

Sintesis dan aplikasi nanoemulsi betalain kulit buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) sebagai pewarna alami pada produk es krim

*Synthesis and application of betalain nanoemulsion from red dragon fruit peel (*Hylocereus polyrhizus*) as natural colorant in ice cream products*

Cahyaning Rini Utami^{1*}, Qodhrul Izza Irdianis Ifadah¹

¹ Universitas Yudharta Pasuruan

*Email korespondensi: rini@yudharta.ac.id

Informasi artikel:

Dikirim: 21/08/2025; disetujui: 15/09/2025; diterbitkan: 30/09/2025

ABSTRACT

*Betalains are promising natural colorants, yet their stability often poses challenges. This study employed Deep Eutectic Solvent (DES)-based extraction coupled with nanoemulsion formulation to enhance the stability and performance of betalains from red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel for application in ice cream. A completely randomized design with one factor and three replicates was used. Responses measured included betalain content, pH, droplet size, color coordinates (L^* , a^* , b^*), antioxidant activity, and sensory attributes (aroma, color, texture, taste). Increasing extract concentration significantly affected most responses, generally intensifying redness and antioxidant capacity while maintaining desirable physicochemical characteristics. Based on the effectiveness index, formulation F5 (12 mL extract) showed the most favorable overall performance, delivering the highest antioxidant activity, superior physicochemical properties (stable nano-scale droplets, appropriate pH, vivid color), and the greatest sensory acceptance. These results demonstrate that DES-based betalain nanoemulsions are effective natural colorants for ice cream, with F5 recommended as the optimal formulation.*

Keywords: red dragon fruit, Deep Eutectic Solvent, nanoemulsion, betalain extract

ABSTRAK

Betalain berpotensi sebagai pewarna alami, namun stabilitasnya kerap menjadi tantangan. Penelitian ini memanfaatkan ekstraksi berbasis *Deep Eutectic Solvent* (DES) dan formulasi nanoemulsi untuk meningkatkan stabilitas dan performa betalain dari kulit buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) pada produk es krim. Rancangan penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap satu faktor dengan tiga ulangan. Parameter yang diuji meliputi kadar betalain, pH, ukuran droplet, warna (L^* , a^* , b^*), aktivitas antioksidan, serta uji sensoris (aroma, warna, tekstur, rasa). Hasil menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi ekstrak berpengaruh nyata terhadap sebagian besar parameter, dengan kecenderungan memperkuat intensitas warna merah dan kapasitas antioksidan sambil menjaga karakteristik fisikokimia pada kisaran yang diinginkan. Berdasarkan indeks efektivitas, formulasi F5 (12 mL ekstrak) memberikan kinerja paling unggul, menunjukkan aktivitas antioksidan tertinggi, karakteristik fisikokimia terbaik (ukuran droplet pada skala nano yang stabil, pH sesuai, dan warna cerah), serta tingkat penerimaan sensoris tertinggi oleh panelis. Temuan ini menegaskan bahwa nanoemulsi betalain berbasis DES efektif digunakan sebagai pewarna alami pada es krim, dengan F5 direkomendasikan sebagai formulasi optimum.

Kata kunci: buah naga merah, pelarut deep eutetic, nanoemulsi, ekstrak betalain

PENDAHULUAN

Pewarna alami semakin diminati dalam industri makanan, termasuk es krim, sebagai alternatif yang lebih aman dibandingkan dengan pewarna sintetis. Salah satu sumber pewarna alami yang menjanjikan adalah betalain, pigmen yang ditemukan dalam kulit buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*). Betalain memiliki potensi sebagai pewarna alami yang menarik, namun stabilitasnya dalam formulasi makanan, seperti es krim, sering kali menjadi tantangan. Perlu adanya modifikasi dalam hal ekstraksi dan sintesis pigmen. Keunggulan betalain sebagai pewarna alami merupakan solusi untuk mengurangi penggunaan pewarna sintetis yang berbahaya (Rahimi *et al.*, 2019).

Dalam pembuatan es krim, penggunaan pewarna alami tidak hanya memberikan nilai estetika tetapi juga meningkatkan daya tarik konsumen. Namun, banyak pewarna alami, termasuk betalain, memiliki stabilitas yang rendah, terutama dalam kondisi suhu rendah dan lingkungan asam yang umum ditemukan dalam produk es krim. Betasianin sensitif terhadap cahaya, mudah terdegradasi, menyebabkan penurunan intensitas warna dan stabilitasnya, sehingga tidak ideal untuk aplikasi jangka panjang (Fauziah & Suryani, 2024). Untuk mengatasi masalah ini, nanoemulsi dapat digunakan untuk meningkatkan stabilitas dan bioavailabilitas pigmen betalain. Nanoemulsi adalah sistem dispersi yang dapat meningkatkan kelarutan dan stabilitas senyawa bioaktif, sehingga memungkinkan penggunaan betalain dalam produk es krim dengan lebih efektif. Prinsip pembuatan nanoemulsi melibatkan emulsi stabil dalam fase cair dan minyak, sehingga membutuhkan bahan lain seperti surfaktan, kosurfaktan, serta fase cair dan minyak yang jenis dan bahannya sesuai dengan penelitian Redhita *et al.* (2022).

Salah satu pendekatan yang inovatif dalam ekstraksi betalain adalah penggunaan pelarut *Deep Eutectic Solvent* (DES), yang dikenal sebagai pelarut ramah lingkungan. Metode ini menawarkan keuntungan dibandingkan dengan pelarut konvensional

seperti etanol, yang sering digunakan dalam ekstraksi pigmen. Kelemahan penggunaan etanol sebagai pelarut ekstrak bioaktif pada pangan adalah sifatnya yang dapat meninggalkan residu serta menurunkan keamanan konsumsi jika tidak dilakukan proses penghilangan secara optimal (Utomo & Rizkiyah, 2020; Swasono *et al.*, 2022). Ekstraksi betalain dilakukan menggunakan metode *shaking water bath* dengan menggunakan pelarut DES dan etanol sebagai tahap studi pendahuluan untuk memilih pelarut ekstraksi paling efektif. Pelarut DES memiliki keunggulan dalam meningkatkan hasil ekstraksi, sehingga diharapkan dapat diperoleh ekstrak betalain yang lebih berkualitas dan ramah lingkungan yang dapat diaplikasikan dalam pembuatan nanoemulsi (Beyza *et al.*, 2024).

