

Model Kinetika Laju Degradasi Karotenoid Pada Proses Evaporasi Pembuatan Konsentrat Tomat

Thermal Degradation Kinetics of Carotenoids During Evaporation Process in Tomato
Concentrate Processing

Ajeng Dyah Kurniawati^{1*}

¹Food Technology Department, Institut Teknologi Telkom Purwokerto, Jl. D.I Panjaitan
No.128, Purwokerto Selatan, Banyumas 53147, Indonesia

*E-mail: ajeng.dyah@ittelkom-pwt.ac.id

Naskah diterima: 1 Juni 2023; Naskah disetujui: 27 Juni 2023

ABSTRACT

Tomato concentrate is one of the main products from tomato that widely used in industry due to long shelf life and cost efficient. Tomato concentrate is usually processed using evaporation process to decrease moisture content and to prolong its shelf life. However, the evaporating process of tomato juice also has the disadvantage because of degradation on the pigment compounds that affected to the quality of the product. This research is aimed to determine the kinetic parameters of carotenoids in tomato juices during the evaporating process, including the constant reaction rate, as a function of the process temperature. In this research, the influence of temperature on the degradation of carotenoids in tomato concentrate was studied at 50 – 70 °C. The evaporation process could decrease the carotenoids of tomato concentrate. Thermal degradation kinetics in the tomato concentrate processing followed first-order kinetic thermal degradation with the $R^2 > 0.90$. The temperature dependence of degradation was adequately modelled by Arrhenius equation. Activation Energy obtained from thermal degradation kinetics of carotenoids in tomato concentrate processing is 73,03 KJ.mol⁻¹.

Keywords: carotenoids, degradation, evaporation, kinetics, tomato concentrate

ABSTRAK

Konsentrat tomat adalah salah satu produk olahan tomat yang banyak digunakan di industri. Konsentrat tomat lebih banyak digunakan di industri karena memiliki umur simpan yang lebih lama sehingga lebih awet dibandingkan tomat segar serta mempermudah dalam proses distribusi dan penyimpanan. Evaporasi merupakan proses yang penting dalam pembuatan konsentrat tomat. Hal ini karena suhu yang digunakan pada proses evaporasi memungkinkan terjadinya kerusakan komponen pigmen karotenoid yang dapat mempengaruhi warna dan nilai gizi dari produk yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan parameter kinetik pada reaksi degradasi thermal karotenoid pada proses evaporasi pembuatan konsentrat tomat. Pada penelitian ini, pengaruh suhu evaporasi pada kadar karotenoid dilakukan pada suhu 50 – 70 °C. Proses evaporasi mengakibatkan penurunan konsentrasi karotenoid pada produk akhir yang dihasilkan. Kinetika degradasi thermal karotenoid pada proses pembuatan konsentrat tomat ini mengacu pada orde reaksi satu dengan nilai $R^2 > 0.90$. Model Arrhenius mampu menjelaskan perubahan yang terjadi pada karotenoid selama proses evaporasi. Energi aktivasi dari reaksi degradasi karotenoid yang diperoleh adalah 73,03 KJ.mol⁻¹.

Kata kunci: degradasi, evaporasi, karotenoid, kinetik, konsentrat tomat

PENDAHULUAN

Tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill.) termasuk salah satu komoditas hortikultura dengan produktivitas yang tinggi di Indonesia. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS), produksi tomat di Indonesia mencapai 1,11 juta ton pada 2021. Jumlah tersebut meningkat 2,72% dibandingkan pada tahun sebelumnya sebesar 1,08 juta ton. Tomat umumnya dimanfaatkan sebagai campuran dalam pembuatan bumbu masak, bahan baku saos dan bahan dalam pembuatan juice. Salah satu bentuk olahan tomat yang banyak dimanfaatkan di industri pangan adalah konsentrat tomat. Konsentrat tomat lebih banyak digunakan di industri karena memiliki umur simpan yang lebih lama sehingga lebih awet dibandingkan tomat segar serta mempermudah dalam proses distribusi dan penyimpanan (Munhoz *et al.*, 2019; Ochida, 2019; Camargo, 2017). Munhoz (2019) menyatakan bahwa salah satu keunggulan penggunaan konsentrat adalah kadar air bahan menurun sehingga produk lebih awet dan relatif lebih stabil terhadap kerusakan. Berdasarkan Codex Standard for Processed Tomato Concentrate (1987) dalam Hayes *et al.* (1998) menyatakan bahwa konsentrat tomat dibagi menjadi 2 jenis yaitu *puree* dan *paste*. Konsentrat tomat *puree* adalah konsentrat tomat yang mengandung tidak kurang dari 7% total padatan tetapi kurang dari 24%. Sedangkan konsentrat tomat jenis *paste* adalah konsentrat tomat dengan total padatan lebih dari 24%. Kualitas produk konsentrat tomat yang dihasilkan bergantung pada kondisi pengolahan (Xu *et al.*, 2018)

