

Submitted : 30 March 2023

Revised : 29 April 2023

Accepted : 25 May 2023

PENENTUAN DIFUSIVITAS BETA KAROTEN DALAM BERBAGAI PELARUT PADA EKSTRAKSI MASERASI LABU KUNING

Mega Mustikaningrum*, Nirmala Johar

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik, Kabupaten Gresik, 61121, Indonesia

*Email: megamustikaningrum@umg.ac.id

Abstrak

Betakaroten merupakan jenis senyawa bioaktif yang memiliki manfaat besar bagi kesehatan karena kandungan antioksidan yang tinggi. Betakaroten dapat diisolasi dari berbagai jenis sayur dan buah-buahan kuning. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perbedaan pelarut terhadap nilai difusivitas betakaroten dari labu kuning. Isolasi dilakukan dengan teknik ekstraksi maserasi konvensional selama 48 jam dengan tiga jenis pelarut yang berbeda yaitu aseton, dietil eter, dan campuran aseton dengan dietil eter (24:1). Pelarut mempengaruhi difusivitas senyawa bioaktif yang terekstrak. Didapatkan nilai D_A sebesar 0,0009; 0,0057; dan 0,0052 m^2 /menit pada masing-masing pelarut dietil eter, aseton, dan campuran aseton:dietil eter. Hasil akhir konsentrasi betakaroten yang didapatkan pada masing-masing pelarut sebesar 121,218; 124,369; dan 129,654 mol/liter. Nilai konstanta kecepatan ekstraksi yang menunjukkan kecepatan kelarutan sampai dengan kondisi setimbang (k) diperoleh sebesar 0,0021; 0,0036; dan 0,0035 m/menit. Dalam hal ini nilai dari konstanta kesetimbangan ekstraksi (K) pada masing-masing tidak berbeda, berada pada nilai 0,9000.

Kata Kunci: Beta karoten; Maserasi; Difusivitas; Konstanta kecepatan ekstraksi

Abstract

Beta-carotene is a bioactive compound with excellent health benefits due to its high antioxidant content. Beta-carotene can be isolated from various types of yellow vegetables and fruits. This study aimed to determine the effect of different solvents on the diffusivity value of beta-carotene from pumpkin. Isolation was carried out by conventional maceration extraction technique for 48 hours with three different solvents, namely acetone, diethyl ether, and a mixture of acetone and diethyl ether (24:1). The solvent affects the diffusivity of the extracted bioactive compounds. The D_A value is 0.0009, 0.0057, and 0.0052 m^2 /minute in diethyl ether, acetone, and acetone:diethyl ether mixture. The beta-carotene concentration obtained in each solvent is 121.218, 124.369, and 129.654 mol/litre. The value of the extraction rate constant, which indicates the speed of dissolution to equilibrium conditions (k), is 0.0021, 0.0036, and 0.0035 m/min. In this case, the extraction equilibrium constant (K) value does not differ for each, at a value of 0.9000.

Keywords: Beta carotene; Maceration; Diffusivity; Extraction speed constant

1. PENDAHULUAN

Beta-karoten adalah bahan fungsional penting diantara keluarga karotenoid yang menyediakan aktivitas vitamin A dari sumber nabati pada pasokan pangan (Spada, Marczak, Tessaro, & Zapata, 2012). Beta-karoten ditemukan pada buah-buahan dan sayuran seperti wortel, ubi jalar, labu, pepaya,

belimbing, persik, bayam, brokoli, kangkung, sawi, dan sawi putih (Kimura & Rodriguez-Amaya, 2002; Chandrika, Jansz, Wickramasinghe, & Warnasuriya, 2003; Kandlakunta, Rajendran, & Thingnganing, 2008).

Secara fisiologi, beta karoten memiliki struktur kimia yang mirip dengan vitamin A, yang dapat berubah menjadi vitamin A dalam tubuh manusia, yang

dianggap sebagai prekursor vitamin A paling aman dan efektif. Selain itu, senyawa karotenoid dinilai memiliki efek perlindungan pada beberapa penyakit degeneratif seperti kardiovaskular, degenerasi makula, penuaan dini, dan beberapa jenis kanker (Yonekura & Nagao, 2007; Ferreira & Amaya, 2008).

