



KINETIC STUDY OF DETERMINATION THE REACTION RATE OF VITAMIN C IN BROKOLI (*Brassica oleracea L*) USING TITRIMETRIC TITRATION METHOD

KAJIAN KINETIKA PENENTUAN LAJU REAKSI PENETAPAN KADAR VITAMIN C PADA BROKOLI (*Brassica oleracea L*) DENGAN METODE TITRASI TITRIMETRI

Ika Julianti Tambunan^{1*}, Sulasmi², Siti Muliani Julianty¹

¹Program Studi Farmasi, Fakultas Farmasi, Universitas Tjut Nyak Dhien, Medan, Indonesia.

²Program Studi Farmasi, Fakultas Farmasi, Institut Kesehatan Deli Husada, Sumatera Utara, Indonesia.

*Author e-mail : ikajulianti2015@gmail.com

ABSTRACT

Background: The damage to broccoli is caused by several factors, namely mechanical and biological. The value of freshness in broccoli can be seen from the rate of respiration, which will affect on weight loss, texture, moisture content, color changes, vitamin C content or increased physiological and microbiological activity. Methods of studying the kinetics of vitamin C oxidation reaction can be carried out through literature values, distribution turnover, distribution abuse tests, consumer complaints, and accelerated shelf-life testing. The objective of the research was to determine the effect of vitamin C levels on the reaction rate equation in terms of expired date. Objective: To determine the effect of vitamin C levels on the reaction rate equation in terms of the expiry date. Methods: This study uses a cross-sectional method, namely making observations by collecting data that has been going on and reviewing the results of research that has been going on. Results: showed that broccoli at room temperature storage had the highest vitamin C content, namely 7,216 mg, at 10C ± 2°C broccoli contained vitamin C levels of 5.045 mg, at 5C° ± 2°C broccoli contained vitamin C levels of 4.283 mg and at temperature 0C° ± 2°C broccoli contains vitamin C levels of 4.713 mg. Conclusion: The conclusion of this study is that there is a relationship between vitamin C levels and the reaction rate equation in terms of expired date, from the results of the study it was found that there were changes in the reaction rate in the zero order, first order and second order based on storage temperature, the order that most affected the reaction rate equation was in zero order because the value of zero order r² is close to 1.

Keywords: *Kinetics study; Vitamin C levels; Reaction rate; Broccoli*

ABSTRAK

Latar belakang: Kerusakan brokoli disebabkan oleh beberapa factor yaitu mekanis dan biologis. Nilai kesegaran pada brokoli bisa diketahui dari laju respirasi, yang akan mempengaruhi susut berat, tekstur, kadar air, perubahan warna, kandungan vitamin C atau aktifitas fisiologis maupun mikrobiologis semakin meningkat. Metode studi kinetika reaksi oksidasi vitamin C dapat dilakukan melalui *literature value*, *distribution turn over*, *distribution abuse test*, *consumer complaints*, dan *accelerated shelf-life testing*. Tujuan: Mengetahui pengaruh kadar vitamin C terhadap persamaan laju reaksi ditinjau dari *expired date*. Metode: Penelitian ini menggunakan metode *cross sectional* yaitu melakukan pengamatan dengan pengambilan data yang sudah berlangsung dan melakukan telaah hasil dari penelitian yang telah berlangsung.

Hasil: Penelitian menunjukkan brokoli pada penyimpanan dengan suhu ruangan memiliki kadar vitamin C yang paling tinggi yaitu 7,216 mg, pada suhu $10^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ brokoli mengandung kadar vitamin C sebesar 5,045 mg, pada suhu $5^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ brokoli mengandung kadar vitamin C sebesar 4,283 mg dan pada suhu $0^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ brokoli mengandung kadar vitamin C sebesar 4,713 mg. Kesimpulan: Kesimpulan penelitian ini adalah terdapat hubungan kadar vitamin C terhadap persamaan laju reaksi ditinjau dari *expired date*, dari hasil penelitian diperoleh bahwa terdapat perubahan laju reaksi pada orde nol, orde satu dan orde dua berdasarkan suhu penyimpanan, orde yang paling mempengaruhi persamaan laju reaksi berada pada orde nol karena nilai r^2 orde nol mendekati 1.