Evaporasi merupakan proses yang sangat penting dalam pembuatan konsentrat tomat. Proses evaporasi adalah proses penghilangan kandungan air pada bahan sehingga diperoleh produk dengan kandungan total padatan yang lebih tinggi. Suhu yang digunakan pada proses evaporasi ini memungkinkan terjadinya kerusakan komponen pigmen karotenoid yang dapat mempengaruhi warna dan nilai gizi dari produk yang dihasilkan. Pigmen karotenoid bersifat sensitif terhadap oksigen, panas, dan cahaya. Selama proses evaporasi dalam pembuatan konsentrat tomat akan terjadi perubahan pada senyawa karotenoid. Perubahan yang terjadi diantaranya adalah terjadi degradasi atau isomerisasi (Qiu *et al.*, 2019; Shi dan Maguer, 2000). Menurut Maguer *et al.* (2000) isomerisasi adalah berubahnya konfigurasi dari bentuk trans menjadi bentuk cis. Isomerisasi ini menyebabkan penurunan intensitas warna serta dapat menyebabkan perubahan pada aktivitas antioksidan.

Pada industri pengolahan konsentrat tomat biasanya dilakukan penambahan kembali kandungan karotenoid agar jumlahnya tetap sesuai dengan standar yang ditetapkan. Namun proses ini memiliki kekurangan yaitu akan meningkatkan biaya

produksi. Sehingga perlu dilakukan penelitian tentang model kinetika degradasi karotenoid selama proses evaporasi agar dapat diketahui perubahan kadar karoten yang terjadi pada proses evaporasi pembuatan konsentrat tomat yang bertujuan untuk memprediksi kerusakan karotenoid persatuan waktu. Dengan demikian maka dapat dilakukan pengembangan metode untuk meminimalisasi perubahan – perubahan kualitas yang tidak diinginkan pada produk.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah buah tomat segar jenis *plum* dengan kualitas baik yang ditandai dengan tidak ada luka fisik, bewarna merah cerah dengan diameter buah 15 ± 2 cm, berat buah 48 – 55 gram yang diperoleh dari Pasar Tradisional Blimbing Malang. Bahan yang digunakan untuk analisa meliputi Aquades “Hydrobath”, petroleum eter, ethanol 96%, Na_2SO_4 , Kalium iodida, Iodine, Amilum, NaOH, Indikator PP, Semua reagent yang digunakan dalam penelitian ini memiliki *grade p.a (pro – analysis)*.

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *juicer, rotary vacuum evaporator* merk IKA, *centrifuge, vortex, spektrofotometer Vis, Hand refractometer* merk Atago, pH meter merk Hana, *color reader* merk Minolta, *Hot plate stirer*, oven listrik, desikator, statif, buret, corong pisah, dan *glassware*.

Tahapan Penelitian

Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk mengetahui waktu yang digunakan dalam proses evaporasi konsentrat tomat agar produk yang sudah dievaporasi memiliki nilai total padatan terlarut 15 ± 1 °Brix.

Pembuatan Konsentrat Tomat

Proses pembuatan konsentrat tomat pada penelitian ini dilakukan berdasarkan metode yang digunakan oleh Maguer *et al.*, (2000). Pembuatan konsentrat tomat dimulai dengan proses sortasi buah. Pada proses sortasi dipilih buah tomat yang bewarna merah

cerah, tidak ada luka fisik, dan memiliki karakteristik berat dan diameter buah yang sesuai. Setelah dilakukan proses sortasi, buah tomat dicuci dengan air bersih dan dilakukan pembuangan bagian pangkal buah (trimming). Buah tomat yang sudah dicuci bersih kemudian dilakukan proses *water blanching* pada suhu 90°C selama 2,5 menit. Setelah dilakukan proses *blanching*, buah tomat dihancurkan dengan menggunakan *juicer* sehingga dihasilkan jus tomat yang siap untuk dilakukan evaporasi, Proses evaporasi dimulai dengan menimbang jus buah tomat segar sebanyak 100 gram kemudian diproses dengan menggunakan *rotary evaporator* pada suhu 50, 55, 60, 65, dan 70 °C dengan kecepatan rotor 40 rpm pada kondisi “Vacuum Control” 45 mBar. Setiap 5 menit dilakukan analisa berat, total karotenoid, dan pola spectra. Konsentrat tomat yang sudah selesai dievaporasi ditempatkan dalam botol gelap dan disimpan pada suhu 4 °C untuk kemudian dilakukan analisa lebih lanjut.