Dengan banyaknya manfaat dari betakaroten, dilakukan ekstraksi betakaroten dengan menggunakan variabel perbedaan pelarut yaitu aseton, dietil eter, dan campuran aseton serta dietil eter sebagai kosolven menggunakan metode maserasi. Penggunaan pelarut aseton dan dietil eter dikarenakan kedua jenis pelarut tersebut merupakan jenis dari pelarut non polar (Mudalip et al., 2018). Hal ini sesuai dengan sifat dari beta karoten yang bersifat non polar. Beta karoten merupakan jenis dari molekul lipid isoprenoid yang sangat hidrofobik (Fiedor & Burda, 2014). Sifat hidrofobik inilah yang mengakibatkan sifat dari betakaroten yang menolak senyawa yang sifatnya polar. Ekstraksi betakaroten menggunakan pelarut aseton (Rifqi, Setiasih, & Cahayana, 2020) dan dietil eter (Dianursanti, Siregar, Maeda, Yoshino, & Tanaka, 2020) sudah dilakukan sebelumnya. Penelitian ini fokus terhadap studi fundamental perbedaan pelarut pada difusivitas betakaroten. Hal ini didasarkan pada hasil penelitian Gao & Mazza, (2000) bahwa jenis pelarut mempengaruhi *yield* ekstrak bioaktif yang dihasilkan. Perolehan perbedaan *yield* inilah yang menjadi hipotesis dalam penelitian ini bahwa perbedaan pelarut inilah yang menyebabkan perbedaan nilai difusivitas.

Jenis ekstraksi pada isolasi betakaroten adalah ekstraksi padat cair. Deskripsi proses pada jenis ekstraksi ini sangat sulit karena dipengaruhi oleh banyak parameter yaitu variabel dalam struktur pori fase padat, ketidakberaturan bentuk partikel, distribusi ukuran partikel dan koefisien kinetika yang bervariasi selama proses ekstraksi. Ada dua metode untuk menganalisis faktor-faktor tersebut yaitu analitis dan numeris. Setiap kurva kinetika eksperimental didalamnya tersembunyi faktor yang mempengaruhi kecepatan proses difusi. Secara kuantitatif faktor-faktor ini dilaporkan dalam koefisien difusi efektif. Difusi efektif (D_{eff}) dengan nilai konstan selama proses ekstraksi padat-cair diselesaikan menggunakan hukum Fick dengan asumsi geometri pelat-silinder, dan bola (Vasic, Radojevic, Arsenovic, & Grbavcic, 2011; Nguyen, Verboven, Scheerlinck, Vandewalle, & M., 2006; M. Angela & A. Meireles, 2009). Difusi merupakan langkah pembatas (*limiting step*) pada proses ekstraksi (Gertenbach, 2001). Tingkat difusi pada langkah ekstraksi dapat dijelaskan oleh hukum kedua Fick pada persamaan 1:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1)$$

Pendekatan hukum Fick menggunakan gradien konsentrasi dalam partikel sebagai kekuatan pendorong (Doulia, Tzia, & Gekas, 2000; Gekas, 2001). Pendekatan Fick ini dapat digunakan dengan asumsi tidak ada perubahan difusivitas efektif terhadap konsentrasi zat terlarut dan resistensi perpindahan massa eksternal diabaikan, dengan demikian laju

ekstraksi meningkat dengan gradien konsentrasi yang lebih besar.

Nilai D_{eff} biasanya bervariasi selama proses. D_{eff} digambarkan sebagai fungsi eksponensial dari konsentrasi yang diekstraksi dalam fasa padat dan perubahan porositas internal dari bahan padat selama proses (M. Angela & A. Meireles, 2009). Sehingga dapat disimpulkan bahwa difusivitas adalah perpindahan zat terlarut dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah pada setiap luasan area tertentu.

Selain faktor difusivitas, mekanisme pengambilan senyawa bioaktif pada padatan sampai dengan mencapai keadaan setimbang antara zat terlarut dengan pelarut juga merupakan faktor penting yang harus diketahui. Kesetimbangan dijelaskan oleh konstanta distribusi kesetimbangan atau koefisien partisi (K), yang merupakan fungsi dari konsentrasi dalam keadaan setimbangan pada ekstrak dan sampel padat (Siamionau & Egorov, 2022). Semakin besar nilai dari K, semakin banyak senyawa tertentu yang akan larut dalam pelarut. Nilai K merupakan fungsi dari karakteristik pelarut dan senyawa serta suhu.