Kata kunci: Kajian Kinetik, Kadar vitamin C, Laju reaksi, Brokoli

PENDAHULUAN

Brokoli (*Brassica oleracea* L) merupakan salah satu famili dari *Brassicaceae* yang mengandung fitokimia yang baik seperti glukosinolat, senyawa fenolik, serat dan senyawa antioksidan seperti vitamin C dan E serta mineral (Ca, Mg, Se, dan K). Dibandingkan dengan sayuran yang lain (wortel, kubis dan bayam) kandungan vitamin C dan serat pada brokoli lebih tinggi yaitu sebesar 89,2 mg dan 2,6 mg (Sari & Ayustaningwarno, 2014).

Kerusakan brokoli disebabkan oleh beberapa factor yaitu mekanis dan biologis. Nilai kesegaran pada brokoli bisa diketahui dari laju respirasi, yang akan mempengaruhi susut berat, tekstur, kadar air, perubahan warna, kandungan vitamin C atau aktifitas fisiologis maupun mikrobiologis semakin meningkat (Nur et al., 2016).

Secara biokimiawi vitamin C atau asam askorbat merupakan koenzim. Vitamin C berperan membantu enzim dalam melakukan fungsinya dan juga berperan sebagai antioksidan. Vitamin ini juga dapat meningkatkan ketahanan tubuh terhadap infeksi. Vitamin C merupakan vitamin yang mudah rusak oleh oksidasi (Abidin, 2011).

Sifat vitamin C adalah mudah berubah akibat oksidasi namun stabil jika merupakan kristal (murni). Penyimpanan pada suhu rendah dapat mengurangi kegiatan respirasi dan metabolisme, memperlambat proses penuaan, mencegah kehilangan air dan mencegah kelayuan. Namun walaupun dalam keadaan temperatur rendah dan kelembaban terpelihara, 50% vitamin C akan hilang dalam 3-5 bulan. Konstanta laju reaksi perubahan vitamin C akan semakin besar dengan kenaikan suhu. Vitamin C juga mudah teroksidasi jika terkena udara dan dipercepat oleh panas, sinar, alkali, enzim oksidator, katalis tembaga (Cu) dan besi (Fe) (Abdullah, 2016).

Beberapa metode analisis kadar vitamin C dalam buah-buahan telah digunakan oleh para peneliti. Metode tersebut antara lain titrimetri (Asmara, 2016), fluorometri, kompleksometri, kromatografi cair, kromatografi cair kinerja tinggi (KCKT), spektrofotometri (E.F et al., 2017), amperometri (Grudić et al., 2015), dan enzimatik (Okiei et al., 2009).

Metode studi kinetika reaksi oksidasi vitamin C dapat dilakukan melalui: 1) *nilai pustaka (literature value)*, 2) *distribution turn over*, 3) *distribution abuse test*, 4) *consumer complaints*, dan 5) *accelerated shelf-life testing (ASLT)*. Metode yang paling sederhana, cepat pengerjaannya, lebih murah, dan dapat memperkirakan pengaruh variabel eksperimen terhadap (Sapei & Hwa, 2014). Metode ini menggunakan model kinetika melalui penentuan orde reaksi dan konstanta laju reaksi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan deskriptif analitik dengan menggunakan metode *cross sectional* yaitu melakukan pengamatan dengan pengambilan data yang sudah berlangsung dan melakukan telaah hasil dari penelitian yang telah berlangsung.

1. Penentuan orde reaksi

Penentuan orde reaksi ditentukan melalui kurva yang disajikan pada kurva yang menyatakan orde reaksi nol menunjukkan hubungan yang linear antara kadar vitamin C dengan waktu penyimpanan. Kurva untuk orde reaksi 1 menunjukkan hubungan yang linear antara \ln kadar vitamin C terhadap waktu penyimpanan. Kurva untuk orde reaksi 2 menunjukkan hubungan yang linear antara $1/\text{kadar vitamin C}$ terhadap waktu penyimpanan. Orde reaksi ditentukan berdasarkan nilai koefisien korelasi (r^2) yang paling mendekati 1 (Sapei & Hwa, 2014).

Semua permodelan orde reaksi dalam penelitian ini menggunakan MS Excel 2010.