Perhitungan Laju Penguapan Air dan Laju Degradasi Karotenoid

Prediksi laju penguapan air dan laju degradasi karotenoid pada proses evaporasi pembuatan konsentrat tomat dilakukan berdasarkan metode yang digunakan oleh Goula *et al.*, (2006). Jus tomat ditimbang sebanyak 100 gram, kemudian dimasukkan kedalam labu erlenmeyer dan diberi label “A, B, C, D, dan E”. Jus tomat pada masing – masing labu erlenmeyer dievaporasi pada suhu 50°C dengan interval waktu 5 menit (Erlenmeyer A selama 5 menit, erlenmeyer B selama 10 menit, erlenmeyer C selama 15 menit, erlenmeyer D selama 20 menit). Langkah ini juga dilakukan untuk suhu evaporasi 55 60, 65, dan 70 °C. Setiap sampel hasil evaporasi dilakukan analisa total karotenoid, berat sampel dan pola spectra.

Penentuan Kadar Karotenoid

Penentuan kadar karotenoid dilakukan berdasarkan metode yang digunakan oleh Santoz *et al.*, (2017). Kadar karotenoid pada penelitian ini dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV – Vis. Sampel ditimbang sebanyak 0,5 gram kemudian ditambahkan petroleum eter:aseton (1:1) sebanyak 10 ml lalu dicentrifuge dengan kecepatan 3000 rpm selama 5 menit sehingga terpisah menjadi 2 lapisan yaitu endapan dan lapisan kuning jernih. Endapan ditambahkan petroleum eter:aseton (1:1) sebanyak 10 ml lalu dicentrifuge lagi dengan kecepatan 3000 rpm selama 5 menit. Proses ini dilakukan sebanyak 3 kali hingga endapan berubah warna menjadi putih, Lapisan kuning jernih yang dihasilkan ditempatkan pada corong pisah dan dipisahkan fase larut air dan tidak larut air nya. Fase tidak larut air yang berwarna kuning ditampung dalam tabung reaksi dan ditambahkan

Na₂SO₄. Larutan ini kemudian diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 450 nm dengan petroleum eter sebagai blanko. Kadar karotenoid dihitung berdasarkan rumus pada persamaan (1)

$$Karotenoid = \frac{A \times V \times 10^6}{E_{100}^{1\%} \times 100 \times berat\ sampel(gr)} \quad (1)$$

Dimana kadar karotenoid dinyatakan dalam µg/gram, A adalah absorbansi sampel yang diperoleh, V adalah volume dalam ml, ($E_{1cm}^{1\%}$) are koefisien kadar karotenoid yang memiliki nilai 2500.

Perhitungan Parameter Laju Penguapan Air dan Laju Degradasi Karotenoid

Perhitungan parameter laju penguapan air dan laju degradasi karotenoid ini dilakukan berdasarkan metode yang digunakan oleh Mayer *et al.* (2017). Laju penguapan air biasanya mengacu pada orde nol sedangkan laju degradasi karotenoid biasanya mengacu pada orde satu. Perhitungan model prediksi laju penguapan air dan laju degradasi karotenoid dapat dilihat pada persamaan (2)

$$C_t = C_0 e^{-kt} \quad (2)$$

dimana C_0 dan C_t adalah konsentrasi karotenoid pada waktu ke - 0 dan waktu ke - t, k adalah rate of constant degradation (min^{-1}) atau *slope*, dan t adalah waktu evaporasi (menit).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Toledo (1999), nilai D atau dikenal dengan *decimal reduction time* (menit), dan nilai z atau dikenal dengan *thermal resistance coefficient* ($^{\circ}\text{C}$) dapat dihitung dengan persamaan (3-4).

$$D = \frac{\ln 10}{k} = \frac{2.303}{k} \quad (3)$$

Nilai D juga dapat ditentukan dengan membuat kurva regresi antara waktu evaporasi sebagai sumbu x dan log kadar karotenoid atau berat sampel sebagai sumbu y. Nilai D dapat dihitung dengan $|1/\text{slope}|$ pada tiap temperatur

$$Z = \frac{T_2 - T_1}{\log \frac{D_1}{D_2}} \quad (4)$$

dimana T adalah suhu evaporasi. Nilai Z juga bisa ditentukan dengan membuat kurva regresi antara suhu pemanasan sebagai sumbu x dan log nilai D pada masing – masing suhu sebagai sumbu y. Nilai z dapat dihitung dengan $|1/\text{slope}|$.