Studi fundamental terhadap nilai difusivitas ekstraksi betakaroten dengan metode ekstraksi belum dilakukan. Sehingga, penelitian ini berfokus pada pengajuan model matematika yang menggambarkan fenomena ekstraksi betakaroten yang berpengaruh langsung terhadap nilai difusivitas (D_{eff}) dan konstanta kesetimbangan (K) yang diharapkan akan menjadi dasar optimasi pada proses ekstraksi penelitian berbasis betakaroten. Dengan ditemukan nilai parameter difusivitas dan konstanta kesetimbangan, simulasi lanjutan dapat dilakukan tanpa menggunakan banyak variabel pada proses penelitian di lapangan.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Bahan Dan Alat

Bahan baku labu kuning, betakaroten standar ($C_{40}H_{56}$) 93 % (Sigma), dietil eter yang dibeli dari PT Nirwana Abadi Surabaya, aseton pro analisis (80 %) yang diperoleh dari CV Chemix Yogyakarta. Penentuan konsentrasi beta karoten menggunakan UV-Vis Thermo Scientific Spectrophotometer (*Dual Beam*) dengan dimensi alat instrument adalah $35,5 \times 38,5 \times 19,5$ cm, memiliki panjang gelombang pengukuran 190-1100 (akurasi $\pm 0,5$ nm) serta akurasi fotometrik $\pm 0,002A$ pada 0,5A.

2.2 Prosedur Ekstraksi Maserasi

Labu kuning yang sudah dikeringkan dan diayak dengan ukuran 30 mesh ditimbang sebanyak 10 gram. Labu kuning kemudian dimasukkan ke tabung jar kaca dengan penambahan rasio pelarut:labu kuning sebanyak 25:1. Ekstraksi dilakukan selama 48 jam. Pelarut yang digunakan adalah aseton, dietil eter, serta campuran aseton dan dietil eter (24:1).

2.3 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum

Beta karoten standar dilarutkan menggunakan campuran pelarut n-heksana:aseton dengan perbandingan 1 : 9 v/v pada labu ukur 25 ml. Pelarutan kedua dilakukan dengan mengambil cuplikan dari

sampel sebanyak 2,5 ml dan dilarutkan pada pelarut 25 ml. Kemudian dilanjutkan dengan pengambilan cuplikan sebesar 1,25; 2,5; 5,00; dan 6,25 ke dalam 10 ml pelarut yang digunakan untuk pembuatan kurva standar. Pengukuran absorbansi maksimum dilakukan pada rentang tampak menggunakan pelarut blangko (Ludwig, Rihko-Struckmann, Brinitzer, Unkelbach, & Sundmacher, 2021). Ditemukan panjang gelombang maksimum pada 451 nm.

2.4 Pengambilan Data Kinetika

Sampel hasil maserasi diambil cuplikannya setiap 9 jam. Konsentrasi dari betakaroten didapatkan dengan menggunakan UV-Vis spektrofotometer pada panjang gelombang 451 nm dan konsentrasi betakaroten dihitung menggunakan kurva standar yang telah dibuat sebelumnya.

2.5 Pengajuan Model Matematika

Model matematika yang diajukan untuk mewakili fenomena ekstraksi betakaroten berbasis neraca massa dengan menggabungkan persamaan pada hukum kedua Fick dan konsep kesetimbangan. Asumsi yang diambil adalah partikel dari labu kuning dianggap berbentuk bulat dengan porositas merata, sehingga hanya gradien radial yang dipertimbangkan, mengabaikan perubahan suhu yang terjadi selama proses dan *swelling* partikel diabaikan sehingga tidak ada perubahan partikel dan porositas yang terjadi (Beverly, E. Lopez-Quiroga, J.Melrose, S.Bakalis, & Fryer, 2020); (Corrochano, Melrose, Bentley, Fryer, & Bakalis, 2015). Model matematika yang diajukan adalah sebagai berikut:

Neraca massa betakaroten pada cairan:

$$\frac{dC_A}{dt} = D_A \frac{\partial^2 C_A}{\partial r^2} - D_A \frac{2}{r} \frac{\partial C_A}{\partial r} - \frac{k \cdot a \cdot m}{V} (C_A - C_A^*) \quad (2)$$

Neraca massa betakaroten pada padatan:

$$\frac{dX_A}{dt} = D_A \frac{\partial^2 X_A}{\partial r^2} - D_A \frac{2}{r} \frac{\partial X_A}{\partial r} + k \cdot a (C_A - C_A^*) \quad (3)$$