2. Penentuan waktu paruh ($t_{1/2}$)

Persamaan (1), (2), dan (3) secara berturut-turut menyatakan model kinetika reaksi untuk orde reaksi nol, satu, dan dua.

$$C = C_0 - k_0.t \quad (1)$$

$$C = C_0.exp(-k_1.t) \quad (2)$$

$$C = (k_2.t + 1/C_0)^{-1} \quad (3)$$

dimana C_0 adalah kadar awal vitamin C buah (mg/50g); C adalah kadar vitamin C buah brokoli setelah disimpan selama t ; t adalah lamanya penyimpanan (hari) dan k_0 , k_1 , dan k_2 berturut-turut adalah konstanta laju reaksi untuk orde nol, satu, dan dua.

Waktu paruh ($t_{1/2}$) waktu yang dibutuhkan oleh reaksi oksidasi agar kadar asam askorbat berkurang sebanyak 50% dari kadar awalnya ($C = 0,5C_0$) (Sinhaipanit et al., 2015). Penentuan waktu paruh reaksi oksidasi vitamin C buah yang disimpan pada suhu 27°C dilakukan dengan pemilihan salah satu dari persamaan berikut:

$$t_{1/2} = (C_0/2k_0) \quad (4)$$

$$t_{1/2} = (0,693/k_1) \quad (5)$$

$$t_{1/2} = (1/C.k_2) \quad (6)$$

Persamaan (4), (5), dan (6) secara berturut-turut adalah persamaan untuk menentukan waktu paruh dari reaksi orde nol, satu, dan dua. Persamaan yang dipakai ditentukan berdasarkan jenis orde reaksi dalam penelitian ini yang diperoleh dari kurva orde reaksi yang memiliki harga r^2 paling besar (Sapei & Hwa, 2014).

Teknik Pengolahan Data

Pengolahan data adalah proses yang sangat penting dalam penelitian. Oleh karena itu, harus dilakukan dengan baik dan benar, pengolahan data dilakukan berdasarkan berapa banyak intervensi resep. Pengolahan data dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

1. Editing

Sebelum diolah, data perlu diedit terlebih dahulu. Data atau keterangan yang telah dikumpulkan dalam bentuk *record book*, kelengkapan data hasil pengkajian perlu dibaca lagi dan diperbaiki apabila masih ada kesalahan dan keraguan data.

2. Coding

Data yang telah dikumpulkan yang telah di buat dalam bentuk *record book* untuk memudahkan menganalisa, maka kelengkapan data tersebut perlu diberikan kode. Mengkode kelengkapan data penelitian adalah menaruh angka dan huruf pada setiap point kelengkapan.

3. Processing

Setelah semua kelengkapan sudah benar, dan juga sudah melewati proses *coding*, maka langkah selanjutnya adalah memproses data agar dapat dianalisis. Pemrosesan data dilakukan dengan cara memasukkan data yang diperoleh dari penelitian ke dalam tabel.

4. Cleaning

Tahap terakhir adalah pengecekan kembali data yang telah dimasukkan ke dalam tabel dan membandingkan dengan literature yang sudah ada untuk memastikan data tersebut memenuhi kriteria kelengkapan data kadar vitamin C.

Analisis Data

Analisis data untuk mengetahui pengaruh lama penyimpanan terhadap kadar vitamin C mengikuti laju reaksi dilakukan dengan menghitung persentase dari masing-masing kriteria pada variabel uji.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran Kadar Vitamin C

Tabel 1 Kadar Vitamin C pada brokoli dengan Berbagai Suhu Penyimpanan.

| Perlakuan | Hari ke- | Kadar Vitamin C | Rata-rata Kadar Vitamin C (mg) |
|-----------|----------|-----------------|--------------------------------|
| B0 | 5 | 7,304 mg | 7,216 |
| B0 | 20 | 7,128 mg | |
| B0 | 42 | 7,216 mg | |
| B1 | 5 | 4,400 mg | 5,045 |
| B1 | 20 | 5,456 mg | |
| B1 | 42 | 5,280 mg | |
| B2 | 5 | 3,960 mg | 4,283 |
| B2 | 20 | 4,488 mg | |
| B2 | 42 | 4,400 mg | |
| B3 | 5 | 4,928 mg | 4,713 |
| B3 | 20 | 4,605 mg | |
| B3 | 42 | 4,605 mg | |

Keterangan:

B0 : Suhu Ruangan

B1 : Suhu $10^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$

B2 : Suhu $5^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$

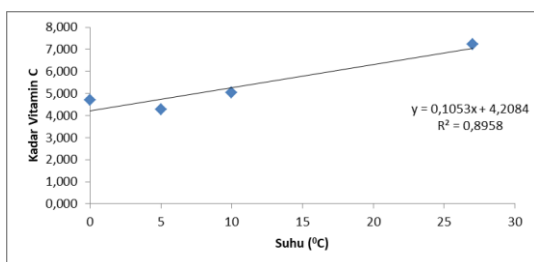
B3 : Suhu $0^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan brokoli pada penyimpanan dengan suhu ruangan memiliki kadar vitamin C yang paling tinggi yaitu 7,216 mg, pada suhu $10^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ brokoli mengandung kadar vitamin C sebesar 5,045 mg, pada suhu $5^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ brokoli mengandung kadar vitamin C sebesar 4,283 mg dan pada suhu $0^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ brokoli mengandung kadar vitamin C sebesar 4,713 mg.

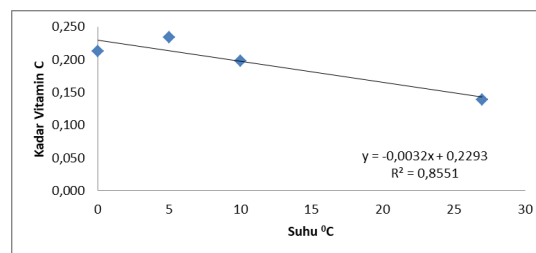
Hal ini dikarenakan suhu yang tepat dapat menghambat respirasi buah brokoli sehingga kandungan vitamin C dapat dipertahankan, atau bisa dikatakan suhu mempunyai pengaruh terhadap kecepatan suatu reaksi kimia dalam bahan pangan yang dikatalis oleh kerja enzim, sehingga pada suhu penyimpanan yang paling rendah (0°C) kerja enzim akan terhambat dan vitamin C akan tetap terjaga (Nur et al., 2016). Asam askorbat oksidase yang berperan dalam perombakan vitamin C aktivitasnya menurun akibat suhu pendinginan 5°C dibanding 10°C . Reaksi perombakan vitamin C tersebut masih berlangsung tetapi berjalan lambat, sehingga terjadi penurunan kadar vitamin C. Hal ini berarti aktivitas enzim yang berperan dalam perombakan vitamin C masih berlangsung terus dengan bertambahnya waktu penyimpanan. Disamping itu aktivitas enzim ini selain dipengaruhi oleh suhu juga dipengaruhi oleh lama penyimpanan (Safaryani et al., 2007).

Penentuan Orde Reaksi

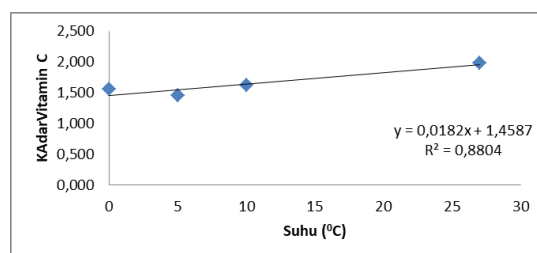
Adapun penentuan orde reaksi dilakukan terhadap nilai dari perhitungan kadar rata-rata vitamin C.



Gambar 1 Kurva Orde Reaksi Nol



Gambar 2 Kurva Orde Reaksi Satu



Gambar 3 Kurva Orde Reaksi Dua

Penentuan orde reaksi ditentukan melalui kurva yang disajikan pada Gambar 1, Gambar 2 dan Gambar 3 Kurva yang menyatakan orde reaksi 0 menunjukkan hubungan yang linear antara kadar vitamin C dengan waktu penyimpanan. Kurva untuk orde reaksi 1 menunjukkan hubungan yang linear antara \ln kadar vitamin C terhadap waktu penyimpanan. Kurva untuk orde reaksi 2 menunjukkan hubungan yang linear antara $1/\text{kadar}$ vitamin C terhadap waktu penyimpanan. Orde reaksi ditentukan berdasarkan nilai koefisien korelasi (r^2) yang paling mendekati 1 (Sapei & Hwa, 2014); (Sinchaipanit et al., 2015); (Martono et al., 2014), dan (E.F et al., 2017). Semua pemodelan orde reaksi dalam penelitian ini menggunakan MS Excel 2010.