Analisa Data

Perhitungan model kinetika dilakukan dengan cara membandingkan nilai koefisien determinasi (R^2) tiap persamaan regresi linier pada suhu yang sama dari reaksi orde nol dan orde satu. Nilai koefisien determinasi ini diperoleh dari memplotkan nilai persen jumlah karotenoid atau berat sampel terhadap waktu untuk orde reaksi nol dan ln nilai persen jumlah karotenoid atau berat sampel terhadap waktu untuk orde reaksi satu. Orde reaksi yang dipilih adalah yang memiliki nilai R^2 paling mendekati satu. Nilai koefisien laju reaksi (k) adalah nilai “a” pada persamaan dengan nilai R^2 yang paling mendekati satu. Nilai energi aktivasi dihitung dengan menggunakan persamaan Arrhenius.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisa Bahan Baku

Karakteristik fisikokimia dari jus tomat yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan konsentrat tomat dapat dilihat pada **Tabel 1**. Pada parameter pH, total padatan terlarut, total asam tertitrasi, dan vitamin C menunjukkan nilai yang lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Santos *et al.* (2019), sedangkan pada parameter pH memiliki nilai yang lebih tinggi. Hal ini dapat terjadi karena perbedaan jenis dan varietas tomat yang digunakan. Kadar karotenoid, vitamin C, dan total asam sangat dipengaruhi oleh genotip dan kondisi lingkungan tempat tumbuh (Tiwari *et al.*, 2013). Sedangkan, pH memiliki nilai yang lebih tinggi karena tomat yang digunakan dalam penelitian ini memiliki nilai total asam yang lebih rendah. Nilai pH akan semakin kecil seiring dengan peningkatan konsentrasi total asam pada sampel.

Tabel 1. Karakteristik Fisikokimia Jus Tomat

Property	Nilai dari Penelitian	Nilai dari Literatur
Kadar Air (%wb)	95.43±0.22	96.73±0.05
Total Padatan Terlarut (⁰ Brix)	4.4±0.21	4.73±0.05
Total Asam Tertitrasi (gram Asam Sitrat/100 gram)	0.492±0.063	0.90±0.01
Kadar Karotenoid (µg/g)	49.84±2.9	11.74±0.10
pH	4.21±0.022	3.59±0.02
Vitamin C (mg/100g)	31.44 ±1.10	39.48±1.06

Nilai pada masing – masing parameter diperoleh dari penelitian Santos *et al.* (2019)

2. Model Laju Degradasi Karotenoid Pada Proses Evaporasi

Pada proses evaporasi dalam pembuatan konsentrat tomat suhu yang digunakan diduga dapat menurunkan kadar total karotenoid pada produk akhir. Salah satu metode yang dapat dilakukan untuk mencari suhu dan waktu evaporasi yang tepat adalah dengan memprediksi kerusakan karotenoid yang terjadi selama proses evaporasi per satuan waktu tertentu dengan menggunakan metode kinetika reaksi.

Untuk menentukan model laju degradasi karotenoid pada proses evaporasi pembuatan konsentrat tomat dibuatlah kurva regresi linier dimana sumbu x adalah waktu evaporasi dan sumbu y adalah persen degradasi karotenoid pada sampel untuk orde nol dan sumbu x adalah waktu evaporasi serta sumbu y adalah ln persen dehradasi karotenoid pada sampel untuk orde satu. Orde reaksi yang dipilih adalah orde reaksi dengan nilai R^2 yang paling mendekati satu pada masing – masing suhu. Tabel perbandingan nilai R^2 pada masing – masing suhu dapat dilihat pada **Tabel 2**.

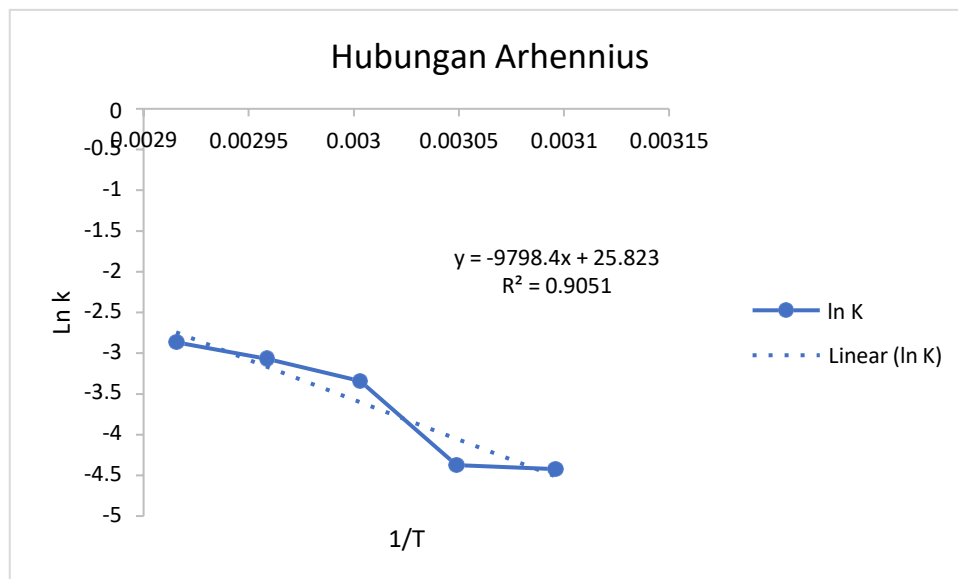
Tabel 2. Perbandingan Nilai R^2 pada Masing – masing Suhu Evaporasi

