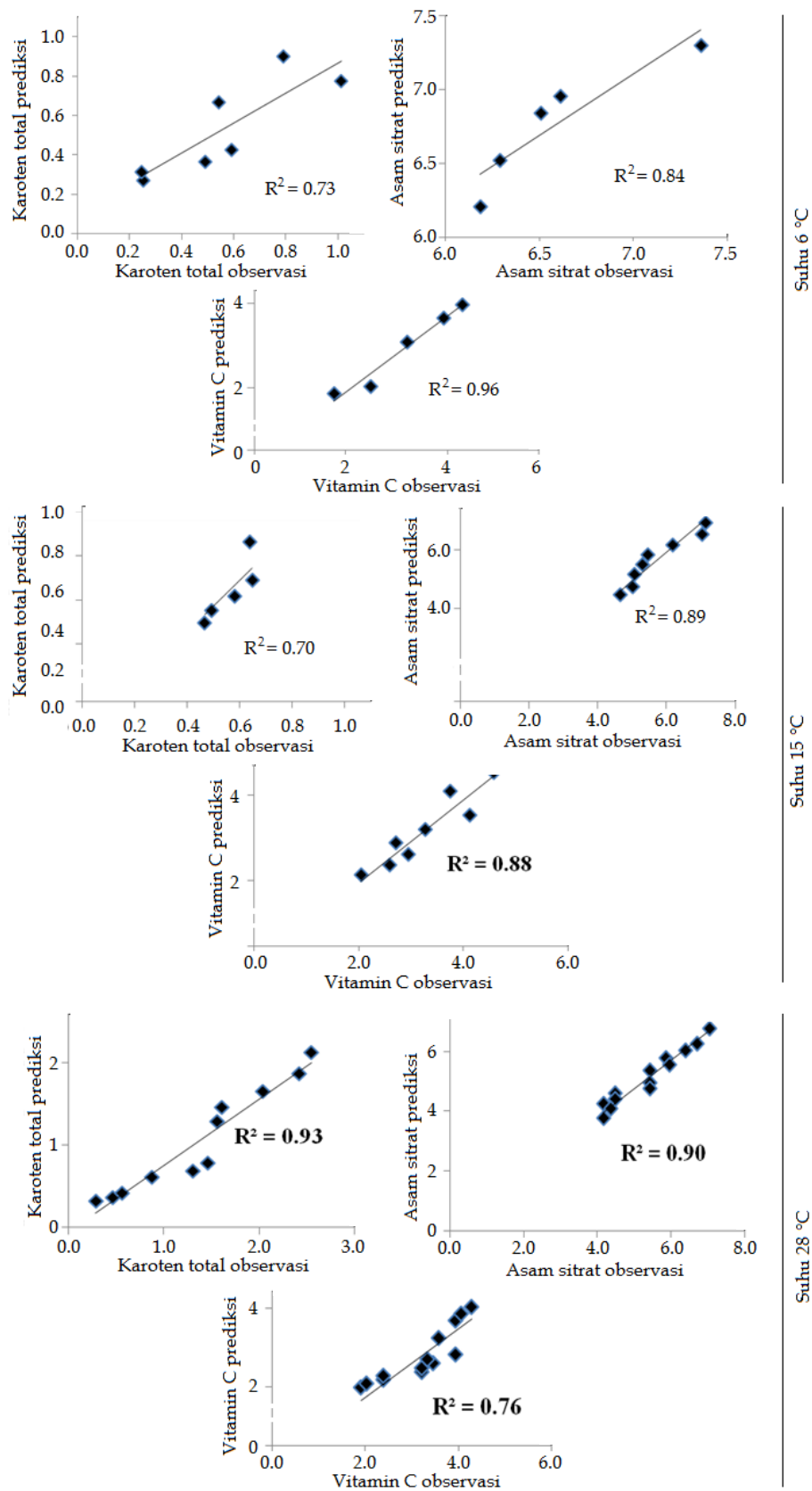


Gambar 3. Plot persamaan Arrhenius dari logaritma natural konstanta laju reaksi ( $k$ ) dengan  $1/T$  untuk perubahan kualitas tomat selama penyimpanan

Tabel 2. Parameter kinetika perubahan kualitas tomat pada suhu penyimpanan 6, 15, dan 28 °C

Parameter	Konstanta laju reaksi ( $k$ ) (hari <sup>-1</sup> )			Energi aktivasi (kJ/mol)
	6 °C	15 °C	28 °C	
Karoten total (mg/g)	0.075	0.056	0.125	17.83
Asam sitrat (%)	-0.008	-0.029	-0.039	47.91
Vitamin C (mg/100g)	0.042	0.049	0.044	0.96





Gambar 4. Hubungan antara nilai observasi dan prediksi kualitas tomat selama penyimpanan pada berbagai suhu