Persamaan 2 dan 3 memiliki notasi C_A^* , yang merupakan konsentrasi betakaroten pada lapisan film yang sulit untuk diketahui secara pasti. Sehingga dibutuhkan satu persamaan untuk yang didekati dengan model partisi:

$$X_A = K C_A^* \quad (4)$$

dimana C_A adalah konsentrasi betakaroten (mol/liter); k adalah konstanta kecepatan ekstraksi (dm/menit); K adalah konstanta kesetimbangan ekstraksi; D_A adalah difusivitas betakaroten (dm²/menit); m adalah massa labu kuning (gram); V adalah volume pelarut (dm³); $\frac{dC_A}{dt}$ adalah konsentrasi betakaroten setiap waktu di cairan (mol/liter menit); $\frac{dX_A}{dt}$ adalah konsentrasi betakaroten setiap waktu di padatan (mol/liter menit); a adalah luas permukaan serbuk labu kuning (dm²).

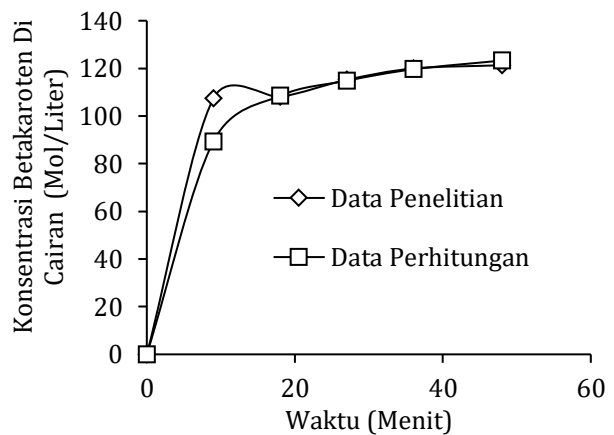
Persamaan 2, 3, dan 4 kemudian diselesaikan menggunakan perangkat lunak MatLab 2013a. *Fitting* data penelitian dan perhitungan dilakukan untuk mencari nilai dari difusivitas (D_A), konstanta kecepatan ekstraksi (k), dan konstanta kesetimbangan (K) menggunakan bantuan fungsi ode15s dan lsqnonlin,

metode penyelesaian diselesaikan menggunakan metode *finite difference approximation* (FDA) .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

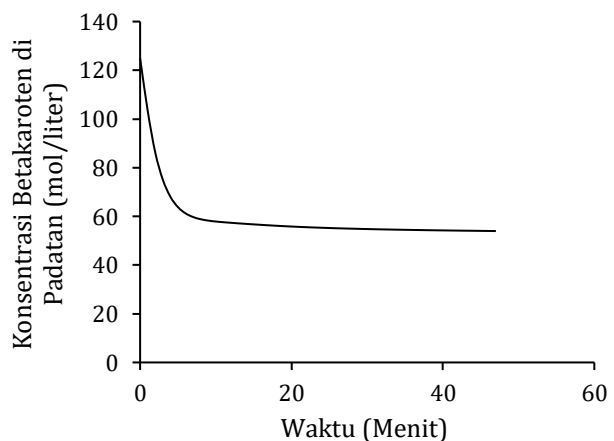
Berdasarkan hasil Gambar 1, data konsentrasi hasil dan perhitungan berimpit dan menunjukkan bahwa model yang diajukan dapat merepresentasikan hasil yang didapatkan. Hasil akhir betakaroten pada penelitian didapatkan 121,218 mol/liter dan konsentrasi akhir betakaroten hasil perhitungan didapatkan 123,2884 mol/liter.

Penelitian lain melakukan ekstraksi betakaroten menggunakan pelarut dietil eter menggunakan metode ultrasonik, didapatkan konsentrasi betakaroten berkisar 300 mol/liter (Dianursanti, Siregar, Maeda, Yoshino, & Tanaka, 2020). Perbedaan data ini terjadi akibat metode yang digunakan berbeda.

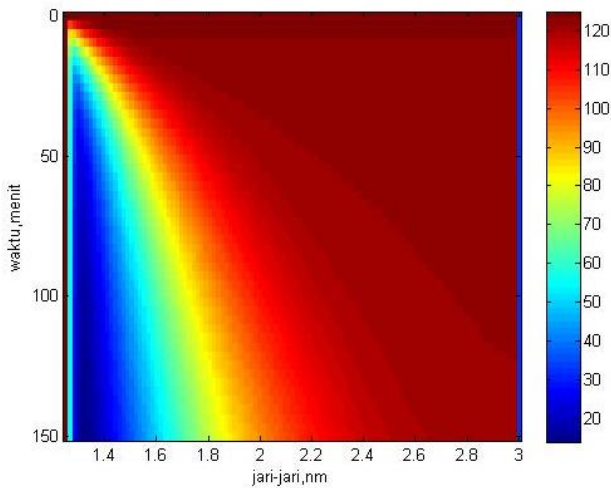


Gambar 1. Perbandingan data penelitian dan perhitungan (pelarut dietil eter)