Suhu Evaporasi	Orde Nol	Orde Satu
50°C	Y = -1,0683 x + 99,663 $R^2 = 0,9888$	Y = -0,012 x + 4,6041 $R^2 = 0,9894$
55°C	Y = -1,1043 x + 98,68 $R^2 = 0,9679$	Y = -0,0126 x + 4,595 $R^2 = 0,9731$
60°C	Y = -2,578 x + 98,70 $R^2 = 0,9577$	Y = -0,0354 x + 4,6102 $R^2 = 0,9724$
65°C	Y = -3,0859 x + 97,693 $R^2 = 0,9335$	Y = -0,0464 x + 4,6098 $R^2 = 0,96$
70°C	Y = -3,4397 x + 90,589 $R^2 = 0,9133$	Y = -0,0569 x + 4,5805 $R^2 = 0,9833$

Tabel 2 menunjukkan **perbandingan** nilai R^2 dari orde reaksi nol dan satu pada masing – masing suhu. Berdasarkan data diatas diketahui bahwa nilai R^2 pada orde reaksi satu lebih besar dibandingkan orde reaksi nol pada masing – masing suhu evaporasi. Pada seluruh perlakuan suhu memiliki nilai koefisien korelasi $R^2 > 0.90$, membuktikan bahwa orde reaksi satu dapat menjelaskan atau memprediksi perubahan yang terjadi pada karotenoid yang terdapat pada konsentrat tomat setelah proses evaporasi dilakukan. Goula *et al.* (2006) menyatakan bahwa apabila model laju kinetika suatu komponen mengacu pada orde satu maka besarnya laju degradasi termal komponen tersebut selama proses dilakukan akan meningkat sebanding dengan peningkatan konsentrasi awal reaktan. Pada **Tabel 2**. Juga dapat dilihat hubungan suhu dengan nilai k yang berbanding lurus. Semakin tinggi suhu evaporasi maka nilai tetapan laju reaksi juga akan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan semakin tinggi suhu evaporasi maka reaksi degradasi karotenoid juga akan

semakin meningkat. Beberapa penelitian terdahulu juga mengungkapkan bahwa laju dehidrasi termal beberapa jenis komponen karotenoid juga mengikuti orde satu (Song *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2019; Ouyang *et al.*, 2022).

Proses evaporasi adalah salah satu proses thermal yang dilakukan pada suhu tinggi sehingga dapat memicu terjadinya oksidasi (Song *et al.*, 2020). Menurut Gheonea *et al.* (2020) dan Sharma *et al.* (2008) karotenoid adalah salah satu pigmen yang tidak stabil dan mudah terdegradasi selama proses pengolahan dan penyimpanan yang disebabkan. Hal ini didukung dari struktur karotenoid yang mengandung banyak ikatan rangkap terkonjugasi sehingga rentan mengalami autooksidasi (Lavelli *et al.*, 2022). Degradasi pada karotenoid umumnya terjadi melalui mekanisme isomerisasi, oksidasi dan fragmentasi pada strukturnya. Isomerisasi pada karotenoid adalah terjadinya perubahan struktur karotenoid dari bentuk *trans* menjadi *cis*. Adanya degradasi pada karoten juga dapat mengakibatkan hilangnya kemampuan karoten sebagai antioksidan dan menjadi penyebab berubahnya warna pada produk akhir yang dihasilkan. Adapun faktor – faktor yang dapat mempercepat terjadinya degradasi pada karotenoid diantaranya, adalah panas, adanya cahaya, logam, dan enzim tertentu.



Gambar 1. Grafik Hubungan Arrhenius Degradasi Karotenoid Selama Proses Evaporasi

Gambar 1. menunjukkan hubungan arrhenius pada reaksi degradasi karotenoid selama proses evaporasi pembuatan konsentrat tomat. Sumbu x pada grafik tersebut merupakan 1/T dimana T adalah suhu dalam kelvin dan sumbu y adalah nilai Ln dari tetapan laju reaksi pada masing – masing suhu evaporasi. Tanda minus menyatakan bahwa

dalam reaksi tersebut terjadi reaksi degradasi komponen. Dari persamaan yang diperoleh pada **Gambar 1** dapat dicari energi aktivasi (E_a) dengan cara sebagai berikut :