Meskipun terdapat beberapa penelitian mengenai ekstraksi betalain dari kulit buah naga merah, penelitian yang mengubah ekstrak tersebut menjadi bentuk nanoemulsi masih jarang dilakukan. Terlebih lagi, penelitian yang menggunakan pelarut DES dalam proses ekstraksi dan metode nanoemulsi untuk aplikasi dalam produk es krim belum banyak diteliti. Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa nanoekstrak betalain dari sumber bahan lain telah dilakukan dengan teknik nanoenkapsulasi (Figuroa-Enriquez *et al.*, 2023) dan nanoemulsi (Mohammed *et al.*, 2021), namun belum ada yang mengkaji secara spesifik penggunaan kulit buah naga merah. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pengkajian pengaruh ekstrak betalain dari kulit buah naga merah dalam formulasi pembuatan nanoemulsi, serta karakteristik fisiko-kimia dan sensoris dari es krim yang dihasilkan.

Penelitian ini diawali dengan studi pendahuluan yang membandingkan pelarut DES dan etanol menggunakan *shaking water bath* untuk menyeleksi pelarut ekstraksi paling efektif; berdasarkan hasil *screening* tersebut dan dukungan literatur, DES dipilih sebagai pelarut utama yang lebih ramah lingkungan dan mendukung kestabilan serta bioavailabilitas betalain (Beyza *et al.*, 2024).

Penelitian ini bertujuan untuk menemukan formulasi terbaik dengan variasi penambahan ekstrak pigmen betalain terhadap karakteristik fisikokimia nanoemulsi. Karakteristik fisikokimia nanoemulsi diukur berdasarkan uji fisik (viskositas, warna), kimia (pH, PSA, antioksidan), dan organoleptik pada es krim (warna, rasa, tekstur, aroma) untuk menentukan formulasi mana yang paling optimal berdasarkan hasil karakterisasi fisikokimia dan sensoris.

METODE

Bahan

Bahan yang digunakan meliputi kulit buah naga merah yang diperoleh dari Pasar Sukorejo, Pasuruan; akuades; serta bahan kimia pro-analisis: kolin klorida ($\geq 98\%$, Himedia), asam malat (p.a.), propilen glikol (p.a.), Tween 80 (p.a.), etanol 96% (*analytical grade*), dan larutan penyangga (buffer) untuk kebutuhan pengujian. Minyak zaitun digunakan dengan mutu pangan (*food grade*). Untuk formulasi, digunakan basis es krim komersial yang umumnya berisi padatan susu non-lemak, lemak susu/nabati, gula,

penstabil, dan pengemulsi. Komposisi tipikal: lemak 4–8% (b/b), gula 12–16% (b/b), dan padatan non-lemak susu 8–12% (b/b); seluruh bahan digunakan apa adanya tanpa pemurnian.

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian adalah botol ukuran 100 ml, kertas saring (Whatman 42), pH meter (Hanna), thermometer suhu (GEA), batang pengaduk, pipet tetes, gelas ukur (Iwaki), beaker glass (Iwaki) 100, erlenmeyer (Iwaki), hot plate (SH 2), magnetic stirrer, neraca analitik (Joanlab), waterbath, particle size analyzer (Shimadzu tipe SALD-7500), colorflex EZ (Hunterlab), dan spektrofotometer UV-Vis (B-ONE model UV-Vis 100 DA-X Spektrofotometer).

Metode/ pelaksanaan

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimental dengan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktorial dan 3 kali pengulangan dengan formulasi nanoemulsi (penambahan ekstrak betalain kulit buah naga merah) tersaji Tabel 1.

Tabel 1. Formulasi bahan nanoemulsi betalain dari kulit buah naga merah

Bahan	Kegunaan	Formulasi				
		F1	F2	F3	F4	F5
Ekstrak Betalain Kulit Buah Naga Merah (ml)	Zat Aktif	0	3	6	9	12
Minyak Zaitun (ml)	Fase Minyak	4	4	4	4	4
Tween80 (ml)	Surfaktan	7	7	7	7	7
Propilenglikol (ml)	Kosurfaktan	5	5	5	5	5
Akuades (ml)	Fase Air	100	100	100	100	100

Tahapan penelitian

Penelitian yang dilakukan terdiri dari beberapa bagian, yaitu ekstraksi betalain kulit buah naga merah, formulasi nanoemulsi ekstrak betalain kulit buah naga merah, analisa karakteristik fisikokimia nanoemulsi ekstrak betalain kulit buah naga merah dan uji organoleptik untuk aplikasi ekstrak betalain kulit buah naga merah sebagai pewarna pada es krim.

Persiapan pembuatan pelarut DES (*Deep Eutectic Solvents*)

DES yang digunakan yaitu campuran kolin klorida dan asam malat. Proses pembuatan DES dilakukan dengan langkah pertama yaitu pencampuran bahan, asam malat yang dicampur dengan kolin klorida dalam proporsi molar 1:1 (Benvenuti *et al.*, 2022). Kemudian campuran tersebut dimasukkan ke dalam flask tertutup dan diaduk pada suhu 80°C sambil diaduk hingga

terbentuk pelarut homogen dan transparan. Untuk menurunkan viskositas DES, campuran ini kemudian diencerkan dengan air, sehingga memudahkan penanganan dan meningkatkan laju pelarutan. Pelarut diencerkan dengan air suling pada konsentrasi 5-55% untuk mengurangi viskositas (Beyza *et al.*, 2024).

Ekstraksi betalain kulit buah naga Merah

Proses ekstraksi menggunakan *waterbath* dimulai dengan menyiapkan bahan yang akan diekstraksi, seperti potongan kulit buah naga merah yang dicampurkan dengan *Deep Eutectic Solvent* (DES) dan etanol sebagai pembanding pada rasio padatan sampel kulit buah naga terhadap cairan yang sesuai (1:30 g/mL) (Beyza *et al.*, 2024). Untuk menghasilkan formulasi ekstraksi yang pas. Campuran tersebut kemudian ditempatkan dalam *waterbath* pada suhu 50°C, dan dibiarkan selama 3 jam. Selama pemanasan, pengadukan dapat dilakukan untuk meningkatkan kontak antara bahan dan pelarut. Setelah waktu ekstraksi selesai, cairan dipisahkan dari massa padat menggunakan filtrasi dengan kertas saring Whatman ukuran 42. Cairan yang diperoleh sudah menjadi ekstrak betalain kulit buah naga.

