

# Analisis Aktivitas Antioksidan Nanoemulsi Berbasis Tanaman dalam Aplikasi Farmasi dan Kosmetik : Kajian Literatur

Nur Aisyah<sup>1\*</sup>, Sriwidodo<sup>2</sup>, Patihul Husni<sup>2</sup>, Santi Sinala<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Magister Farmasi, Universitas Padjadjaran

<sup>2</sup> Jurusan Farmasi, Universitas Padjadjaran, Hegarmanah, Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat 45363

<sup>3</sup> Jurusan Farmasi, Politeknik Kesehatan Makassar, Jl. Baji Gau No.10, Baji Mappakasunggu, Kec. Mamajang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90223

\*Corresponding author: [nur23066@mail.unpad.ac.id](mailto:nur23066@mail.unpad.ac.id)

Info Artikel: Diterima bulan Mei 2025 ; Disetujui bulan April 2025 ; Publikasi bulan Juni 2025

## ABSTRACT

*Plant-based nanoemulsions are gaining increasing attention in pharmaceutical and cosmetic applications due to their ability to enhance the stability, solubility, and bioavailability of natural bioactive compounds, such as flavonoids, terpenoids, and polyphenols, which possess antioxidant activity. However, a significant challenge lies in optimizing nanoemulsion formulations to improve the efficacy of these compounds. This study aims to explore the potential of plant-based nanoemulsions in enhancing the effectiveness of antioxidant compounds and to provide recommendations for developing more stable and efficient nanoemulsion formulations for pharmaceutical and cosmetic applications. A literature review was conducted by analyzing relevant scientific articles on the use of plant-based nanoemulsions to enhance antioxidant activity. This research includes various studies that discuss formulation methods, physicochemical characteristics, and the applications of nanoemulsions in biomedical and cosmetic fields. Plant-based nanoemulsions, such as those using Cordyceps mushroom extract and Mucuna seed extract, demonstrate stronger antioxidant activity and good stability. Formulations with small particle sizes and uniform particle distribution show higher bioavailability and efficacy, making them potentially applicable in medical therapies and skin care treatments. Plant-based nanoemulsions offer significant potential for enhancing the efficacy of antioxidant compounds in the pharmaceutical and cosmetic industries. Further development through laboratory and clinical testing is needed to confirm the effectiveness and stability of nanoemulsion formulations in real-world applications.*

**Keywords :** nanoemulsion, medicinal plants, bioavailability, drug delivery system

## ABSTRAK

Nanoemulsi berbasis tanaman semakin menarik perhatian dalam aplikasi farmasi dan kosmetik karena kemampuannya dalam meningkatkan stabilitas, kelarutan, dan bioavailabilitas senyawa aktif alami, seperti flavonoid, terpenoid, dan polifenol, yang memiliki aktivitas antioksidan. Namun, tantangan yang dihadapi adalah bagaimana mengoptimalkan formulasi nanoemulsi untuk meningkatkan efektivitas senyawa tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi nanoemulsi berbasis tanaman dalam meningkatkan efektivitas senyawa antioksidan, serta memberikan rekomendasi untuk pengembangan formulasi nanoemulsi yang lebih stabil dan efisien untuk aplikasi farmasi dan kosmetik. Kajian literatur dilakukan dengan menganalisis artikel-artikel ilmiah yang relevan mengenai penggunaan nanoemulsi berbasis tanaman dalam meningkatkan aktivitas antioksidan. Penelitian ini mencakup berbagai studi yang memaparkan metode pembuatan, karakteristik fisikokimia, dan aplikasi nanoemulsi dalam bidang biomedis dan kosmetik. Nanoemulsi berbasis tanaman, seperti yang menggunakan ekstrak Jamur Cordyceps dan Biji Mucuna, menunjukkan aktivitas antioksidan yang lebih kuat dan memiliki stabilitas yang baik. Formulasi dengan ukuran partikel kecil dan distribusi partikel yang seragam memiliki bioavailabilitas dan efektivitas yang lebih tinggi, sehingga berpotensi untuk diterapkan dalam terapi medis dan perawatan kulit. Nanoemulsi berbasis tanaman menawarkan potensi yang besar dalam meningkatkan efektivitas senyawa antioksidan di bidang farmasi dan kosmetik. Pengembangan lebih lanjut diperlukan melalui uji laboratorium dan klinis untuk memastikan efektivitas dan stabilitas formulasi nanoemulsi dalam aplikasi dunia nyata.

