

ENKAPSULASI DAN STABILITAS PIGMEN KAROTENOID DARI BUAH ENTAWAK (*Artocarpus Anisophyllus*)

Gervacia Jenny.R^{1*}, Ratih Indrawati¹

¹Jurusan Teknologi Laboratorium Medis, Poltekkes Pontianak, Jl. 28 Oktober Pontianak 78241

Correspondence Author: prodi_d4analisis@yahoo.co.id

Diterima
06.-01.2023

Direvisi
28.04.2023

Dipublikasikan
30.04.2023

© Penulis 2022

PISSN 2540-8224
EISSN 2540-8267



Penerbit:
Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung

ABSTRAK

Pada penelitian ini telah dilakukan proses enkapsulasi dan stabilitas pigmen karotenoid dari buah entawak (*Arthocarpus Anisophyllus*). Konsentrasi Maltodekstrin sebagai penyalut yang paling efisien adalah 10%. Berdasarkan uji statistic SPSS menggunakan uji korelasi dari hasil penelitian diperoleh untuk kecepatan pengadukan terdapat pengaruh yang signifikan antara kecepatan pengadukan terhadap kadar karotenoid dengan nilai signifikansi (p) $0,000 < 0,05$. Pada Uji termostabilitas yang meliputi pH dan suhu diperoleh untuk uji pH diperoleh nilai signifikan(p) $0,111 > 0,05$ yang artinya tidak terdapat pengaruh kadar karotenoid terhadap pH. Dan nilai signifikansi (p) $0,871 < 0,05$ artinya tidak ada hubungan yang signifikan antara kadar karotenoid terhadap suhu. Sementara uji fotostanilitas yang meliputi pengaruh sinar matahari dan Sinar UV-Vis diperoleh nilai signifikansi (p) $0,047 < 0,05$, dan nilai signifikansi (p) $0,008 < 0,05$ yang artinya terdapat pengaruh kadar karotenoid terhadap UV-VIS.

Kata kunci: Enkapsulasi, Uji Stabilitas, Buah Entawak .

ABSTRACT

In this study, the process of encapsulation and stability of carotenoid pigments from Entawak fruit (*Arthocarpus Anisophyllus*) has been carried out. The concentration of Maltodextrin as the most efficient coating is 10%. Based on the SPSS statistical test using the correlation test, the results obtained for the stirring speed there is a significant effect between the stirring speed on the carotenoid content with a significance value (p) of $0.000 < 0.05$. The thermostability test which includes pH and temperature was obtained for the pH test to obtain a significant value (p) $0.111 > 0.05$, which means that there is no effect of carotenoid levels on pH. And the significance value (p) is $0.871 < 0.05$, which means that there is no significant relationship between carotenoid levels and temperature. While the photostanility test which includes the influence of sunlight and UV-Vis rays obtained a significance value (p) of $0.047 < 0.05$, and a significance value (p) of $0.008 < 0.05$, which means there is a effect of carotenoid levels on UV-VIS.

Keywords: *Encapsulation; Stability Test; Entawak Fruit.*

PENDAHULUAN

Sumber daya alam bahan obat dan obat tradisional di Indonesia merupakan aset nasional yang perlu terus digali, diteliti, dikembangkan dan dioptimalkan pemanfaatannya. Pemakaian bahan pewarna dalam makanan bukan suatu hal yang baru dan telah dilakukan oleh produsen-produksen makanan sejak dahulu. Dahulu bahan pewarna yang banyak dipakai ialah bahan pewarna alami yang berasal dari tumbuhan. Akan tetapi dengan makin berkembangnya industri makanan, baik dalam jumlah maupun jenisnya, maka zat warna sintetis yang dalam beberapa hal mempunyai kelebihan-kelebihan tertentu, mendesak bahan pewarna alami (Depkes RI, 2007)