Kajian Kinetika Penurunan Kadar Vitamin C Orde Nol

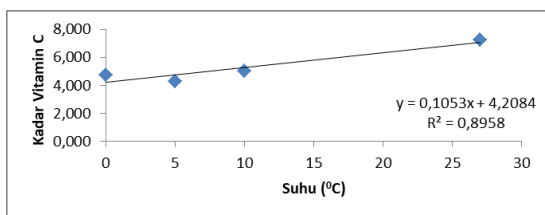
Hubungan interval pengaruh suhu penyimpanan dengan penurunan kadar vitamin C dihitung berdasarkan persamaan orde reaksi nol.

Tabel 2. Kadar Vitamin C Orde Nol

| No | Suhu ($^{\circ}\text{C}$) | Kadar Vitamin C |
|----|-----------------------------|-----------------|
| 1 | 27 | 7,216 |
| 2 | 10 | 5,045 |
| 3 | 5 | 4,283 |
| 4 | 0 | 4,713 |

Berdasarkan hasil perhitungan kinetika berdasarkan orde nol diperoleh hasil penurunan

kadar vitamin C yang paling tinggi terdapat pada penyimpanan suhu $27^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ dengan kadar vitamin C sebesar 7,216, sedangkan penurunan kadar vitamin C terendah berada pada suhu $5^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ dengan kadar vitamin C sebesar 4,283.



Gambar 4 Kurva Kinetika Orde Nol Perubahan Kadar Vitamin C Brokoli

Berdasarkan Kurva uji kinetika orde nol pada perubahan kadar vitamin C brokoli pada berbagai suhu dan waktu penyimpanan persentase penurunan vitamin C pada periode berikutnya yang relatif paling signifikan dapat dikaitkan dengan faktor eksternal orde reaksi ditentukan berdasarkan nilai koefisien korelasi (r^2) yang paling mendekati 1. Berdasarkan analisis harga r^2 , persamaan garis linear di Gambar 1 yang memodelkan reaksi orde nol memiliki harga r^2 terbesar ($r^2=0,8958$).

Persentase penurunan kadar dari vitamin C yang paling kecil diduga karena reaksi oksidasinya diduga hanya dipengaruhi faktor oksigen dengan konsentrasi di tempat penyimpanan telah berkurang sedangkan proses oksidasinya menghasilkan persentase yang lebih besar karena reaksi degradasi asam askorbat biasanya mulai melibatkan jalur lain yang berkaitan dengan pengaruh suhu simpan (Karaginan et al., 2019). Umumnya, penurunan kualitas mutu bahan pangan mengikuti reaksi ordo nol. Dalam kondisi ini laju perubahan mutu produk berlangsung spontan.

Kajian Kinetika Penurunan Kadar Vitamin C Orde Satu

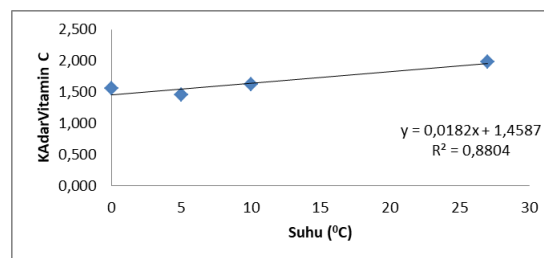
Hubungan interval pengaruh suhu penyimpanan dengan persentase penurunan kadar vitamin C dihitung berdasarkan persamaan orde reaksi satu .

Tabel 3 Penurunan Kadar Vitamin C Orde Satu

| No | Suhu (°C) | Kadar Vitamin C |
|----|-----------|-----------------|
| 1 | 27 | 1,976 |
| 2 | 10 | 1,618 |
| 3 | 5 | 1,455 |

| | | |
|---|---|-------|
| 4 | 0 | 1,550 |
|---|---|-------|

Berdasarkan hasil perhitungan kinetika berdasarkan orde satu diperoleh hasil penurunan kadar vitamin C yang paling tinggi terdapat pada penyimpanan suhu $27^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ dengan kadar vitamin C sebesar 1,976, sedangkan penurunan kadar vitamin C yang paling rendah terdapat pada penyimpanan suhu $5^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ dengan kadar vitamin C sebesar 1,550.