Uji kadar betalain

Uji kadar betalain ekstrak dilakukan dengan menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis, di mana absorbansi ekstrak diukur pada panjang gelombang tertentu, yaitu 537 nm untuk betasianin dan 500 nm untuk betasantin. Total kandungan betalain dihitung menggunakan rumus yang melibatkan absorbansi, faktor pengenceran, dan berat molekul dari masing-masing pigmen. Hasil pengukuran ini memberikan informasi tentang konsentrasi betalain dalam ekstrak, yang dapat dibandingkan antara berbagai metode ekstraksi atau formulasi pelarut yang digunakan. Menurut Prieto-Santiago *et al.* (2020) penentuan kadar betalain menggunakan rumus berikut:

$$BC = \frac{AxDFxMWx1000}{exl}$$

Keterangan:

- BC = Kandungan betalain (%)
- A = Absorbansi sampel
- DF = Faktor pengenceran
- MW = Berat molekul (g/mol)
- e = koefisien ekstinsi
- l = tebal kuvet (mm)

Formulasi nanoemulsi betalain kulit buah naga merah

Formula nanoemulsi terdiri dari ekstrak betalain kulit buah naga merah, *tween* 80, propilenglikol, minyak zaitun dan akuades dengan variasi ekstrak betalain kulit buah naga merah sebagai bahan aktif dari formula F1, F2, F3, F4, F5 pada Tabel 1. Pembuatan formulasi nanoemulsi menggunakan metode emulsifikasi spontan. Diawali dengan mencampurkan ekstrak betalain kulit buah naga merah dengan fase minyak ke dalam *beaker glass*, diaduk menggunakan magnetik stirrer selama 10 menit dengan suhu 50°C dan kecepatan 500 rpm, setelah itu ditambahkan kosurfaktan dan diaduk selama 5 menit dengan kecepatan 500 rpm, kemudian surfaktan ditambahkan dengan kecepatan menjadi 700 rpm dan diaduk selama 10 menit. Dilanjut dengan penambahan fase air dan diaduk selama 10 menit dengan kecepatan 700 rpm, suhu dimatikan namun masih tetap diaduk selama 10 menit dengan kecepatan yang sama (Wulansari *et al.*, 2019).

Analisa fisikokimia nanoemulsi betalain kulit buah naga merah

Hasil nanoemulsi diuji untuk mengetahui sifat fisik dan kimia dari hasil variasi formula. Uji yang akan dilakukan yaitu uji pH dilakukan dengan menggunakan pH meter, uji pengukuran butiran dilakukan dengan *PSA (Particle Size Analyzer)*, uji warna dilakukan dengan alat *colorflex EZ*, dan uji aktivitas antioksidan menggunakan metode DPPH.

Uji organoleptik aplikasi nanoemulsi betalain pada produk es krim

Sampel nanoemulsi dengan variasi formula diuji organoleptik terhadap aplikasi pada produk es krim, untuk mengetahui tingkat kesukaan dan penilaian panelis terhadap warna, aroma, dan rasa. Penilaian ditunjukkan dengan penilaian angka dengan skala 1-5 yaitu: (1) sangat tidak suka, (2) tidak suka, (3) sedikit suka, (4) suka, (5) sangat suka. Uji organoleptik ini bertujuan untuk mendapatkan formula terbaik berdasarkan penilaian panelis. Uji organoleptik dilakukan dengan jumlah 25 panelis.

Analisa data

Metode penelitian ini menggunakan formulasi konsentrasi ekstrak betalain sebanyak 5 variasi 0, 3, 6, 9, 12 ml. Data yang diperoleh dari uji kadar betalain dan data sifat fisik kimia dilakukan dengan analisis statistik memanfaatkan *Analysis of Varians* (ANOVA)

dengan tingkat kepercayaan ($\alpha=0,05$). Dilanjutkan dengan uji tukey dengan minitab release 21. Uji organoleptik pada es krim menggunakan uji friedman dengan taraf signifikansi 5%. Perlakuan terbaik terhadap analisis fisikokimia dan uji organoleptik ditentukan oleh analisis menggunakan uji indeks De Garmo termodifikasi Susrini (Solichah *et al.*, 2023).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar betalain pada ekstrak kulit buah naga

Uji betalain dilakukan untuk mengetahui kualitas hasil ekstraksi betalain pada kulit buah naga merah menggunakan perbandingan pelarut DES yaitu kolin dan asam malat DES dan dibandingkan dengan etanol. Hasil yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kadar betalain hasil ekstraksi menggunakan pelarut DES dan etanol

Sampel	DES (<i>Deep Eutectic Solvents</i>)	Ethanol	Ket
Ekstrak Betalain Kulit Buah Naga Merah	330,0 $\mu\text{g/L}$	73,3 $\mu\text{g/L}$	+

Keterangan:

+: Mengandung Betalain

Mekanisme kerja DES dalam ekstraksi betalain sangat bergantung pada kemampuannya membentuk ikatan hidrogen dengan molekul betalain. Senyawa betalain memiliki gugus-gugus polar seperti hidroksil ($-\text{OH}$), karboksil ($-\text{COOH}$), dan amina ($-\text{NH}_2$) (Arviani *et al.*, 2024). Gugus-gugus ini memungkinkan betalain untuk berinteraksi secara kuat dengan komponen dalam DES melalui pembentukan ikatan hidrogen. Interaksi ini dimungkinkan tidak hanya membantu pelarutan betalain ke dalam pelarut, tetapi juga memberikan efek stabilisasi terhadap struktur kimia betalain yang sensitif terhadap perubahan suhu, cahaya, dan pH. Pada penelitian (Gao *et al.*, 2024) menunjukkan bahwa hasil ekstraksi menggunakan DES mencapai $1\,985 \pm 92 \mu\text{g/g}$, sedangkan dengan etanol

hanya sebesar $1\,235 \pm 102 \mu\text{g/g}$ ($p < 0,05$). Hal tersebut menunjukkan bahwa DES memiliki efisiensi ekstraksi yang lebih unggul secara statistik.

Sebagai konsekuensinya, ekstrak berbasis DES dipilih untuk tahap sintesis nanoemulsi dan formulasi es krim karena memberikan rendemen jauh lebih tinggi dibanding etanol ($330,0$ vs $73,3 \mu\text{g/L}$) sekaligus menjaga integritas gugus polar betalain selama proses. Dalam sistem nanoemulsi, sisa DES yang hidrofilik berperan sebagai kosolven yang meningkatkan kelarutan awal pigmen dan memfasilitasi pembentukan antarmuka yang stabil bersama surfaktan pangan (Kaba *et al.*, 2024), sehingga ukuran droplet cenderung lebih kecil, distribusi warna lebih homogen, serta ketahanan terhadap siklus beku-cair dan

perubahan pH pada matriks es krim meningkat. Di sisi keberlanjutan, penggunaan DES menurunkan ketergantungan pada pelarut organik volatil; residu pelarut dapat diminimalkan melalui penguapan vakum atau pengenceran sebelum proses emulsifikasi, sehingga lebih selaras dengan praktik “*green extraction*” untuk aplikasi pangan. DES banyak dilaporkan sebagai pelarut *green* berkomponen *biodegradable* dengan volatilitas rendah dan kemampuan mengekstrak metabolit polar, sehingga relevan untuk formulasi pangan dan sistem

nanoemulsi

Nilai pH

Uji pH dilakukan untuk mengetahui tingkat keasaman formula yang dihasilkan dari penambahan ekstrak betalain. Berdasarkan hasil uji statistik *Analysis of Variance* (ANOVA) menunjukkan bahwa terdapat pengaruh beda nyata terhadap nilai pH dalam formulasi nanoemulsi betalain kulit buah naga. Rerata nilai pH dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Nilai pH nanoemulsi betalain kulit buah naga merah