**Kata Kunci :** nanoemulsi, tanaman obat, bioavailabilitas, sistem penghantaran obat

## PENDAHULUAN

Pengembangan suplemen kesehatan atau terapi alternatif dapat dilakukan dengan menggunakan senyawa berbahan dasar tumbuhan.<sup>1</sup> Menurut studi literatur memaparkan beberapa tumbuhan yang mempunyai senyawa bioaktif misalnya terpenoid,<sup>2</sup> alkaloid, polifenol,<sup>3</sup> dan flavonoid memiliki potensi dalam farmakologis, khususnya bertindak sebagai antioksidan.<sup>4</sup> Peranan antioksidan sendiri sangatlah krusial, dimana antioksidan ini memiliki peran dalam melawan stress oksidatif yang bisa memancing adanya penyakit degenerative, misalnya gangguan neurodegeneratif,<sup>5</sup> diabetes, penyakit kardiovaskular, kanker,<sup>6</sup> dan lain sebagainya.<sup>7</sup> Akan tetapi, permasalahan yang dihadapi dalam menggunakan senyawa fitokimia ialah keterbatasan stabilitas, kelarutan, dan bioavailabilitas pada sistem biologis.<sup>8</sup>

Selanjutnya, dalam menghadapi tantangan atau permasalahan yang dihadapi, teknologi nanoemulsi dapat berfungsi sebagai solusi<sup>9</sup>. Definisi nanoemulsi adalah sistem emulsi dengan ukuran pada skala nanometer, yaitu antara 20 hingga 200 nanometer<sup>10</sup>. Tujuan dari nanoemulsi tersebut adalah memperpanjang masa aktif senyawa dalam tubuh manusia, mempercepat absorpsi, meningkatkan kelarutan senyawa hidrofobik, serta lain-lain.<sup>11</sup> Dengan karakteristik termodinamika yang stabil dan transparansi tinggi, nanoemulsi dapat mempertahankan stabilitas senyawa antioksidan from degradasi yang disebabkan oleh suhu, oksigen, atau cahaya<sup>12</sup>. Hal tersebut dapat berfungsi sebagai sistem penghantaran obat dalam aplikasi biomedis maupun terapeutik<sup>13</sup>.

Secara global, nanoemulsi telah menjadi tren utama dalam sistem penghantaran bahan aktif karena ukurannya yang sangat kecil (20–200 nm), yang meningkatkan luas permukaan dan kemampuan penyerapan senyawa aktif secara signifikan. Penggunaan nanoemulsi tidak hanya terbukti meningkatkan bioavailabilitas senyawa seperti flavonoid dan curcumin<sup>14</sup>, tetapi juga diterapkan secara luas dalam formulasi produk farmasi, makanan, dan kosmetik<sup>15</sup>.

Nanoemulsi rentan terhadap destabilisasi melalui pematangan Ostwald, di mana tetesan yang lebih besar tumbuh dengan mengorbankan yang lebih kecil, yang menyebabkan pemisahan fase dari waktu ke waktu. Terlepas dari stabilitas kinetiknya, nanoemulsi sering memerlukan persiapan sesaat sebelum digunakan untuk mempertahankan kemanjuran, karena penyimpanan yang lama dapat membahayakan integritasnya<sup>16</sup>.

Formulasi nanoemulsi yang diperoleh dari tumbuhan dapat menciptakan suatu bahan aktif yang ramah lingkungan, menjadikan lebih biokompatibel, dan efisien sebab berasal dari alam langsung.<sup>17</sup> Contohnya adalah penggunaan katekin dari the hijau,<sup>18</sup> minyak atsiri dari serai,<sup>19</sup> serta ekstrak kurkumin dari kunyit yang sudah dikembangkan melalui bentuk nanoemulsi.<sup>20</sup> Menurut hasil penelitian memaparkan nanoemulsi memiliki peran sebagai antioksidan,<sup>21</sup> antimikroba,<sup>22</sup> anti inflamasi, dan anti kanker.<sup>23</sup> Berdasarkan hal tersebut diketahui bahwa kombinasi dari senyawa herbal dengan teknologi nano dapat menjadi sebuah inovasi dalam memberikan pengobatan modern saat ini.