Suhu 6 °C

$$Q_K(t) = 0.251 e^{0.075t} \quad (7)$$

$$Q_{AS}(t) = 7.36 e^{-0.008t} \quad (8)$$

$$Q_{VC}(t) = 1.79 e^{0.042t} \quad (9)$$

Suhu 15 °C

$$Q_K(t) = 0.47 e^{0.056t} \quad (10)$$

$$Q_{AS}(t) = 7.14 e^{-0.029t} \quad (11)$$

$$Q_{VC}(t) = 2.04 e^{0.049t} \quad (12)$$

Suhu 28 °C

$$Q_K(t) = 0.28 e^{0.125t} \quad (13)$$

$$Q_{AS}(t) = 7.04 e^{-0.039t} \quad (14)$$

$$Q_{VC}(t) = 1.91 e^{0.044t} \quad (15)$$

Konstanta laju reaksi perubahan karoten total dan vitamin C akan semakin besar dengan kenaikan suhu. Toor dan Savage (2006) menyatakan bahwa terjadi kenaikan perubahan vitamin C selama penyimpanan pada suhu penyimpanan berapapun. Perubahan konsentrasi vitamin C disebabkan oleh reaksi oksidasi yang tidak balik, dan akan semakin tinggi dengan peningkatan suhu (Serpen *et al.*, 2007). Kenaikan vitamin C akan menyebabkan kenaikan karoten yang merupakan salah satu antioksidan karena vitamin C berkontribusi sekitar 28-38% terhadap kandungan antioksidan (Toor dan Savage, 2006). Sedangkan pada asam sitrat, laju penurunannya juga lebih cepat pada suhu penyimpanan 28 °C.

Uji statistik menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan pada data hasil observasi dan prediksi. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) antara kandungan substrat observasi dengan prediksi (Gambar 4) menggunakan model kinetika yang dikembangkan adalah berkisar antara 0.7-0.96.

## SIMPULAN

Perubahan karoten total, asam sitrat, dan vitamin C mengikuti model kinetika reaksi orde satu dan mengikuti hukum Arrhenius terhadap suhu. Model kinetika perubahan kualitas menunjukkan terjadi kenaikan karoten total dan vitamin C masing-masing dengan k sebesar 0.075 dan 0.042 untuk suhu 6 °C, 0.056 dan 0.049 untuk suhu 15 °C, dan 0.125 dan 0.044 untuk suhu 28 °C. Pada suhu

6, 15, dan 28 °C terjadi penurunan asam sitrat dengan k masing-masing sebesar -0.008, -0.029, serta -0.039, secara berurutan. Energi aktivasi paling tinggi sebesar 47.91 kJ/mol pada penurunan kandungan asam sitrat, diikuti dengan kenaikan karoten total dan vitamin C sebesar 17.83 kJ/mol dan 0.96 kJ/mol, secara berurutan. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) antara kandungan substrat observasi dengan prediksi menggunakan model kinetika yang dikembangkan adalah berkisar 0.7 - 0.96.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abushita AA, Hebshi EA, Daood HG and Biacs PA. 1997. Determination of antioxidant vitamins in tomatoes. *Food Chem* 60(2):207-212.
- AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th ed.*, Arlington.
- Artes F, Conesa MA, Hernandez S and Gil MI. 1999. Keeping quality of fresh-cut tomato. *Postharv Biol. Technol* 17:153-162.
- Brosnan T and Sun D. 2004. Improving quality inspection of food products by computer vision—a review. *J. Food Eng* 61:3-16.
- Chang C, Lin H, Chang C and Liu Y. 2006. Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. *J. Food Eng* 77:478-485.
- Chang R. 1990. *Physical chemistry with applications to biological systems*. Macmillan Publishing Company, Singapore.
- Dermesonlouoglou E, Giannakourou M and Taoukis P. 2007. Kinetic modelling of the degradation of quality of osmo-dehydrofrozen tomatoes during storage. *Food Chem* 103: 985-993.
- Gautier H, Diakou-Verdin V, Benard C, Reich M, Buret M, Bourgaud F, Poessel JL, Caris-Veyrat C, Genard M. 2008. How does tomato quality (sugar, acid, and nutritional quality) vary with ripening stage, temperature, and irradiance? *J. Agric. Food Chem.* 56: 1241-1250.
- Giovanelli G, Lavelli V, Peri C and Nobili S. 1999. Variation in antioxidant components of tomato during vine and post-harvest ripening. *J. Sci. Food Agr.* 41:1583-1588.
- Gomez A, Wang J, Hu G, and Pereira AG. 2008. Monitoring storage shelf life of tomato using electronic nose technique. *J. Food Eng* 85: 625-631.
- Gonçalves E, Abreu M, Brando T, and Silva C. 2011. Degradation kinetics of colour, vi-