Penurunan konsentrasi pada padatan sampel labu kuning setiap waktu menggunakan pelarut dietil eter tersaji pada Gambar 2. Hasil dari perhitungan menunjukkan penurunan sampai dengan 53,97 mol/liter. Untuk melihat distribusi konsentrasi dari betakaroten pada padatan labu kuning selama ekstraksi berlangsung yang terukur pada radius 1,5-3 nm, tersaji pada Gambar 3.



Gambar 2. Penurunan konsentrasi betakaroten di padatan dengan pelarut dietil eter

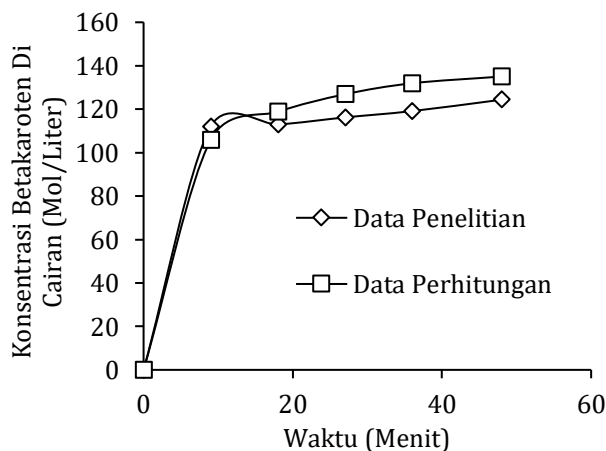


Gambar 3. Distribusi konsentrasi betakaroten setiap waktu dan posisi pada labu kuning (pelarut dietil eter)

Berdasarkan Gambar 4, ekstraksi dengan pelarut aseton didapatkan nilai sebesar 124,369 mol/liter dan berdasarkan data perhitungan didapatkan nilai 135,0394 mol/liter. Apabila dibandingkan dengan ekstraksi menggunakan pelarut dietil eter, hasil betakaroten yang didapatkan lebih besar. Hal ini menunjukkan pelarut aseton jauh lebih baik pada isolasi betakaroten dari labu kuning.

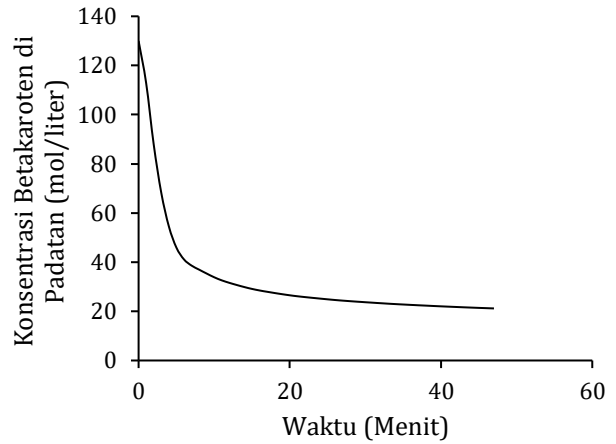
Perbedaan hasil yang didapatkan pada kedua pelarut disebabkan karena adanya perbedaan nilai polaritas antara kedua pelarut. Nilai polaritas pelarut dietil eter sebesar 0,117 dan untuk aseton sebesar 0,355 (Reichard, 2003). Dengan adanya konfirmasi data tersebut menunjukkan bahwa polaritas dietil eter yang lebih rendah menghasilkan ekstraksi betakaroten yang lebih rendah dibandingkan dengan pelarut aseton.

Penelitian lain juga melakukan ekstraksi maserasi betakaroten dengan menggunakan pelarut aseton selama 3 hari (72 jam) didapatkan nilai rata-rata konsentrasi sebesar 400-500 mol/liter (Egbuna, Onwubiko, & Asadu, 2019). Perbedaan hasil yang didapatkan diakibatkan waktu ekstraksi yang berbeda.