No.	Formula	Konsentrasi ekstrak betalain (ml)	Nilai pH
1	F1	0	4,70 ± 0,10 ^a
2	F2	3	4,46 ± 0,11 ^{ab}
3	F3	6	4,46 ± 0,11 ^{ab}
4	F4	9	4,30 ± 0,20 ^b
5	F5	12	4,26 ± 0,11 ^b

Pada tabel diatas, nilai pH pada formulasi nanoemulsi menunjukkan perbedaan yang nyata. Nilai pH yang optimal untuk nanoemulsi pewarna berada pada kisaran 4, 5-6,5 (Lestario *et al.*, 2024). Hasil yang ditunjukkan pada tabel tersebut menyatakan bahwa formula nanoemulsi betalain kulit buah naga merah telah mencapai ukuran pH yang diinginkan. Pada hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi ekstrak betalain, maka semakin rendah nilai pH. Hal tersebut dikarenakan senyawa betalain memiliki sifat asam, jadi semakin banyak ekstrak betalain yang dicampurkan, maka semakin asam pH nanoemulsi tersebut. Selain dikarenakan oleh senyawa betalain, bahan lain seperti surfaktan, kosurfaktan, dan fase minyak juga dapat memicu keasaman formulasi nanoemulsi yang dihasilkan. Pernyataan ini sesuai dengan penelitian (Calva-Estrada *et al.*, 2022). Nilai pH yang dihasilkan berkisar antara 4,70- 4,26 menunjukkan bahwa sistem nanoemulsi berada pada lingkup asam ringan yang kondusif bagi kestabilan betalain. Nilai pH tersebut juga menunjukkan bahwa interaksi antara surfaktan, kosurfaktan dan

senyawa betalain tetap stabil, sehingga potensi terjadinya kerusakan fisik relatif rendah (Lestario *et al.*, 2024).

Ukuran droplet

Tujuan dilakukan uji ukuran droplet untuk mengetahui ukuran rata-rata suatu partikel dengan memanfaatkan hamburan inframerah. Metode dispersi ini memanfaatkan medium pendispersi untuk mencegah agregasi sampel (Utami *et al.*, 2025). Dalam formulasi nanoemulsi, ukuran partikel secara langsung mempengaruhi stabilitas fisik, bioavailabilitas dan fungsional dari nanoemulsi. Hasil uji PSA pada formula nanoemulsi ekstrak betalain kulit buah naga dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 menunjukkan hasil nanoemulsi betalain kulit buah naga merah bahwa ukuran droplet terkecil berada pada formula F1 sebesar 102,30 nm yang merupakan kontrol, tanpa penambahan ekstrak betalain. Sedangkan ukuran droplet terbesar berada pada formulasi F5 sebesar 117,40 nm dengan penambahan ekstrak 12ml. Menurut Redhita *et al.* (2022), ukuran droplet nanoemulsi umumnya berkisar antara 10-200 nanometer.

Kelima formula dengan variasi ekstrak betalain menunjukkan ukuran droplet dibawah 200 nanometer, sehingga formula tersebut memenuhi standart nanoemulsi. Nanoemulsi dengan pH sedikit lebih tinggi membuat peningkatan tolakan elektrostatis antar droplet, karena muatan negatif pada droplet meningkat. Hal tersebut mengurangi kemungkinan penggabungan droplet yang lebih besar, sehingga mempertahankan

ukuran droplet yang kecil. Peningkatan pH juga dapat mempengaruhi viskositas emulsi, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi proses dalam pembentukan droplet (Nasiro *et al.*, 2023). Perbedaan ukuran droplet dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain rasio surfaktan dan kosurfaktan, pengaruh bahan aktif, kecepatan pengadukan dan nilai viskositas bahan (Redhita *et al.* 2022)

Tabel 4 Nilai ukuran droplet nanoemulsi betalain kulit buah naga merah

No.	Formula	Konsentrasi ekstrak betalain (ml)	Rata-rata Nilai PSA (nm)
1	F1	0	102,30 ± 0,36 ^c
2	F2	3	107,50 ± 0,36 ^d
3	F3	6	110,23 ± 0,20 ^c
4	F4	9	113,43 ± 0,51 ^b
5	F5	12	117,40 ± 0,40 ^a

Hasil menunjukkan bahwa ada perbedaan yang signifikan dipengaruhi oleh konsentrasi ekstrak betalain. Menurut Fauziah dan Suryani (2024), umumnya senyawa bioaktif seperti betalain tidak mempengaruhi ukuran droplet, tapi kemungkinan interaksi antara betalain dan surfaktan yang menempel pada droplet minyak, sehingga mengubah struktur lapisan surfaktan di antarmuka. Interaksi ini dapat mengubah kepadatan dan fleksibilitas lapisan pelindung droplet yang dapat memicu ukuran dan kestabilan droplet, sehingga ukuran droplet nanoemulsi semakin besar.

Intensitas warna L, a*, b*

Uji warna memiliki tujuan untuk mengetahui perbedaan intensitas dan kestabilan warna pada masing-masing formula nanoemulsi betalain. Berdasarkan hasil uji ANOVA (*Analysis of Variance*) menunjukkan bahwa penambahan ekstrak betalain memberikan perubahan warna yang berpengaruh nyata pada sistem nanoemulsi, kecuali pada huruf group yang sama. Formula dengan konsentrasi ekstrak lebih tinggi cenderung menghasilkan warna yang lebih intens. Nilai dari intensitas warna L, a*, b* terdapat pada Tabel 5.

Tabel 5 Nilai intensitas warna nanoemulsi betalain kulit buah naga merah

No	Formula	Konsentrasi (ml)	Nilai Warna L	Nilai Warna a*	Nilai Warna b*
1	F1	0	66 ± 0,90 ^a	-2,7 ± 0,07 ^a	7,40 ± 0,02 ^c
2	F2	3	65 ± 0,210 ^a	16 ± 0,06 ^b	9,93 ± 0,04 ^d
3	F3	6	63 ± 0,215 ^b	20 ± 0,06 ^c	10,4 ± 0,06 ^c
4	F4	9	59 ± 0,27 ^c	25 ± 0,08 ^d	11,17 ± 0,08 ^b
5	F5	12	55 ± 0,80 ^d	30 ± 0,15 ^e	11,82 ± 0,07 ^a

Analisis L* digunakan untuk menilai kecerahan (0 = hitam, 100 = putih) (Nurjannah & Utami, 2022). Formulasi tanpa ekstrak (F1) menunjukkan kecerahan tertinggi (66 ± 0,90) dengan rona kuning

kehijauan, sedangkan penambahan 12 mL ekstrak (F5) menghasilkan L* terendah (55 ± 0,80) dengan warna merah-keunguan yang pekat. Pola ini menegaskan bahwa peningkatan konsentrasi ekstrak betalain

menurunkan kecerahan (L^*). Secara mekanistik, pH yang lebih sesuai dapat menekan degradasi betalain dan mempertahankan intensitas warna, sementara droplet nano yang kecil meningkatkan homogenitas dan penghamburan cahaya sehingga warna tampak lebih pekat (Redhita *et al.* 2022; Fatjria *et al.*, 2023).