- tamin C and drip loss in frozen broccoli (*Brassica oleracea* L. ssp. *Italica*) during storage at isothermal and non-isothermal conditions. *Int. J. Refrig.* 34: 2136-2144.
- Grierson D and Kader AA. 1986. Fruit ripening and quality. In JG Atherton and J Rudich, *The tomato crop: a scientific basis for improvement*. Chapman and Hall, London.
- Huang H, Yu H, Xu H, and Ying Y. 2008. Near infrared spectroscopy for on/in-line monitoring of quality in food and beverages: a review. *J. Food Eng* 87:303-313.
- Ilahi R, Hdider C, Lenucci M, Tlili I, and Dalesandro G. 2011. Antioxidant activity and bioactive compound changes during fruit ripening of high-lycopene tomato cultivars. *J. Food Composition and Analysis* 24:588-595.
- Lewinsohn E, Sitrit Y, Bar E, Azulai Y, Ibdah M, Meir A, Yosef E, Zamir D, and Tadmor Y. 2005. Not just colors – carotenoid degradation as a link between pigmentation and aroma in tomato and watermelon fruit. *Trends in Food Sci. Tech.* 16:407-415.
- Martins R and Silva C. 2002. Modelling colour and chlorophyll losses of frozen green beans (*Phaseolus vulgaris*, L.). *Int. J. Refrig.* 25:966-974.
- Mikkelsen RL. 2005. Tomato flavor and plant nutrition: a brief review. *Better crops*: 14-15.
- Muoki P, Makokha A, Onyango C, and Ojijo N. 2006. Effect of temperature, maturity, and geographical location on the B-carotene and total carotenoid content of some mango (*Mangifera Indica*) cultivars grown in Kenya. *Proceedings of the 10th Kari Biennial Scientific Conference*. Agricultural Research Institute, Kenya.
- Oms-Oliu G, Hertog M, de Poel B, Ampofo-Asiama J, Geeraerd A, and Nicolai B. 2011. Metabolic characterization of tomato fruit during preharvest development, ripening, and postharvest shelf-life. *Postharv Biol. Technol* 62:7-16.
- Rodriguez-Amaya DB and Kimura M. 2004. *Harvestplus handbook for carotenoid analysis*. HarvestPlus, Washington DC.
- Sass-Kiss A, Kiss J, Milotay P, Kerek MM, and Toth-Markus M. 2005. Differences in anthocyanin and carotenoid content of fruits and vegetables. *Food Res. Int.* 38:1023-1029.
- Saxena A, Maity S, Raju P, and Bawa A. 2012. Degradation kinetics of colour and total carotenoids in jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) bulb slice during hot air drying. *Food Bioprocess Technol* 5:672-679.
- Serpen A, Gökmen V, Bahçeci K and Acar J. 2007. Reversible degradation kinetics of vitamin C in peas during frozen storage. *Eur. Food Res. Technol.* 224:749-753.
- Shao Y, He Y, Gomez AH, Pereir AG, Qiu Z and Zhang Y. 2007. Visible/near infrared spectrometric technique for nondestructive assessment of tomato "Heatwave" (*Lycopersicon esculentum*) quality characteristics. *J. Food Eng.* 81:672-678.
- Sharma S and Mague M. 1996. Kinetics of lycopene degradation in tomato pulp solids under different processing and storage conditions. *Food Res. Int.* 29:309-315.
- Tigist M, Workneh T, and Woldetsadik K. 2011. Effect of variety on the quality of tomato stored under ambient conditions. *J. Food Sci. Technol*:1-10. DOI 10.1007/s13197-011-0378-0.
- Tomes M, Quackenbush F, and Kargl T. 1958. Synthesis of  $\beta$ -carotene in the tomato fruit. *Botanical Gazette* 119:250-253.
- Toor R and Savage G. 2006. Changes in major antioxidant components of tomatoes during post-harvest storage. *Food Chem.* 99:724-727.
- USDA. 1976. *United States standards for grades of fresh tomatoes*. US Dept. Agr., Washington, DC.
- Xin Y, Chen F, Yang H, Zhang P, Deng Y, and Yang B. 2010. Morphology, profile and role of chelate-soluble pectin on tomato properties during ripening. *Food Chem.* 121:372-380.
- Yilmaz E. 2001. The chemistry of fresh tomato flavor. *Turk. J. Agric. For.* 25:149-155.
- Zhang H, Wang J, and Ye S. 2008. Predictions of acidity, soluble solids and firmness of pear using electronic nose technique. *J. Food Eng.* 86:370-378.
- Zheng C, Sun DW, and Zheng L. 2006. Recent developments and applications of image features for food quality evaluation and inspection - a review. *Trends in Food Sci. Tech.* 17:642-655.
- Žnidarčič D, Ban D, Oplanić M, Karić L, and Požrl T. 2010. Influence of postharvest temperatures on physicochemical quality of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *J. Food, Agric. Env.* 8:21-25.