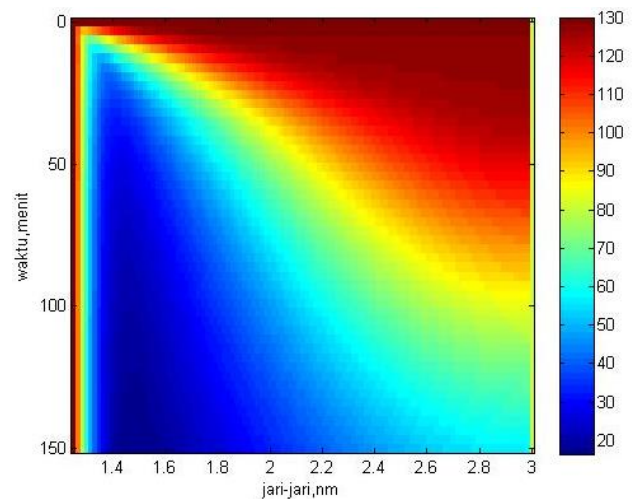


Gambar 4. Perbandingan data penelitian dan perhitungan (pelarut aseton)

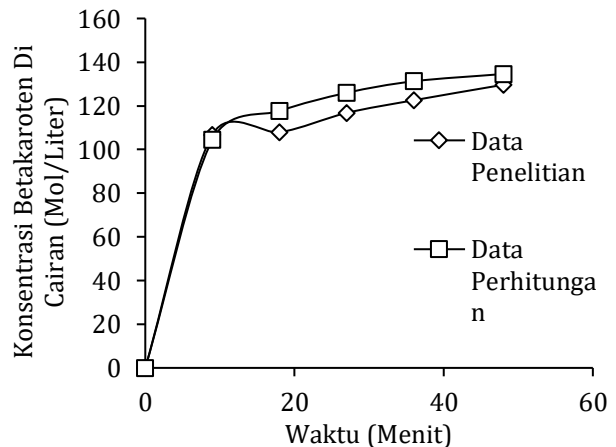
Penurunan dari konsentrasi betakaroten di labu kuning dengan penggunaan pelarut aseton ditampilkan pada Gambar 5 dan distribusi konsentrasi betakaroten di padatan setiap waktu dan posisi dapat dilihat pada Gambar 6. Hasil akhir betakaroten di padatan labu kuning dengan menggunakan pelarut aseton sebesar 21,1795 mol/liter.



Gambar 5. Penurunan konsentrasi betakaroten di padatan dengan pelarut aseton

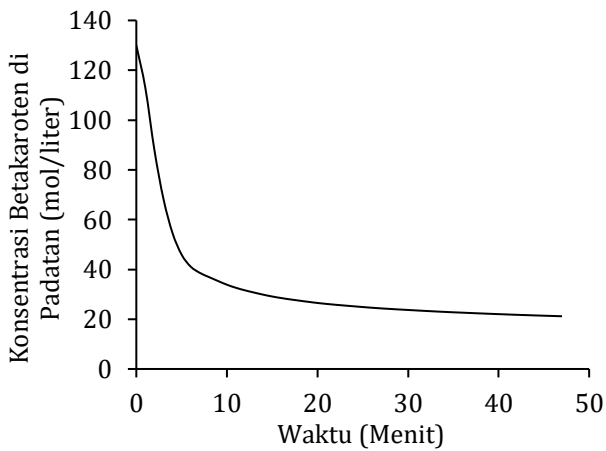


Gambar 6. Distribusi konsentrasi betakaroten setiap waktu dan posisi pada labu kuning (pelarut aseton)

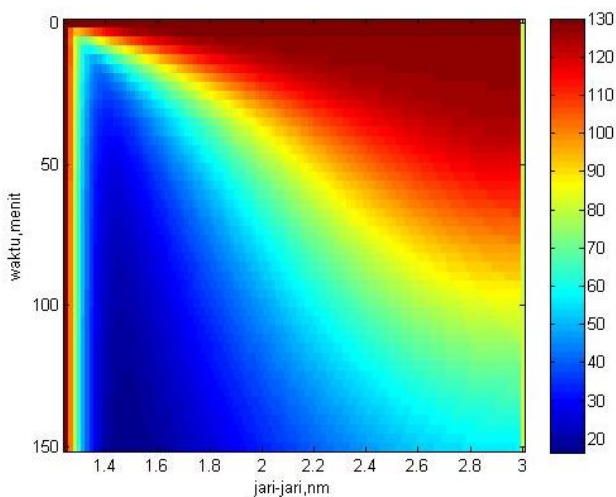


Gambar 7. Perbandingan data penelitian dan perhitungan (pelarut aseton x dietil eter)

Berdasarkan Gambar 7, hasil akhir dari betakaroten menggunakan campuran pelarut adalah sebesar 129,654 mol/liter, namun berdasarkan hasil perhitungan didapatkan konsentrasi akhir sebesar 134,583 mol/liter.