Parameter a^* merepresentasikan sumbu hijau–merah (a^* negatif = hijau; a^* positif = merah) (Nurjannah & Utami, 2022). Nilai a^* meningkat tajam seiring kenaikan konsentrasi ekstrak: F5 (12 mL) mencapai puncak kemerahan ($30 \pm 0,15$), sedangkan F1 (tanpa ekstrak) bernilai $-2,7 \pm 0,07$ dan cenderung kehijauan. Kenaikan a^* pada kadar ekstrak lebih tinggi selaras dengan dominasi betasianin (fraksi merah) yang lebih besar dan stabilitas pigmen yang lebih baik dalam sistem nanoemulsi; sebaliknya, pada F1 rona kehijauan lebih tampak karena ketiadaan pigmen merah dan kontribusi fase minyak (Fatjria *et al.*, 2023). Stabilitas a^* juga dipengaruhi pH, kondisi terlalu rendah/terlalu tinggi mempercepat degradasi betalain dan menurunkan intensitas merah (Sinaga, 2019).

Parameter b^* menunjukkan sumbu biru–kuning (b^* negatif = biru; b^* positif = kuning) (Sinaga, 2019). Nilai b^* tertinggi diperoleh pada F5 ($11,82 \pm 0,07$) dan terendah pada F1 ($7,40 \pm 0,02$). Peningkatan b^* mencerminkan kontribusi komponen sistem (misal Tween 80, minyak zaitun) dan fraksi betaxantin (komponen kuning betalain) yang makin dominan pada konsentrasi ekstrak lebih tinggi (Wulansari *et al.*, 2019).

Rendahnya b^* pada F1 sejalan dengan minimnya pigmen, sehingga nuansa kuning relatif berkurang.

Hasil uji aktivitas antioksidan

Uji ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan formulasi nanoemulsi dalam menangkal radikal bebas. Pengujian ini menggunakan spektrofotometrik berdasarkan pengukuran senyawa antioksidan. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa seluruh formulasi yang mengandung ekstrak betalain menunjukkan aktivitas antioksidan, dengan tingkat yang bervariasi tergantung pada konsentrasi ekstrak, tersaji pada Tabel 6.

Hasil analisis aktivitas antioksidan menggunakan uji statistik ANOVA menunjukkan bahwa F1 hingga F5 yang memiliki pengaruh berbeda nyata. Nilai yang dihasilkan berkisar antara 10,25 hingga 17,21 ppm. Nilai IC_{50} ini menunjukkan konsentrasi sampel yang diperlukan untuk menghambat 50% radikal bebas DPPH, sehingga semakin rendah nilai IC_{50} mengindikasikan aktivitas antioksidan yang semakin tinggi. Nilai 50% merupakan tingkat penghambatan terhadap radikal bebas yang diukur dalam pengujian (Utami & Fauziah, 2024). Dari Tabel 6, formula F5 memiliki nilai IC_{50} terendah yaitu 10,25 ppm, yang berarti formula ini paling efektif dalam menangkal radikal bebas dibandingkan formula lainnya, sedangkan formula F1 memiliki nilai IC_{50} tertinggi yaitu 17,21 ppm, yang mengindikasikan aktivitas antioksidan terendah di antara kelima formula.

Tabel 6 Hasil uji aktivitas antioksidan nanoemulsi betalain kulit buah naga merah

No.	Formula	Konsentrasi (ml)	Rerata IC_{50} (ppm)
1	F1	0	$17,21 \pm 0,04^a$
2	F2	3	$16,16 \pm 0,07^b$
3	F3	6	$15,10 \pm 0,10^c$
4	F4	9	$13,11 \pm 0,06^d$
5	F5	12	$10,25 \pm 0,03^e$

Perbedaan aktivitas antioksidan ini dipengaruhi oleh komposisi dan konsentrasi bahan aktif antioksidan yang terdapat pada ekstrak betalain dalam masing-masing formula. F5 dengan konsentrasi ekstrak

betalain 12ml memiliki aktivitas paling tinggi dengan nilai $10,25 \pm 0,03$, sedangkan F1 menunjukkan nilai paling rendah yaitu 17,21 ppm, karena pada F1 atau kontrol tidak terdapat senyawa aktif yang berkontribusi

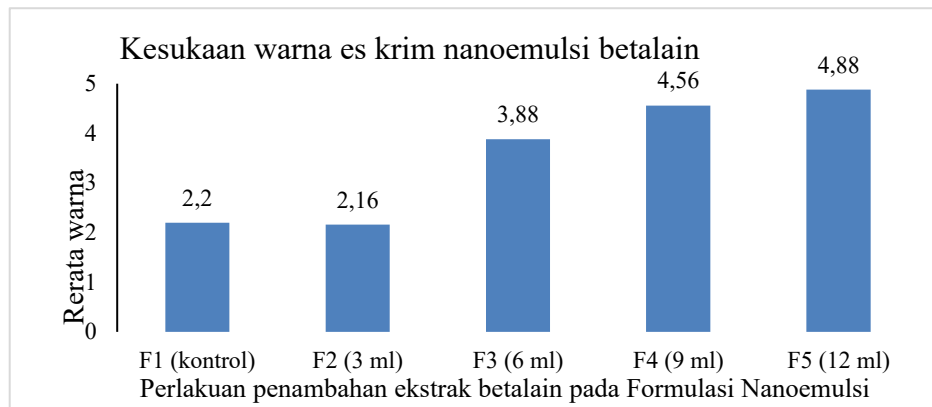
terhadap aktivitas antioksidan. Aktivitas antioksidan pada F1 berasal dari bahan lain yaitu minyak zaitun (Fauziah & Suryani, 2024). Hal tersebut menunjukkan bahwa F1 lemah akan menangkal radikal bebas.

Hasil uji organoleptik

Kesukaan warna

Uji organoleptik pada atribut warna untuk es krim yang difortifikasi nanoemulsi

betalain dilakukan guna memetakan tingkat penerimaan panelis terhadap tampilan visual sekaligus menilai kinerja formulasi dalam menghasilkan warna yang diinginkan. Indikator ini esensial karena warna merupakan rangsangan pertama yang ditangkap konsumen dan kuat memengaruhi persepsi mutu serta pilihan produk, terutama pada pangan yang memanfaatkan pewarna (Gunawan *et al.*, 2024).