Warna merupakan parameter mutu yang biasanya digunakan konsumen sebagai penilaian awal dalam memilih produk pangan. Namun, pengolahan makanan merupakan salah satu proses yang dapat menurunkan warna makanan, sehingga biasanya ditambahkan pewarna. Pada era ini, konsumen cenderung memilih produk pangan yang memiliki manfaat fungsional. Salah satu pewarna alami yang memilikinya adalah karotenoid. Karotenoid memberikan warna merah, jingga, dan kekuningan. Karotenoid dibagi menjadi dua kelompok, karoten dan xanthophyll. Karoten terdiri dari α -karoten, β -karoten, γ -karoten, dan likopen. Sedangkan xanthophyll terdiri dari β -cryptoxanthin, lutein, zeaxanthin, astaxanthin, fucoxanthin, dan peridinin. Pigmen ini bersifat lipofilik sehingga dapat larut dalam minyak dan pelarut organik dan cukup tahan terhadap pemanasan, namun sangat mudah terdegradasi dalam kondisi asam, cahaya, dan oksigen. Selain berperan sebagai pewarna, pigmen ini dapat berperan sebagai antioksidan dan provitamin A. Sumber karotenoid banyak terdapat pada bunga, buah, umbi, daun, dan kulit buah. Ekstraksi pigmen ini dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu ekstraksi maserasi, ekstraksi cairan superkritis, dan ekstraksi enzimatis (Wahyuni *et al.*, 2020).

Karotenoid adalah pigmen alami yang umumnya terdiri dari delapan unit isoprenoid. Karotenoid tergolong senyawa lipid sehingga tidak larut dalam air dan larut dalam pelarut organik. Senyawa karotenoid disintesis dari tanaman dan beberapa jamur dan memiliki kemampuan untuk menyerap cahaya pada Panjang gelombang 400 – 500 nm. Karotenoid umumnya diklasifikasikan sebagai karoten atau xantofil menurut ada tidaknya gugus fungsional oksigen dalam struktur molekulnya. Pigmen karotenoid dapat ditemukan dalam tumbuhan. Salah satu tumbuhan yang potensial sebagai sumber zat warna alami adalah buah mentawa alias entawak, atau entawak (*Artocarpus anisophyllus*). Tumbuhan ini merupakan salah satu spesies dari anggota suku *Moraceae* (kelompok nangka-nangkaan), merupakan salah

satu buah lokal unik dan langka khas Kalimantan. Entawak ditemukan hampir diseluruh kabupaten di Kalimantan seperti Sanggau, Bengkayang, Sekadau, Sintang dan beberapa daerah lain di Kalimantan (BPTP Kal-Bar, 2019).

Dalam dekade terakhir, jumlah publikasi penelitian mengenai ragam metode ekstraksi karotenoid mengalami perkembangan dan fluktuasi. Grafik di atas menunjukkan bahwa selama sepuluh tahun terakhir, metode ekstraksi yang sering digunakan untuk mengekstraksi karotenoid adalah metode cairan superkritis, yaitu sekitar 37,31% dari jumlah total keseluruhan metode. Penelitian pada tahun 2008 dan 2012 merupakan penelitian yang paling banyak menggunakan metode cairan superkritis. Metode kedua yang paling banyak digunakan untuk mengekstraksi karotenoid yaitu ultrasound assisted extraction. Sekitar 17,10% dari jumlah total keseluruhan metode, penelitian menggunakan metode ultrasound assisted extraction. Penelitian pada tahun 2013 dan 2015 merupakan penelitian yang paling banyak menggunakan metode ultrasound assisted extraction (Maleta *et al.*, 2018) .

Karotenoid merupakan molekul yang sangat sensitif, dan dapat mengalami degradasi yang cepat, terutama ketika berkontak dengan oksigen reaktif, atau paparan cahaya, pH asam dan tinggi suhu. Oleh karena itu diperlukan upaya untuk melindungi senyawa karotenoid tersebut dari lingkungan sekitarnya dan untuk meningkatkan kelarutannya di dalam produk pangan salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk melindungi komponen bahan yang sensitif dan mengurangi senyawa aktif bahan yang dapat terdegradasi yaitu dengan melakukan enkapsulasi. Enkapsulasi merupakan proses penyalutan bahan inti yang bersifat mudah rusak dengan suatu bahan penyalut khusus yang memiliki kemampuan untuk melindungi zat inti dari faktor-faktor penyebab kerusakan selama proses pengolahan dan penyimpanan (Boer *et al.*, 2019).