Gambar 8. Penurunan konsentrasi betakaroten di padatan dengan campuran pelarut aseton dan dietil eter



Gambar 9. Distribusi konsentrasi betakaroten setiap waktu dan posisi pada labu kuning (campuran pelarut aseton dan dietil eter)

Berdasarkan Gambar 1, 4, dan 7 hasil parameter uji yang dihasilkan tersaji pada Tabel 1. Nilai difusivitas betakaroten pada pelarut aseton lebih besar dibandingkan dengan pelarut dietil eter. Hal ini menunjukkan bahwa laju transfer massa betakaroten pada pelarut aseton lebih besar dibandingkan dengan perpindahan massa betakaroten menuju larutan dietil eter.

Hasil yang didapatkan berdasarkan nilai konstanta kecepatan reaksi (k), konstanta kesetimbangan (K), dan difusivitas (D_A) memiliki nilai yang tidak berbeda jauh dengan penggunaan pelarut aseton, namun dalam hal ini adanya penambahan pelarut dietil eter menaikkan konsentrasi akhir yang dihasilkan pada proses ekstraksi.

Tabel 1. Hasil parameter uji terhadap variabel hitung (pelarut dietil eter)

Variabel	Unit	Dietil eter	Aseton	Dietil eter:aseton 24:1
k	m/menit	0,0021	0,0036	0,0035
K		0,9000	0,9001	0,9000
D_A	$m^2/menit$	0,0009	0,0057	0,0052

Berdasarkan ketiga data difusivitas yang didapatkan, hasil yang didapatkan cukup tepat dibandingkan dengan penelitian lain. Pada penelitian yang dilakukan dengan menggunakan metode pengadukan, ultrasonik, dan *microwave* menggunakan pelarut aseton didapatkan nilai difusivitas beta karoten masing-masing sebesar $1,29 \times 10^{-3}$; $8,59 \times 10^{-4}$; dan $3,12 \times 10^{-4} \mu m^2/s$ (Hladnik, Vicente, Kosir, Grilc, & Likozar, 2023). Perbedaan nilai difusivitas diakibatkan oleh adanya perbedaan konsentrasi awal bahan baku yang digunakan, dimana konsentrasi awal sebesar 41,5 $\mu g/g$.

Hal tersebut sesuai dengan hukum Fick bahwa konsentrasi mula-mula merupakan faktor penting pada difusivitas senyawa, semakin besar konsentrasi mula-mula semakin besar *driving force* yang diberikan sehingga nilai dari difusivitas akan semakin besar (Ratnakar & Dindoruk, 2022).

4. KESIMPULAN

Ekstraksi maserasi betakaroten labu kuning dengan pelarut dietil eter, aseton, serta campuran aseton dan dietil eter (24:1) menghasilkan nilai difusivitas yang berbeda, yaitu sebesar 0,0009; 0,0057 dan 0,0052 $m^2/menit$. Penggunaan pelarut yang berbeda mempengaruhi perpindahan massa betakaroten ke masing-masing pelarut. Semakin besar polaritas semakin baik proses ekstraksi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Beverly, D., E. Lopez-Quiroga, R., J.Melrose, S.Bakalis, & Fryer, P. (2020). Modelling mass and heat transfer in multiphase coffee aroma extraction. *Industrial & Engineering Research*, 11099-11112.
- Chandrika, U. G., Jansz, E. R., Wickramasinghe, S. N., & Warnasuriya, N. D. (2003). Carotenoids in yellow- and red-fleshed papaya (*Carica papaya* L). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1279-1282.
- Corrochano, B., Melrose, J., Bentley, A., Fryer, P., & Bakalis, S. (2015). A new methodology to estimate the steady state permeability of roast and ground coffee in packed beds. *Journal of Food Engineering*, 106-116.
- Dianursanti, Siregar, A., Maeda, Y., Yoshino, T., & Tanaka, T. (2020). The Effects of Solvents and Solid-to-Solvent Ratios on Ultrasound-Assisted Extraction of Carotenoids from *Chlorella vulgaris*. *International Journal of Technology*, 941-950.
- Douliu, D., Tzia, K., & Gekas, V. (2000). A knowledge base for the apparent mass diffusion coefficient (DEFF) of foods. *International Journal of Properties*, 3, 1-14.