Gambar 1. Histogram kesukaan warna es krim penambahan nanoemulsi

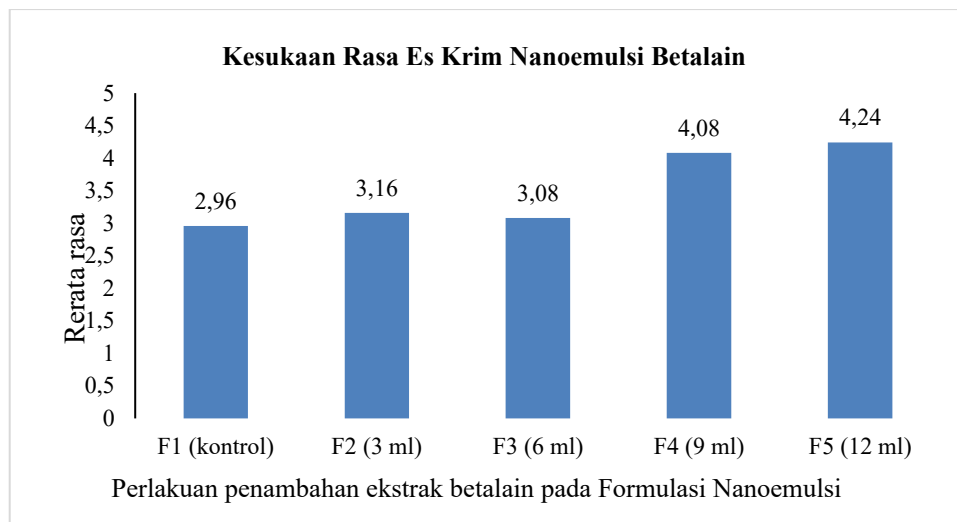
Uji Friedman tersebut menunjukkan adanya perbedaan nyata. Peningkatan rata-rata pada F5 disebabkan oleh konsentrasi ekstrak betalain yang lebih tinggi, yaitu sebanyak 12 ml. Warna F5 menunjukkan warna merah keunguan yang lebih pekat dari formula lainnya, hal ini berdampak dengan parameter intensitas warna a^* yang menunjukkan bahwa pada konsentrasi 12 ml menghasilkan warna yang pekat. Sampel F1 yang tidak terdapat ekstrak betalain memiliki nilai terendah, karena tampilannya cenderung pucat atau tidak berwarna. Berdasarkan hasil organoleptik warna menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi ekstrak betalain dalam formulasi nanoemulsi lebih disukai oleh panelis, dengan rerata nilai 4,88.

Kesukaan rasa

Analisis rasa pada uji organoleptik ini ditujukan untuk mengevaluasi dampak variasi kadar betalain serta komposisi komponen nanoemulsi meliputi surfaktan, ko-surfaktan, dan minyak zaitun terhadap preferensi panelis pada produk es krim. Aspek rasa tetap krusial dalam menentukan keberterimaan sensoris,

karena pewarna diaplikasikan pada pangan, formulasi wajib menjaga profil cita rasa yang menyenangkan dan bebas *off-flavor* agar produk dapat diterima konsumen (Szente *et al.*, 2021).

Hasil uji Friedman rasa pada gambar di atas menunjukkan terdapat perbedaan yang nyata pada semua formula. Pada F5 memperoleh nilai rata-rata tertinggi. Hal tersebut disebabkan oleh konsentrasi nanoemulsi dan rasa pada es krim seimbang antara asam yang dihasilkan oleh nanoemulsi betalain dan manis yang diperoleh dari es krim. Hal tersebut mungkin dipengaruhi oleh nilai pH, karena nanoemulsi betalain dengan pH rendah (asam) secara tidak langsung dapat memengaruhi rasa nanoemulsi tersebut, pH rendah bisa memberikan rasa asam yang kuat karena konsentrasi ion hidrogen yang tinggi, sementara pH tinggi bisa menimbulkan rasa pahit atau tidak nyaman (Ernawati *et al.*, 2021). Pada formulasi kontrol yaitu F1 memiliki nilai terendah yang dimungkinkan tidak menarik karena tidak adanya ekstrak betalain yang berkontribusi pada cita rasa.

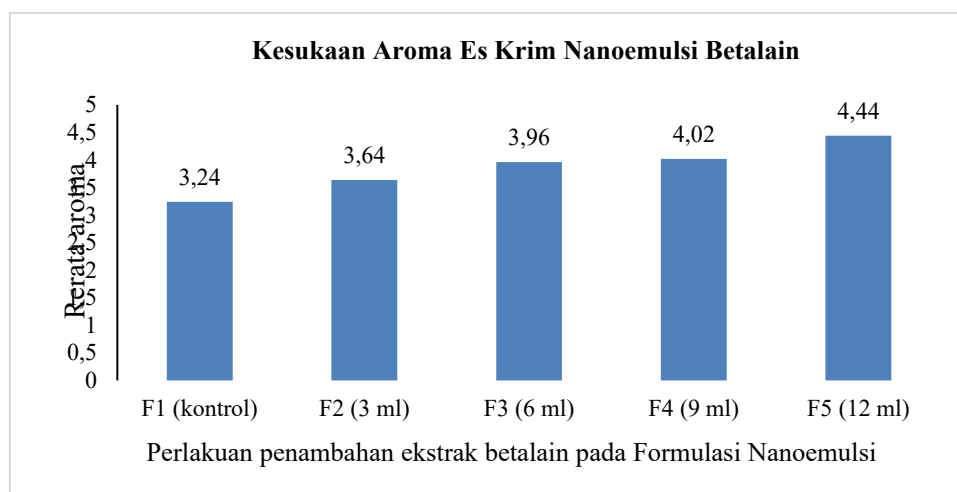


Gambar 2. Histogram kesukaan rasa es krim penambahan nanoemulsi

Kesukaan aroma

Pengujian sensori pada atribut aroma dilakukan untuk mengkuantifikasi preferensi panelis terhadap es krim yang ditambah

nanoemulsi betalain pada berbagai kadar ekstrak. Indikator ini esensial guna memastikan formulasi nanoemulsi menghasilkan profil aroma yang sesuai sasaran dan berpeluang tinggi diterima oleh konsumen.