Proses enkapsulasi memerlukan bahan inti dan bahan penyalut. Bahan penyalut yang dapat digunakan diantaranya dari bahan mono dan disakarida, maltodekstrin, pati termodifikasi, gum atau protein. Salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai pembungkus dari enkapsulasi adalah maltodekstrin, karena memiliki rasa dan aroma yang netral, bersifat mudah larut air, viskositas rendah pada konsentrasi tinggi, memiliki kapasitas pembentukan film, dan perlindungan yang baik terhadap oksidasi bahan inti (Santoso *et al.*, 2020).

Berdasarkan uraian diatas maka penelitian ini bertujuan untuk melindungi, mempertahankan, dan meningkatkan kelarutan senyawa karotenoid dari ekstrak buah entawak dengan proses enkapsulasi.

METODE

Alat dan Bahan

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah bejana maserasi, Rotary evaporator, Spektrofotometer UV-Vis, Lampu polikromatis, Shaker. Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari buah entawak (*Artocarpus anisophyllus*) yang diperoleh dari Desa Semanget Entikong, Kabupaten Sanggau Kalimantan Barat.

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah : akuades, n-heksan merkck (C_6H_{14} , BM = 86,18 g/mol), metanol teknis (CH_3OH , BM= 32,04 g/mol), aseton (C_3H_6O , BM= 58,08 g/mol), tween 80 ($C_{64}H_{124}O_{26}$, BM= 1.310 g/mol), maltodekstrin food grade, buffer asetat, buffer pH 1-14, dan kalium klorida (KCl, BM= 74,5513 g/mol).

Prosedur

Ekstraksi

Senyawa Karotenoid (*Artocarpus anisophyllus*) dipotong kecil-kecil dan ditimbang sebanyak 500 gram kemudian dimaserasi (sampai seluruh jaringan terendam) dengan pelarut n-heksan p.a. Filtrat yang didapat kemudian disaring dan pelarut diuapkan kembali dengan menggunakan *Rotary Evaporator* sehingga diperoleh data ekstrak kasar buah entawak (Alen & , Fitria Lavita Agresa, 2017).

Enkapsulasi pigmen

Bahan pelapis maltodekstrin dilarutkan dalam 10 mL akuades dengan konsentrasi 10%, 20%, dan 30% (%b/v). Kemudian ditambahkan pigmen karotenoid sebanyak 20 mg dan tween 80 sebagai emulsifier sambil dihomogenkan. Campuran yang berbentuk gel tersebut kemudian dimasukkan dalam pelarut aseton 50 mL secara perlahan dengan pengadukan 500 rpm. Enkapsulat yang terbentuk didekantasi dan dikeringkan dengan gas N_2 secara perlahan. Langkah di atas diulangi dengan pengadukan 600, 700, dan 800 rpm. Untuk selanjutnya dilakukan proses penentuan kadar pigmen dalam enkapsulat menggunakan spektrofotometer UV- Vis dan pengukuran stabilitas karotenoid (Aschida *et al.*, 2015).

Penentuan kadar dan pigmen dalam enkapsulat

Kadar pigmen dalam enkapsulat ditentukan menggunakan spektrofotometer dengan membuat kurva kalibrasi pigmen berdasarkan nilai absorbansinya. Dibuat seri konsentrasi pigmen hasil ekstraksi mulai 1;3;5;6;9 dan 12 mg/L akuades. Sebelum dilarutkan dalam akuades, pigmen yang telah ditimbang ditambahkan 1 tetes tween 80 sebagai emulsifier. Kemudian diukur

masing-masing absorbansinya pada 520 nm dan diplotkan kurvanya untuk memperoleh persamaan garisnya (Aschida *et al.*, 2015).