- Egbuna, S. O., Onwubiko, D. C., & Asadu, C. O. (2019). Comparative Studies and Optimization of the Process Factors for the Extraction of Beta-carotene from Palm Oil and Soybean Oil by Solvent Extraction. *Journal of Engineering Research and Reports*, 1-16.
- Ferreira, J., & Amaya, D. R. (2008). Degradation of Lycopene and β -carotene in Model Systems and in Lyophilized Guava during Ambient Storage: Kinetics, Structure, and Matrix Effects. *Journal of Food Science*, C589-594.
- Fiedor, J., & Burda, K. (2014). Potential role of carotenoids as antioxidants in human health and disease. *Nutrients*, 6(2), 466-488.
- Gao, L., & Mazza, G. (2000). Assessing antioxidant and prooxidant activity of phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(2000), 3597-3604.
- Gekas, V. (2001). Mass transfer modeling. *Journal of Food Engineering*, 49, 97-102.
- Gertenbach, D. (2001). Solid-liquid extraction technologies for manufacturing nutraceuticals from botanicals. In J. Shi, G. Mazza, & M. Le Maguer (Eds.), *Functional foods: biochemical and processing aspects*, 331-366.
- Hladnik, L., Vicente, F. A., Kosir, A., Grilc, M., & Likozar, B. (2023). Stirred, ultrasound-assisted and microwave-assisted extraction process of β -carotene from *Rhodotorula glutinis* in biorefinery downstream. *Separation and Purification Technology*, 123293.
- Kandlakunta, B., Rajendran, A., & Thingnganing, L. (2008). Carotene content of some common (cereals, pulses, vegetables, spices and condiments) and unconventional sources of plant origin. *Food Chemistry*, 85-89.
- Kimura, M., & Rodriguez-Amaya, D. B. (2002). A scheme for obtaining standards and HPLC quantification of leafy vegetable carotenoids. *Food Chemistry*, 389-398.
- Ludwig, K., Rihko-Struckmann, L., Brinitzer, G., Unkelbach, G., & Sundmacher, K. (2021). β -Carotene extraction from *Dunaliella salina* by supercritical CO₂. *Journal of Applied Phycology*, 1435-1445.
- M. Angela, & A. Meireles. (2009). *Extracting Bioactive compounds for food products: Theory and applications*. CRC Press.
- Mudalip, S. K. A., Bakar, M. R. A., Jamal, P., Adam, F., Man, R. C., Sulaiman, S. Z., Arshad, Z. I. M., & Shaarani, S. M. (2018). Effects of solvents on polymorphism and shape of mefenamic acid crystals. *MATEC Web of Conferences*, 150, 2004.
- Nguyen, T., Verboven, P., Scheerlinck, N., Vandewalle, S., & M., N. B. (2006). Estimation of effective diffusivity of pear tissue and cuticle by means of a numerical water diffusion model. *Journal of Food Engineering*, 63-72.
- Ratnakar, R. R., & Dindoruk, B. (2022). *The Role of Diffusivity in Oil and Gas Industries: Fundamentals, Measurement, and Correlative Techniques*. Processes, 1194.
- Reichard, C. (2003). *Solvents and Solven Effect in Organic Chemistry* 4th Edition. Wiley-VCH Publishers.
- Rifqi, M., Setiasih, I. S., & Cahayana, Y. (2020). Total β -carotene of β -carotene carrot powder (*Daucus Carota* L.) encapsulation result. *International Conference on Food and Bio-Industry* (p. 012063). IOP Publishing.
- Siamionau, A. V., & Egorov, V. V. (2022). Determination of Single-Ion Partition Coefficients between Water and Plasticized PVC Membrane Using Equilibrium-Based Techniques. *Membranes*, 1019.
- Spada, J. C., Marczak, L. D., Tessaro, I. C., & Zapata, C. P. (2012). Microencapsulation of β -carotene using native pinhão starch, modified pinhão starch and gelatin by freeze-drying. *International Journal of Food Science and Technology*, 186-194.
- Vasic, M. R., Radojevic, Z. M., Arsenovic, M. V., & Grbavcic, Z. B. (2011). Determination of the effective diffusion coefficient. *Romanian Journal of Materials*, 169-175.
- Yonekura, L., & Nagao, A. (2007). Intestinal absorption of dietary carotenoids. *Mol. Nutr. Food Res*, 107-115.