Gambar 3. Histogram kesukaan aroma es krim penambahan nanoemulsi

Hasil uji organoleptik aroma di atas menunjukkan rata-rata kesukaan antara 3,24 hingga 4,44. Sampel F1 tanpa tambahan ekstrak betalain menunjukkan nilai terendah, yang disebabkan karena bahan dasar seperti surfaktan, kosurfaktan dan minyak yang kurang menarik. Perlakuan F5 dengan konsentrasi ekstrak betalain sebanyak 12ml menjadi nilai rata-rata terbaik dengan nilai 4,44. Konsentrasi ekstrak betalain yang tinggi akan menghasilkan aroma yang cenderung disukai panelis karena tidak menimbulkan

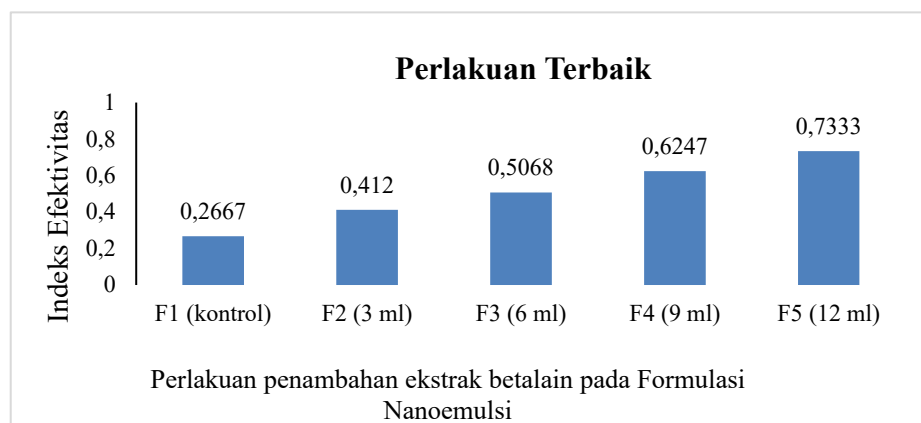
aroma dari bahan-bahan nanoemulsi yang menyengat (Kaba *et al.*, 2024)

Perlakuan terbaik nanoemulsi betalain

Penentuan perlakuan terbaik karakteristik dan organoleptik aplikasi nanoemulsi betalain pada produk es krim menggunakan Indeks Efektivitas De Garmo termodifikasi Susrini dengan memberikan bobot nilai pada setiap parameter. Metode ini digunakan pada parameter kimia meliputi pH, aktivitas antioksidan, ukuran droplet, dan

intensitas warna. Parameter fisik meliputi uji organoleptik warna, aroma, dan rasa. Hasil menunjukkan bahwa parameter ukuran droplet memiliki bobot parameter tertinggi (0,2), diikuti oleh intensitas warna L bobot 0,17; warna a* bobot 0,15; warna b* 0,13; aktivitas antioksidan bobot 0,11. Uji organoleptik warna memiliki bobot 0,08; pH

0,06 dan aroma bobot 0,04. Nilai Organoleptik rasa memiliki bobot terendah berdasarkan uji indektivitas yaitu 0,02. Tingkat penerimaan konsumen terhadap nanoemulsi betalain kulit buah naga merah menjadi relevan dalam mengukur parameter keseluruhan aplikasi nanoemulsi betalain kulit buah naga merah pada produk es krim.



Gambar 4. Histogram perlakuan terbaik nanoemulsi betalain kulit buah naga merah

Hasil perhitungan indeks efektivitas perlakuan terbaik pada F5 dengan ekstrak betalain sebanyak 12 ml dengan parameter fisikokimia meliputi intensitas warna L (55,59), warna a* (30,2), warna b* (11,17), pH (4,2), aktivitas antioksidan (10,25 ppm), ukuran droplet (117,40 nm), dan uji organoleptik warna (4,88), rasa (4,24), aroma (4,44). Hasil tersebut sesuai dengan standar nanoemulsi. Pada gambar di atas menyatakan bahwa perlakuan F5 adalah kombinasi formulasi konsentrasi ekstrak betalain yang paling optimal untuk menghasilkan nanoemulsi betalain yang baik, dan dapat diterima oleh konsumen apabila diaplikasikan pada es krim. Hal ini juga sesuai dengan hasil uji warna yang menunjukkan hasil terbaik yaitu pada F5, karena menghasilkan warna merah keunguan yang pekat.

KESIMPULAN

Deep Eutectic Solvent (DES) menghasilkan kadar betalain yang lebih tinggi dibandingkan pelarut etanol, yaitu DES sebesar 330,0 µg/L dan etanol 73,3 µg/L. Penambahan konsentrasi ekstrak betalain berpengaruh nyata terhadap karakteristik

nanoemulsi, termasuk pH, ukuran droplet, intensitas warna, dan aktivitas antioksidan, serta tingkat kesukaan panelis terhadap es krim nanoemulsi pada warna, rasa dan aroma. Formulasi terbaik diperoleh pada F5 (12 ml ekstrak betalain), dengan ukuran droplet 117,40 nm, pH 4,26, dan aktivitas antioksidan tertinggi ($IC_{50} = 10,25$ ppm). warna L (55,59), warna a* (30,2), warna b* (11,17), pH (4,2), dan uji organoleptik warna (4,88), rasa (4,24), aroma (4,44). Untuk penelitian selanjutnya perlu perbaikan pada proses pembuatan nanoemulsi untuk memperoleh ukuran droplet yang lebih kecil dan distribusi yang lebih homogen, dengan metode homogenisasi tekanan tinggi atau ultrasonikas. Serta perlu dilakukan uji homogenitas secara kimia untuk menghasilkan zeta potensial di setiap formula untuk mengetahui karakter nanoemulsi yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Arviani, Nasriadi Dali, Hasnawati, Dine Agustine, Susmayanti, W., Utami, C.R. (2024). *Kimia organik*. Hei Publishing.
- Benvenuti, L., Zielinski, A. A. F., & Ferreira,