Uji Stabilitas Karotenoid

1. Stabilitas pH

Sebanyak 0,5 mL ekstrak buah mentawak terkonsentrasi dimasukkan ke dalam 6 tabung reaksi. Tabung reaksi pertama ditambahkan dengan larutan kalium klorida (0,025 M) pH 1, tabung reaksi kedua ditambahkan dengan kalium klorida (0,025 M) pH 3, tabung reaksi ketiga ditambahkan dengan buffer asetat (0,4 M) pH 5 tabung reaksi keempat ditambahkan dengan buffer asetat (0,4 M) pH 7, tabung reaksi kelima ditambahkan dengan buffer asetat (0,4 M) pH 9 dan tabung reaksi keenam ditambahkan dengan buffer asetat (0,4 M) pH 11 sehingga setiap volume setiap tabung menjadi 5 mL. Kemudian spektra diamati menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 520 nm sebagai panjang gelombang maksimum.

2. Stabilitas Suhu

Sebanyak 5 mL ekstrak buah mentawak dimasukkan ke dalam Erlenmeyer dan diencerkan dengan larutan kalium klorida (0,025 M) pH 1 hingga volume 200 mL diaduk dengan pengaduk sampai homogen. Campuran larutan dimasukkan ke dalam botol gelap dengan masing-masing volume 50 mL kemudian dipanaskan pada 40 °C 60 °C, 80 °C, dan 100 °C selama 1 jam sambil disuling. Absorbansi diukur pada panjang gelombang 520 nm.

3. Stabilitas UV-Vis

Ekstrak buah mentawak pekat sebanyak 1,25 mL dimasukkan ke dalam Erlenmeyer dan diencerkan dengan larutan kalium klorida (0,025 M) pH 1 hingga volumenya mencapai 50 mL sambil diaduk dengan pengaduk sampai homogen. Campuran larutan dimasukkan ke dalam botol bening kemudian diiradiasi dengan sinar UV dalam wadah kaca tertutup selama 5 jam sambil diaduk. Pengukuran absorbansi dilakukan sekali setiap 1 jam pada panjang gelombang 520 nm.

4. Stabilitas Sinar Matahari

Ekstrak buah mentawak pekat sebanyak 1,25 mL dimasukkan ke dalam Erlenmeyer dan diencerkan dengan larutan kalium klorida (0,025 M) pH 1 hingga volumenya mencapai 50 mL sambil diaduk dengan pengaduk sampai homogen. Campuran larutan dimasukkan ke dalam botol bening kemudian diiradiasi dengan sinar matahari selama 5 jam sambil diaduk. Pengukuran absorbansi dilakukan sekali setiap 1 jam pada panjang gelombang 520 nm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ekstraksi Buah Entawak

Pigmen karotenoid yang akan dienkapsulasi diperoleh dari hasil ekstraksi pigmen karotenoid dari buah entawak yang sudah matang. Adanya karotenoid dibuktikan oleh warna kuning pada lapisan atas. Lapisan atas kemudian dievaporasi untuk menghilangkan pelarut sehingga diperoleh ekstrak yang lebih kental. Ekstrak kental ini kemudian mengandung pigmen karotenoid yang siap dienkapsulasi, ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Ekstrak buah entawak

Pengaruh pH Terhadap Kadar Karotenoid Enkapsulat

Pada Tabel 1. dapat dilihat kadar karotenoid pada pH 1;3;5;7;9; dan 11 masing-masing adalah 2,29 mg/L; 1,20 mg/L; 3,04 mg/L; 2,16 mg/L; 9,51 mg/L; dan 10,97 mg/L.