Gambar 5 Kurva Kinetika Orde satu Perubahan Kadar Vitamin C Brokoli

Berdasarkan Kurva uji kinetika orde satu pada perubahan kadar vitamin C brokoli pada berbagai suhu dan waktu penyimpanan persentase penurunan vitamin C pada periode berikutnya yang relatif tidak signifikan dapat dikaitkan dengan faktor eksternal. Berdasarkan analisis harga r^2 , persamaan garis linear di Gambar 1 yang memodelkan reaksi orde satu memiliki harga r^2 sebesar ($r^2=0,8804$).

Kinetika kerusakan vitamin C dapat ditentukan baik pada pengolahan (terutama pengalengan) maupun penyimpanan bahan pangan. Pada penyimpanan bahan pangan, degradasi vitamin C selama waktu penyimpanan diukur dan biasanya dilakukan dengan menentukan waktu paruh degradasi vitamin C. Reaksi kerusakan vitamin C selama penyimpanan umumnya mengikuti persamaan laju reaksi orde satu. Reaksi orde satu menunjukkan hubungan yang linear antara konsentrasi terhadap waktu, nilai kemiringan (slope) yang diperoleh pada masing-masing kurva menunjukkan nilai (-) tetapan laju reaksi (k) (hari-1) (Martono et al., 2014). Tipe kerusakan orde 0 meliputi reaksi enzimatis, pencoklatan enzimatis dan reaksi oksidasi sedangkan tipe tipe kerusakan orde 1 misalnya reaksi kerusakan akibat pertumbuhan mikroba, ketengikan, produksi off flavor, kerusakan vitamin dan penurunan mutu protein (Khatir et al., 2015).

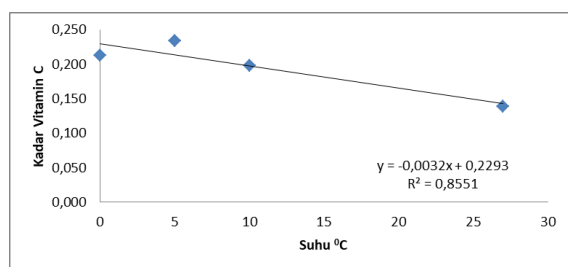
Kajian Kinetika Penurunan Kadar Vitamin C Orde Dua

Hubungan interval pengaruh lama penyimpanan dengan persentase penurunan kadar vitamin C dihitung berdasarkan persamaan orde reaksi dua.

Tabel 4 Penurunan Kadar Vitamin C Orde Dua

| No | Suhu (°C) | Kadar Vitamin C |
|----|-----------|-----------------|
| 1 | 27 | 0,139 |
| 2 | 10 | 0,198 |
| 3 | 5 | 0,233 |
| 4 | 0 | 0,212 |

Berdasarkan hasil perhitungan kinetika berdasarkan orde satu diperoleh hasil penurunan kadar vitamin C yang paling tinggi terdapat pada penyimpanan suhu $5^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ dengan nilai kadar vitamin C sebesar 0,233, sedangkan penurunan suhu terendah berada pada suhu $27^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ yaitu dengan kadar vitamin C sebesar 0,139.



Gambar 6 Kurva Kinetika Orde Dua Perubahan Kadar Vitamin C Brokoli

Berdasarkan Kurva uji kinetika orde dua pada perubahan kadar vitamin C brokoli pada berbagai suhu dan waktu penyimpanan persentase penurunan vitamin C pada periode berikutnya yang relatif signifikan dapat dikaitkan dengan faktor eksternal. Berdasarkan analisis harga r^2 , persamaan garis linear di Gambar 6 yang memodelkan reaksi orde satu memiliki harga r^2 sebesar ($r^2=0,8551$).

Hal ini menunjukkan bahwa reaksi degradasi dalam penelitian ini berorde dua dengan tetapan laju reaksi sebesar $0,0032 \text{ L}(\text{mol.hari})^{-1}$. Dengan kata lain, laju reaksi degradasi asam askorbat terhadap waktu dalam kondisi ini ditentukan tidak hanya oleh konsentrasi awal senyawa tersebut tetapi juga oleh konsentrasi agen oksidatornya, yaitu oksigen, dan atau faktor-faktor lain.

KESIMPULAN

Terdapat hubungan kadar vitamin C terhadap persamaan laju reaksi ditinjau dari *expired date*, dari hasil penelitian diperoleh bahwa terdapat perubahan laju reaksi pada orde nol, orde satu dan orde dua berdasarkan suhu penyimpanan, orde yang paling mempengaruhi persamaan laju reaksi berada pada orde nol karena nilai r^2 orde nol mendekati 1.