- S. R. S. (2022). Pressurized aqueous solutions of *Deep Eutectic Solvent* (DES): A green emergent extraction of anthocyanins from a Brazilian berry processing by-product. *Food chemistry: X*, *13*, 100236. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100236>
- Beyza, K., Oscar, Z., Ali, R., & Koca, I. (2024). Extraction and stabilization of betalains from beetroot (*Beta vulgaris*) wastes using *Deep Eutectic Solvents*. *Molecules*, *26*(21). <https://doi.org/10.3390/molecules26216342>
- Calva-Estrada, S. J., Jiménez-Fernández, M., & Lugo-Cervantes, E. (2022). Betalains and their applications in food: The current state of processing, stability and future opportunities in the industry. *Food chemistry: molecular sciences*, *4*, 100089. <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100089>
- Ernawati, Utami, C. R., Nuswardhani, S. K., Adam, M. A., & Widiastuti, I. M. (2021). Pengaruh penambahan tepung buah mangrove tinjang (*Rhizophora* sp) sebagai sumber antioksidan pada pembuatan es krim. *TECHNO-FISH*, *5*(2), 106-117. <https://doi.org/10.25139/tp.v5i2.4406>
- Fauziah, T., & Suryani, O. (2024). Betalains as natural dyes and applications. *Sains Natural: Journal of Biology and Chemistry*, *14*(4), 198-209. <https://doi.org/10.31938/jsn.v14i4.737>
- Fatjria, R. B., Nurtiana, W., Ningtias, D. A., Dewi, A. R., Alhazazie, N., Siburian, G., Studi, P., Pangan, T., Pertanian, F., Sultan, U., Tirtayasa, A., & Serang, K. (2023). Pigmen betalain sebagai sumber pewarna alami dan stabilitasnya terhadap pengaruh lingkungan. *Jurnal Pangan Dan Gizi*, *13*(1), 1–7. <https://doi.org/10.26714/jpg.13.1.2023.1-7>
- Figueroa-Enriquez, C. E., Rodríguez-Félix, F., Plascencia-Jatomea, M., Sánchez-Escalante, A., Vargas-López, J. M., Tapia-Hernández, J. A., Canizales-Rodríguez, D. F., Castro-Enriquez, D. D., Ruiz-Cruz, S., Santos-Sauceda, I., Burruel-Ibarra, S. E., & Pompa-Ramos, J. L. (2023). Nanoparticles of betalain-gelatin with antioxidant properties by coaxial electrospraying: preparation and characterization. *ACS Omega*, *8*(44), 41156–41168. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c04021>
- Gao, J., Xie, L., Peng, Y., Li, M., Li, J., Ni, Y., & Wen, X. (2024). *Deep Eutectic Solvents* as new extraction media for flavonoids in mung bean. *Foods*, *13*(5), 777. <https://doi.org/10.3390/foods13050777>
- Gunawan, M. I. F., Lubis, M. I. A., Salfiana, S., Prayudi, A., Wihansah, R. R. A. S. B., Utami, C. R., & Lubis, M. (2024). *Teknologi pengolahan bahan pangan*. Yayasan Kita Menulis.
- Kaba, B., Zannou, O., Ali Redha, A., & Koca, I. (2024). Enhancing extraction of betalains from beetroot (*Beta vulgaris* L.) using *Deep Eutectic Solvents*: optimization, bioaccessibility and stability. *Food Production, Processing and Nutrition*, *6*(1), 38. <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00208-2>
- Lestario, J. R., Sari, I. P., Andareza, A., Fadillah, S., & Rachmaniar, R. (2024). Karakteristik nanoemulsi isolat brazilin dari tanaman kayu secang (*Caesalpinia sappan* L.) asli Indonesia. *Majalah Farmasetika*, *9*(2), 205–215. <https://doi.org/10.24198/mfarmasetika.v9i2.50495>
- Mohammed, A. N., Ishwarya, S. P., & Nisha, P. (2021). Nanoemulsion versus microemulsion systems for the encapsulation of beetroot extract: Comparison of physicochemical characteristics and betalain stability. *Food and Bioprocess Technology*, *14*(1), 133-150. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02562-2>
- Nasiro, S., Anjulita, R., Setiawan, E., Afriyandi, A., & Situmeang, B. (2023). Potensi Nanoemulsi Ekstrak Daun Pirdot (*Saurauia vulkani*) dalam Meningkatkan Aktivasi Enzim Alpha-Amilase sebagai Alternatif Terapi Diabetes Mellitus. *Jurnal Beta*

- Kimia*, 3(2), 67-74. <https://doi.org/10.35508/jbk.v3i2.15164>
- Nurjannah, I., & Utami, C. R. (2022). Karakteristik tepung nanas varietas queen (*Ananas comosus* L. Merr) termodifikasi metode foam mat drying. *Teknologi Pangan: Media Informasi dan Komunikasi Ilmiah Teknologi Pertanian*, 13(1), 121-133. <https://doi.org/10.35891/tp.v13i1.3008>
- Prieto-Santiago, V., Cavia, M. M., Alonso-Torre, S. R., & Carrillo, C. (2020). Relationship between color and betalain content in different thermally treated beetroot products. *Journal of Food Science and Technology*, 57(9), 3305-3313. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04363-z>
- Rahimi, P., Abedimanesh, S., Mesbah-Namin, S. A., & Ostadrahimi, A. (2019). Betalains, the nature-inspired pigments, in health and diseases. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(18), 2949-2978. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1479830>
- Redhita, L. A., Beandrade, M. U., Putri, I. K., & Anindita, R. (2022). Formulasi dan evaluasi nanoemulsi ekstrak daun kemangi (*Ocimum basilicum* L.) dengan variasi konsentrasi Tween 80. *Jurnal Mitra Kesehatan*, 4(2), 80-91. <https://doi.org/10.47522/jmk.v4i2.134>
- Sinaga, A. S., & Informatika, T. (2019). Segmentasi ruang warna L* a* b. *Jurnal Mantik Penusa*, 3(1), 43-46.
- Solichah, W., Utomo, D., & Utami, C. R. (2023). Pengaruh konsentrasi CMC (Carboxyl Methyl Cellulose) dan gula aren terhadap fisikokimia dan organoleptik selai umbi bit (*Beta vulgaris* L.) ekstrak jahe merah. *Teknologi Pangan: Media Informasi dan Komunikasi Ilmiah Teknologi Pertanian*, 14(1), 118-131. <https://doi.org/10.35891/tp.v14i1.3784>
- Swasono, M. A. H., Wardani, H., & Utami, C. R. (2022). The effect of ethanol solvent concentration on the characteristics of young and old coconut coir tannin extracts. *Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 53(10).
- Szente, L., Sohajda, T., & Fenyvesi, É. (2021). Encapsulation for masking off-flavor and off-tasting in food production. In *Functionality of cyclodextrins in encapsulation for food applications* (pp. 223-253). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80056-7_12
- Utami, C. R., & Fauziah, S. H. (2024). Pengaruh penambahan ekstrak lemon (citrus limon) terhadap karakteristik minuman bunga telang (*clitoria ternatea*). *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, 3(5), 553-566. <https://doi.org/10.55123/insologi.v3i5.4209>
- Utomo, D., & Rizkiyah, L. (2020). Pengaruh lama perendaman dan persentase carboxymethyl cellulose (CMC) terhadap karakteristik susu kecambah kedelai (*Glycine max* (L.) Merr.): Effect of longer damaging and percentage of carboxymethyl cellulose (CMC) against characteristic of soy milk district (*Glycine max* (L.) Merr.). *Teknologi Pangan: Media Informasi dan Komunikasi Ilmiah Teknologi Pertanian*, 11(2), 171-181. <https://doi.org/10.35891/tp.v11i2.2191>
- Wulansari, S. A., Sumiyani, R., & Aryani, N. L. D. (2019). Pengaruh konsentrasi surfaktan terhadap karakteristik fisik nanoemulsi dan nanoemulsi gel koenzym q10. *Jurnal Kimia Riset*, 4(2), 143. <https://doi.org/10.20473/jkr.v4i2.16164>