Tabel 1. Pengaruh pH terhadap kadar karotenoid enkapsulat

pH	Kadar (mg/L)
1	2,29
3	1,20
5	3,04
7	2,16
9	9,51
11	10,97

Penurunan kadar karotenoid dalam setiap pH berbeda – beda. Penurunan kadar dari pH 1 ke pH 3 cukup banyak yaitu sebesar 1,09. Akan tetapi, terjadi peningkatan kadar pada pH 5 sedikit lebih besar dari pada pH 1 yaitu 0,75. Hasil ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh pH terhadap kadar karotenoid

Berdasarkan uji Spearman's dari data Tabel 1 diperoleh nilai signifikansi $0,111 > 0,05$ yang artinya tidak terdapat pengaruh kadar karotenoid terhadap pH. Karotenoid bekerja paling baik dalam pH di atas 7 dan mempunyai stabilitas pH yang baik pada pH tinggi (*Indriyani et al.*, 2018). Hal ini juga sejalan dengan penelitian yang pernah dilakukan dimana pada jus wortel segar dengan pH 6,07 menghasilkan penurunan total karotenoid sebesar 26% pada kondisi netral dan sedikit basa (pH 7 dan 8) memberikan peningkatan total karotenoid (*Chandra et al.*, 2021).

Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Karotenoid Enkapsulat

Hasil uji karotenoid enkapsulat terhadap perlakuan panas yaitu suhu 40°C , 60°C , 80°C dan 100°C , diperoleh kadar karotenoid yang terenkapsulat masing-masing sebesar 4,61 mg/L, 5,36 mg/L, 6,23 mg/L dan 4,58 mg/L. Pengaruh suhu terhadap kadar karotenoid enkapsulat ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengaruh suhu terhadap kadar karotenoid enkapsulat

Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Kadar (mg/L)
40	4,61
60	5,36
80	6,23
100	4,58

Berdasarkan uji Spearman's dari data Tabel 2 diperoleh nilai signifikansi $0,871 < 0,05$ artinya tidak ada hubungan yang signifikan antara kadar karotenoid terhadap suhu. Hasil ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Karotenoid Enkapsulat

Kenaikan suhu mengakibatkan penurunan kadar pigmen karotenoid. Pola penurunan kadar karotenoid dari setiap suhu memiliki menunjukkan bahwa peningkatan suhu menyebabkan semakin besarnya jumlah pigmen yang terdegradasi. Penurunan konsentrasi

enkapsulat juga dapat dilihat dari warna enkapsulat yang semakin memucat dan akhirnya berwarna putih seperti warna penyalut maltodekstrin (Sirojuddin *et al.*, 2015). Karotenoid juga memiliki karakteristik yang cenderung lebih stabil pada suhu yang lebih rendah. Kenaikan suhu dapat menurunkan kandungan karotenoid. Karotenoid akan mudah mengalami degradasi pada suhu yang lebih tinggi karena akan mengakibatkan terjadinya degradasi akibat panas (thermal degradation). Adanya panas dan oksidasi akan mengakibatkan reaksi pemutusan pada ikatan rangkap terkojugasi pada molekul karotenoid yang mengakibatkan penurunan aktivitas dan degradasi karotenoid (Indriyani *et al.*, 2018).

Pengaruh Sinar Matahari Terhadap Kadar Karotenoid Enkapsulat

Pada Tabel 3. dapat dilihat bahwa hasil pengukuran kadar karotenoid semakin meningkat dengan bertambahnya waktu paparan menggunakan sinar matahari. Dimana pada waktu paparan 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam dan 5 jam masing kadar karotenoid yang terenkapsulasi sebesar 3,19 mg/L, 3,39 mg/L, 8,04 mg/L, 8,02 mg/L dan 8,39 mg/L.