REFERENSI

- Abdullah, B. A. (2016). Accelerated Shelf Life Test (ASLT) Method With Arrhenius Approach for Shelf Life Estimation of Pineapple, Papaya And Cempedak Juices. *Informatika Pertanian*, 25(2), 189–198.
- Abidin, Z. (2011). Pengaruh Perebusan Buah Pare (*Momordica charantia L.*) Dalam Media Air dan Santan Terhadap Kandungan Vitamin C. <http://repositori.uin-alauddin.ac.id/6537/>
- Asmara, A. P. (2016). Analysis Of Vitamin C Level Contained In Mango Gadung (*Mangifera Indica L*) With Varied Retention Time Elkawnie. *Journal of Islamic Science and Technology*, 2(1), 37–50. www.jurnal.ar-raniry.com/index.php/elkawnie
- E.F, A., E.O, E., A.M, K., & M.M, A. (2017). Kinetic Modeling of Vitamin C (Ascorbic Acid) Degradation in Blanched Commonly Consumed Salad Vegetables Using Computer Simulation Analysis. *IOSR Journal of Applied Chemistry*, 10(04), 59–66. <https://doi.org/10.9790/5736-1004015966>
- Grudić, V. V., Blagojević, N. Z., Vukašinić-Pešić, V. L., & Brašanac, S. R. (2015). Ispitivanje kinetike degradacije askorbinske kiseline cikličnom voltametrijskom metodom. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 21(2), 351–357. <https://doi.org/10.2298/CICEQ140712037G>
- Karaginan, P., Merah, L., & Provinsi, A. (2019). *Al-Kimia*. 7(2).
- Khatir, R., Ratna, R., & Puri, M. A. (2015). Pendugaan Umur Simpan Jagung Manis Berdasarkan Kandungan Total Padatan Terlarut Dengan Model Arrhenius (Shelf Life Estimation of Sweet Corn Based on Its Total Soluble Solid by Using Arrhenius Model). *Jurnal Agritech*, 35(02), 200. <https://doi.org/10.22146/agritech.13831>
- Martono, Y., Sari, Y. E. P., & Hidarto, J. (2014). Penggunaan Model Arhenius Untuk

Pendugaan Masa Simpan Produk Minuman Kemasan Berdasarkan Kandungan Vit C. *Rekayasa Bahan Pangan*, pp.50-62. <http://www.ucarecdn.com/62853580-359b-4eaa-8896-806ce75f9e7a/>

- Nur, B. A., Frans, W., & Ireine, L. A. (2016). Kajian Pengaruh Pra Pendinginan Dan Suhu Penyimpanan Terhadap Umur Simpan Brokoli. *Cocos*, 7(5).
- Okiei, W., Ogunlesi, M., Azeez, L., Obakachi, V., Osunsanmi, M., & Nkenchor, G. (2009). The voltammetric and titrimetric determination of ascorbic acid levels in tropical fruit samples. *International Journal of Electrochemical Science*, 4(2), 276–287.
- Safaryani, N., Haryanti, S., & Hastuti, E. D. (2007). Pengaruh suhu dan lama penyimpanan terhadap penurunan kadar vitamin C brokoli (*Brassica oleracea* L). *Buletin Anatomi Dan Fisiologi*, XV(2), 39–45.
- Sapei, L., & Hwa, L. (2014). Study on the Kinetics of Vitamin C Degradation in Fresh Strawberry Juices. *Procedia Chemistry*, 9, 62–68. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2014.05.008>
- Sari, K. N., & Ayustaningwarno, F. (2014). Kandungan Serat, Vitamin C, Aktivitas Antioksidan Dan Organoleptik Keripik Ampas Brokoli (*Brassica oleracea* var . *italica*) Panggang. *Journal of Nutrition College*, 3(3), 378–385. <https://doi.org/10.14710/jnc.v3i3.6599>
- Sinchaipanit, P., Ahmad, M., & Twichatwitayakul, R. (2015). Kinetics of Ascorbic Acid Degradation and Quality Changes in Guava Juice during Refrigerated Storage. *Journal of Food and Nutrition Research*, Vol. 3, 2015, Pages 550-557, 3(8), 550–557. <https://doi.org/10.12691/jfnr-3-8-10>