$$\ln k = -\frac{E_a}{RT} + \ln k_0$$

$$y = mx + b$$

$$y = -9798.4 x + 25.823 \text{ maka}$$

$$-\frac{E_a}{R} = 9798.4$$

$$E_a = 9798.4 \times 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$$

$$E_a = 81463.9 \text{ J.mol}^{-1} \text{ atau } 81.463 \text{ KJ.mol}^{-1}.$$

Sehingga dapat diketahui bahwa energi aktivasi dari reaksi degradasi karotenoid adalah $73,03 \text{ KJ.mol}^{-1}$. Dengan persamaan yang sama pula, dapat ditentukan pula formulasi model untuk laju reaksi degradasi karotenoid yaitu sebagai berikut :

$$y = mx + b$$

$$\ln k = -\frac{E_a}{RT} + \ln k_0$$

$$\ln k = -\frac{9798.4}{T} + 25.823$$

Tabel 2. Parameter Kinetik Degradasi Karotenoid pada Proses Evaporasi Pembuatan Konsentrat Tomat pada Suhu 50 – 70 °C

Komponen	T (°C)	k (menit ⁻¹)	D value (menit)	Z value (°C)	Ea (kJ/mol)
Total Karotenoid	50	0.0120	192.31	25.32	81.46
	55	0.0126	181.82		
	60	0.0354	64.94		
	65	0.0464	49.50		
	70	0.0569	37.88		

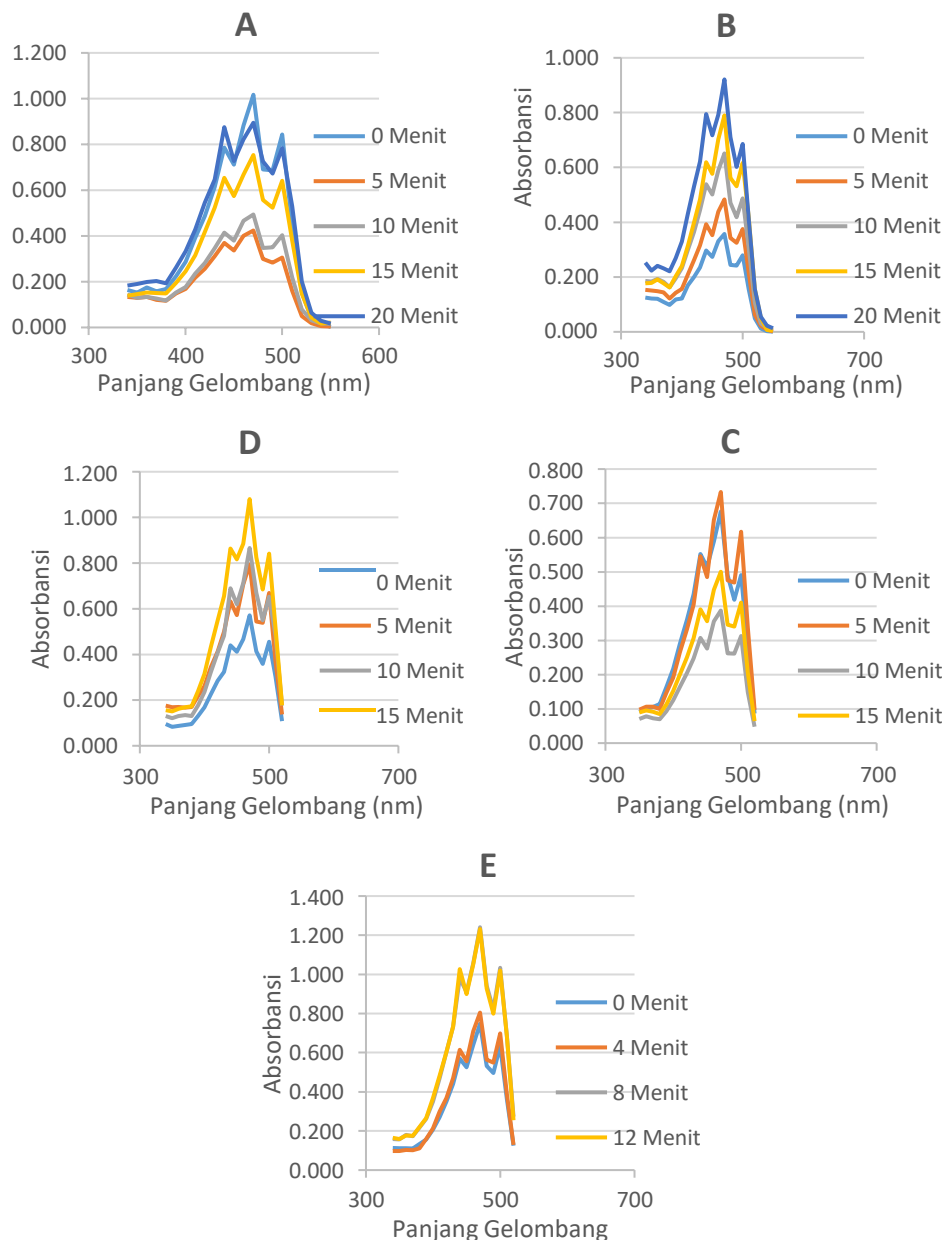
Tabel 2 menunjukkan nilai k (menit⁻¹), D value (menit), and Z value (°C) pada degradasi karotenoid selama proses evaporasi pembuatan konsentrat tomat. Nilai D dan z menjelaskan sensitivitas thermal pada komponen karotenoid selama proses evaporasi. D value atau sering disebut *decimal reduction time*, menyatakan ketahanan komponen terhadap suhu tertentu. D value juga dapat dinyatakan dengan jumlah menit yang dibutuhkan untuk mendegradasi 90% komponen pada suhu tertentu. Sedangkan, nilai z adalah temperature yang dibutuhkan untuk mencapai nilai D.