Tabel 3. Pengaruh sinar matahari terhadap kadar karotenoid enkapsulat

Waktu (Jam)	Kadar (mg/L)
1	3,19
2	3,39
3	8,04
4	8,02
5	8,39

Dari data Tabel 3. Berdasarkan uji Spearman's diperoleh nilai signifikansi $0,047 < 0,05$ artinya ada hubungan yang signifikan antara kadar karotenoid terhadap sinar matahari. Hasil ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh sinar matahari terhadap kadar karotenoid enkapsulat

Sintesis karotenoid dihambat oleh paparan cahaya dengan intensitas yang kuat sehingga menyebabkan berkurangnya akumulasi kandungan karotenoid. (Yue *et al.*, 2021).
<http://dx.doi.org/10.23960%2Faec.v8i01.2023.p77-87>
Anal. Environ. Chem.

Peningkatan intensitas cahaya menyebabkan peningkatan akumulasi senyawa karotenoid dan fenolik, dimana menunjukkan bahwa paparan cahaya tinggi intensitas menyebabkan akumulasi elektron dalam rantai transpor elektron, dengan reduksi dalam aktivitas fotosintesis (Faraloni *et al.*, 2021).

Pengaruh Sinar UV-Vis Terhadap Kadar Karotenoid Enkapsulat

Pada Tabel 4. dapat dilihat bahwa hasil pengukuran kadar karotenoid semakin menurun dengan bertambahnya waktu paparan sinar UV-Vis. Pengukuran pengaruh sinar UV-Vis dilakukan dalam wadah kaca tertutup dan disinari dengan lampu polikromatis dan UV-C. Dimana pada waktu paparan 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam dan 5 jam masing-masing kadar karotenoid yang terenkapsulasi sebesar 1,88 mg/L, 1,74 mg/L, 1,37 mg/L, 0,42 mg/L dan 0,16 mg/L

Tabel 4. Pengaruh sinar UV-Vis terhadap kadar karotenoid enkapsulat

Waktu (Jam)	Kadar (mg/L)
1	1,88
2	1,74
3	1,37
4	0,42

Berdasarkan uji Spearman's diperoleh nilai signifikansi $0,008 < 0,05$ artinya ada hubungan yang signifikan antara kadar karotenoid terhadap sinar matahari. Hasil di tampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh sinar UV-Vis terhadap kadar karotenoid enkapsulat

Panjang gelombang UV-C merupakan panjang gelombang paling pendek dibandingkan UV lainnya, yaitu berkisar antara 100-280 nm. Panjang gelombang pendek dari UV-C menyebabkan cahaya ini memiliki energi yang lebih besar sehingga mempercepat proses degradasi pigmen. Sedangkan cahaya polikromatis adalah cahaya yang terdiri dari banyak

warna dan panjang gelombang berkisar antara 380-750 nm dengan energi yang lebih kecil (Alen & , Fitria Lavita Agresa, 2017).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa pada uji stabilitas pengaruh sinar matahari diperoleh kadar karotenoid semakin meningkat dengan bertambahnya waktu paparan. Berdasarkan uji statistic menggunakan uji korelasi diperoleh nilai signifikansi (p) $0,047 < 0,05$ artinya ada hubungan yang signifikan antara kadar karotenoid terhadap sinar matahari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kelompok Riset Jurusan Teknologi Laboratorium Medis Poltekkes Pontianak.