Untuk memahami bagaimana formulasi nanoemulsi dapat meningkatkan aktivitas biologis senyawa antioksidan alami, diperlukan kerangka konseptual yang menggambarkan hubungan logis antara komponen formulasi dan efektivitas biologis. Senyawa fitokimia seperti flavonoid, polifenol, dan terpenoid memiliki aktivitas biologis tinggi, namun bioavailabilitasnya rendah akibat kelarutan air yang buruk dan ketidakstabilan terhadap suhu, oksidasi, dan cahaya.<sup>16</sup> Formulasi nanoemulsi dengan ukuran droplet <200 nm, menggunakan surfaktan non-ionik dan minyak nabati, dapat meningkatkan kelarutan senyawa lipofilik, memperluas permukaan serap, serta memperlambat degradasi senyawa aktif<sup>24</sup>. Hal ini berkontribusi terhadap peningkatan bioavailabilitas dan efektivitas biologis senyawa dalam tubuh, termasuk aktivitas antioksidan, antiinflamasi, dan sitotoksik terhadap sel target<sup>14</sup>. Dengan demikian, kerangka ini menegaskan bahwa desain nanoemulsi yang tepat memiliki implikasi langsung terhadap peningkatan potensi terapeutik dan kosmetik dari senyawa alami.

Aplikasi dari nanoemulsi sendiri sudah mengalami perkembangan seiring dengan berkembangnya waktu. Menurut studi literatur memaparkan terkait dengan implementasi nanoemulsi pada bidang biomedis diantaranya adalah sebagai sistem penghantaran vaksin, pengobatan infeksi, perawatan kulit, penyembuhan luka, dan bertindak sebagai terapi kanker.<sup>25</sup> Formulasi dari nanoemulsi sendiri juga bisa digunakan dalam parenteral, topikal, ataupun oral yang menjadikannya fleksibel dalam berbagai skenario klinis. Keunggulan ini membuat nanoemulsi tidak hanya relevan dalam bidang farmasi, tetapi juga dalam industri produk kesehatan, nutraceutical, kosmetika, dan lain sebagainya.<sup>26</sup>

Penelitian terdahulu Jamir et. al. (2023) memaparkan seiring dengan berkembangnya waktu, kehadiran dari nanoemulsi ini telah menjadi daya tarik dari berbagai kalangan. Hal tersebut disebabkan oleh kemampuannya dalam meningkatkan bioavailabilitas bahan aktif dari tumbuhan, seperti antioksidan. Dalam proses penerapan yang dilakukan perlu diperhatikan terkait dengan tantangan ataupun prospek yang akan dihadapi, diantaranya adalah regulasi dari badan pengawas, keamanan bahan, skalabilitas proses produksi, dan stabilitas jangka panjang. Berikut dipaparkan terkait dengan aplikasi nanoemulsi pada bidang medis diantaranya adalah (1) mencegah neurodegenerasi, antioksidan yang terdapat pada nanoemulsi memiliki kemampuan untuk sampai ke *blood brain barrier*. Hal tersebut memiliki potensi dalam menerapkan terapi terhadap Parkinson atau Alzheimer, (2) aplikasi dermatologi, kandungan antioksidan yang terdapat pada nanoemulsi topikal memiliki kemampuan dalam memperbaiki kondisi kulit serta mempercepat penyembuhan luka, (3) terapi kanker, aktivitas sitotoksik terbukti lebih tinggi terhadap sel kanker yang terdapat pada nanoemulsi berbasis tanaman misalnya *epigallocatechin gallate* (EGCG), resveratrol, serta kurkumin, (4) penghantaran obat, nanoemulsi memiliki kemampuan dalam senyawa antioksidan ke target organ.