Parameter kinetik dari reaksi degradasi komponen karotenoid ini dapat berguna untuk mengetahui, memprediksi dan mengontrol kerusakan yang terjadi pada pigmen karotenoid selama proses evaporasi pembuatan konsentrat tomat sehingga diharapkan

dapat mencegah terjadinya penurunan mutu produk yang dihasilkan terutama pada parameter warna dan efek fungsionalnya.

3. Analisa Pola Spektra

Pada prinsipnya analisis pola spektra ini adalah adanya 3 puncak panjang gelombang tertentu pada masing – masing jenis karotenoid yang memiliki absorbansi tertinggi (Rodriguez, 2004). Tiga puncak gelombang tertentu dengan nilai absorbansi tertinggi ini berbeda – beda untuk masing – masing karotenoid.



Gambar 2 Pola Spektra (A) Suhu 50°C (B) Suhu 55°C (C) Suhu 60°C (D) Suhu 65°C (E) Suhu 70°C

Pada gambar pola spektra (**Gambar 2**) tersebut dapat dilihat bahwa pada semua perlakuan menunjukkan puncak gelombang maksimum yang sama yaitu pada panjang gelombang 470 nm. Pergeseran puncak panjang maksimum mengindikasikan adanya perubahan struktur pada komponen karotenoid spesifik. Perubahan struktur yang terjadi dapat berupa isomerisasi dan fragmentasi (Jing *et al.*, 2020). Rodriguez (2004) menyatakan bahwa jenis karotenoid yang memiliki puncak panjang gelombang maksimum pada 470 nm adalah jenis likopen. Pada konsentrat tomat yang dievaporasi pada suhu 50 dan 55 °C menunjukkan bahwa belum terjadi pergeseran panjang gelombang maksimum yang mengindikasikan bahwa selama proses evaporasi belum terjadi pembentukan senyawa baru maupun terjadi oksidasi dan isomerisasi yang dapat menyebabkan pergeseran panjang gelombang. Pada konsentrat tomat yang dievaporasi pada suhu 60, 65, 70 °C sudah mengalami pergeseran panjang gelombang dibandingkan jus tomat segar. Hal ini mengindikasikan selama proses evaporasi telah terjadi pembentukan senyawa baru maupun terjadi fragmentasi dan isomerisasi yang dapat menyebabkan pergeseran panjang gelombang.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini dilakukan prediksi laju degradasi thermal karotenoid pada proses evaporasi pembuatan konsentrat tomat pada suhu 50–70 °C. Laju degradasi thermal karotenoid mengikuti orde reaksi satu dengan nilai $R^2 > 0.90$ dan model Arrhenius mampu menjelaskan perubahan yang terjadi pada karotenoid selama proses evaporasi. Energi aktivasi dari reaksi degradasi karotenoid yang diperoleh adalah 73,03 KJ.mol⁻¹. Formulasi model untuk laju reaksi degradasi karotenoid yaitu $\ln k = -\frac{9798.4}{T} + 25.823$. Nilai D, z, Ea dan k yang diperoleh dapat digunakan untuk memprediksi terjadinya kerusakan pada proses thermal yang akan dilakukan sehingga dapat dilakukan proses optimasi sehingga dapat menurunkan kerusakan pigmen karotenoid akibat proses evaporasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Camargo, W. P., & Camargo, F. P. (2017). A quick review of the production and commercialization of the main vegetables in Brazil and the world from 1970 to 2015. *Horticultura Brasileira*, 35, 160-166.
- Dhakal, S., Balasubramaniam, V. M., Ayvaz, H., & Rodriguez-Saona, L. E. (2018). Kinetic modeling of ascorbic acid degradation of pineapple juice subjected to combined pressure-thermal treatment. *Journal of food engineering*, 224, 62-70.