DAFTAR PUSTAKA

- Alen, Y., & , Fitria Lavita Agresa, & Y. Y. (2017). Analisis Kromatografi Lapis Tipis (KLT) dan Aktivitas Antihiperurisemia Ekstrak Rebung *Schizostachyum brachycladum* Kurz (Kurz) pada Mencit Putih Jantan Thin. *Jurnal Sains Farmasi Dan Klinis*, 3(1), 146–152. <https://doi.org/10.1109/TEST.2002.1041926>
- Aschida, C. J., Adhitiyawarman, & Destiarti, L. (2015). Enkapsulasi Dan Uji Stabilitas Pigmen Karotenoid Dari Buah Tomat Yang Tersalut Carboxy Methyl Cellulose (Cmc). *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 3(2), 44–49. <http://jurnal.untan.ac.id/index.php/jkkmipa/article/view/8797>
- BPTP Kalbar. (2019). Laporan Tahunan. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian: Kalimantan Barat.
- Chandra, R. D., Prihastyanti, M. N. U., & Lukitasari, D. M. (2021). Effects of pH, High Pressure Processing, and Ultraviolet Light on Carotenoids, Chlorophylls, and Anthocyanins of Fresh Fruit and Vegetable Juices. *EFood*, 2(3), 113–124. <https://doi.org/10.2991/efood.k.210630.001>
- de Boer, F. Y., Imhof, A., & Velikov, K. P. (2019). Encapsulation of colorants by natural polymers for food applications. *Coloration Technology*, 135(3), 183–194. <https://doi.org/10.1111/cote.12393>
- Departemen Kesehatan Republik Indonesia. (2007). *Kebijakan Obat Tradisional Nasional*. Jakarta: Departemen Kesehatan Republik Indonesia.
- Faraloni, C., Di Lorenzo, T., & Bonetti, A. (2021). Impact of light stress on the synthesis of <http://dx.doi.org/10.23960%2Faec.v8i01.2023.p77-87> *Anal. Environ. Chem.*

- both antioxidants polyphenols and carotenoids, as fast photoprotective response in *chlamydomonas reinhardtii*: New prospective for biotechnological potential of this microalga. *Symmetry*, 13(11), 11-19. <https://doi.org/10.3390/sym13112220>
- Fuenmayor, C. A., Baron-Cangrejo, O. G., & Salgado-Rivera, P. A. (2021). Encapsulation of Carotenoids as Food Colorants via Formation of Cyclodextrin Inclusion Complexes: A Review. *Polysaccharides*, 2(2), 454–476. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides2020028>
- Indriyani, N. M. D., Wartini, N. M., & Suwariani, N. P. (2018). Stabilitas Karotenoid Ekstrak Pewarna Buah Pandan (*Pandanus tectorius*) Pada Suhu dan pH Awal Penyimpanan. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 6(3), 211. <https://doi.org/10.24843/jrma.2018.v06.i03.p04>
- Jurić, S., Jurić, M., Król-Kilińska, Ż., Vlahoviček-Kahlina, K., Vinceković, M., Dragović-Uzelac, V., & Donsi, F. (2022). Sources, stability, encapsulation and application of natural pigments in foods. *Food Reviews International*, 38(8), 1735–1790. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1837862>
- Maleta, H. S., Indrawati, R., Limantara, L., Hardo, T., & Brotosudarmo, P. (2018). Ragam Metode Ekstraksi Karotenoid dari Sumber Tumbuhan dalam Dekade Terakhir (Telaah Literatur) Various Carotenoid Extraction Methods from Sources of Plants in Recent Decade (Review Paper). *Jurnal Rekayasa Kimia Dan Lingkungan*, 13(1), 20-28.
- Santoso, B. D., Ananingsih, V. K., Soedarini, B., & Stephanie, J. (2020). Pengaruh Variasi Maltodekstrin dan Kecepatan Homogenisasi Terhadap Karakteristik Fisikokimia Enkapsulat Butter Pala (*Myristica fragrans* Houtt) Dengan Metode Vacuum Drying. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 13(2), 94. <https://doi.org/10.20961/jthp.v13i2.43576>
- Sirojuddin, Adhitiyawarman, & Destiarti, L. (2015). Fotostabilitas dan Termostabilitas Pigmen Buah Tomat (*Solanum lycopersicum* L.) Hasil Enkapsulasi Menggunakan Maltodekstrin. *Jkk*, 3(2), 44–49.
- Wahyuni, F. D., Shalihah, I. M., & Nurtiana, W. (2020). Carotenoids As Natural Colorant : a Review. *Food ScienTech Journal*, 2(2), 94. <https://doi.org/10.33512/fsj.v2i2.9940>
- Yue, C., Wang, Z., & Yang, P. (2021). Review: the effect of light on the key pigment compounds of photosensitive etiolated tea plant. *Botanical Studies*, 62(1), 25. <https://doi.org/10.1186/s40529-021-00329-2>