- Dhuique-Mayer, C., Tbatou, M., Carail, M., Caris-Veyrat, C., Dornier, M., & Amiot, M. J. (2007). Thermal degradation of antioxidant micronutrients in citrus juice: kinetics and newly formed compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(10), 4209-4216.
- Gheonea, I., Aprodu, I., Enachi, E., Horincar, G., Bolea, C. A., Bahrim, G. E., Stănciuc, N. (2020). Investigations on thermostability of carotenoids from tomato peels in oils using a kinetic approach. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(1), e14303.
- Goula, A. M., Adamopoulos, K. G., Chatzitakis, P. C., & Nikas, V. A. (2006). Prediction of lycopene degradation during a drying process of tomato pulp. *Journal of Food Engineering*, 74(1), 37-46.
- Hayes, W. A., Smith, P. G., & Morris, A. E. J. (1998). The production and quality of tomato concentrates. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38(7), 537-564.
- Jing, S., Lasheng, Z., Wang, S., & Shi, H. (2020). Effect of ultra-high pressure technology on isomerization and antioxidant activity of lycopene in solanum lycopersicum. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 16(2), 270-279.
- Jirasatid, S., Chaikham, P., & Nopharatana, M. (2018). Thermal degradation kinetics of total carotenoids and antioxidant activity in banana-pumpkin puree using Arrhenius, Eyring-Polanyi and Ball models. *International Food Research Journal*, 25(5).
- Lavelli, V., & Sereikaitė, J. (2022). Kinetic study of encapsulated β -carotene degradation in dried systems: A review. *Foods*, 11(3), 437.
- Liu, X., Liu, J., Bi, J., Cao, F., Ding, Y., & Peng, J. (2019). Effects of high pressure homogenization on physical stability and carotenoid degradation kinetics of carrot beverage during storage. *Journal of food engineering*, 263, 63-69.
- Margean, A., Lupu, M. I., Alexa, E., Padureanu, V., Canja, C. M., Cocan, I., Poiana, M. A. (2020). An overview of effects induced by pasteurization and high-power ultrasound treatment on the quality of red grape juice. *Molecules*, 25(7), 1669.
- Martí, R., Roselló, S., & Cebolla-Cornejo, J. (2016). Tomato as a source of carotenoids and polyphenols
- Munhoz, K. A. S. (2019). The tomato paste quality attributes along the industrial processing chain. *African Journal of Food Science*, 13(10), 215-224.
- Ochida, C. O., Itodo, A. U., & Nwanganga, P. A. (2018). A review on postharvest storage, processing and preservation of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Asian Food Science Journal*, 6(2), 1-10.
- Ordóñez-Santos, L. E., & Martínez-Girón, J. (2020). Thermal degradation kinetics of carotenoids, vitamin C and provitamin A in tree tomato juice. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(1), 201-210.
- Qiu, J., Vuist, J. E., Boom, R. M., & Schutyser, M. A. (2018). Formation and degradation kinetics of organic acids during heating and drying of concentrated tomato juice. *LWT*, 87, 112-121.

- Salehi, B., Sharifi-Rad, R., Sharopov, F., Namiesnik, J., Roointan, A., Kamle, M., Sharifi-Rad, J. (2019). Beneficial effects and potential risks of tomato consumption for human health: An overview. *Nutrition*, 62, 201-208.
- Sharma, R., Kaur, D., Oberoi, D. P. S., & Sogi, D. S. (2008). Thermal degradation kinetics of pigments and visual color in watermelon juice. *International Journal of Food Properties*, 11(2), 439-449.
- Shi, J., & Maguer, M. L. (2000). Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing. *Critical reviews in food science and nutrition*, 40(1), 1-42.
- Song, X. D., Mujumdar, A. S., Law, C. L., Fang, X. M., Peng, W. J., Deng, L. Z., ... & Xiao, H. W. (2020). Effect of drying air temperature on drying kinetics, color, carotenoid content, antioxidant capacity and oxidation of fat for lotus pollen. *Drying Technology*, 38(9), 1151-1164.
- Suzery, M., Nudin, B., Bima, D. N., & Cahyono, B. (2020). Effects of Temperature and Heating Time on Degradation and Antioxidant Activity of Anthocyanin from Roselle Petals (*Hibiscus sabdariffa* L.). *International Journal of Science, Technology & Management*, 1(4), 288-238.
- Tiwari, G., Slaughter, D. C., & Cantwell, M. (2013). Nondestructive maturity determination in green tomatoes using a handheld visible and near infrared instrument. *Postharvest Biology and Technology*, 86, 221-229.
- Verbeyst, L., Bogaerts, R., Van der Plancken, I., Hendrickx, M., & Van Loey, A. (2013). Modelling of vitamin C degradation during thermal and high-pressure treatments of red fruit. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 1015-1023.
- Zepka, L. Q., & Mercadante, A. Z. (2009). Degradation compounds of carotenoids formed during heating of a simulated cashew apple juice. *Food Chemistry*, 117(1), 28-34.