Beberapa studi perbandingan dengan penelitian lain yang mendukung efektivitas nanoemulsi dalam meningkatkan bioaktivitas ekstrak tanaman yang sebelumnya memiliki keterbatasan kelarutan dan stabilitas, seperti menurut Hazarika et al. (2020) menunjukkan bahwa nanoemulsi herbal mampu meningkatkan efektivitas terapi dari senyawa tanaman seperti minyak atsiri, flavonoid, dan polifenol. Formulasi ini meningkatkan kelarutan, memperpanjang waktu pelepasan, serta memungkinkan penggunaan transdermal dan oral, yang secara signifikan memperkuat aktivitas farmakologis senyawa tersebut<sup>27</sup>. Selain itu, Menurut Bahuguna et al. (2020) menyoroti bahwa ukuran droplet nanoemulsi yang kecil meningkatkan luas permukaan kontak senyawa bioaktif, memperbaiki kelarutan senyawa lipofilik, serta bertindak sebagai pelindung terhadap degradasi lingkungan, yang secara keseluruhan meningkatkan bioaktivitas senyawa seperti kurkumin dan resveratrol<sup>28</sup>. Das et al. (2022) dalam ulasan mereka menegaskan bahwa formulasi nanoemulsi telah diterapkan secara luas dalam sistem penghantaran tanaman untuk meningkatkan bioaktivitas senyawa aktif melalui rute pemberian oral, topikal, hingga transdermal. Efektivitas ini didorong oleh pengendalian droplet, pemilihan surfaktan, dan stabilitas sistem yang tinggi<sup>29</sup>. studi di atas menunjukkan bahwa penggunaan nanoemulsi secara konsisten mampu meningkatkan bioaktivitas senyawa tanaman melalui peningkatan kelarutan, stabilitas, dan penyerapan biologis.

Pada penulisan jurnal ini melalui kajian yang tertera diatas, penulis mengambil judul “Nanoemulsi Berbasis Tanaman: Pemanfaatan Potensi Antioksidan dalam Berbagai Bidang Farmasi & Kosmetik”. Tujuan penulisan yang dilakukan ialah memberikan hasil analisis terkait dengan nanoemulsi berbasis tanaman: pemanfaatan potensi

antioksidan dalam berbagai bidang farmasi & kosmetik. Batasan yang digunakan dalam penulisan ini hanya didasarkan pada kajian *library research* yang didasarkan pada rumusan judul yang telah dirumuskan oleh penulis. Melalui kajian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai potensi dan batasan nanoemulsi berbasis tanaman dalam mendukung pengembangan terapi biomedis secara efektif, efisien, dan berkelanjutan.

## MATERI DAN METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam kajian ini disusun secara sistematis untuk melakukan *literatur review* yang mendalam dan terarah mengenai pemanfaatan teknologi nanoemulsi dalam meningkatkan stabilitas, kelarutan, dan bioaktivitas senyawa antioksidan dari tanaman. Dalam formulasi nanoemulsi, teknik pembuatan memainkan peran penting dalam menentukan karakteristik akhir seperti ukuran droplet, kestabilan sistem, dan potensi bioaktivitas, termasuk nilai  $IC_{50}$ . Secara umum, dua pendekatan yang digunakan adalah metode berbasis energi tinggi dan energi rendah. Pada Teknik Energi Tinggi mampu menghasilkan ukuran partikel <100 nm dengan distribusi sempit dan kestabilan fisik yang tinggi. Ukuran partikel yang lebih kecil secara signifikan meningkatkan luas permukaan, mempercepat disolusi senyawa lipofilik, serta memperbaiki penetrasi biologis dan bioavailabilitas, yang berdampak langsung terhadap penurunan nilai  $IC_{50}$  pada pengujian aktivitas antioksidan<sup>29</sup>. Sedangkan Teknik Energi, seperti PIT *Phase inversion temperature* dan emulsifikasi spontan, mengandalkan perubahan suhu atau komposisi untuk membentuk nanoemulsi. Meski lebih hemat energi dan cocok untuk bahan sensitif panas, metode ini cenderung menghasilkan partikel lebih besar, stabilitas rendah, dan efisiensi enkapsulasi terbatas, yang dapat menyebabkan nilai  $IC_{50}$  lebih tinggi<sup>27</sup>. Pemilihan metode pembuatan nanoemulsi berdampak langsung terhadap ukuran droplet, kestabilan sistem, dan efektivitas biologis ekstrak tanaman. Metode berbasis energi tinggi lebih disarankan bila tujuan utama adalah peningkatan bioaktivitas dan penurunan nilai  $IC_{50}$  melalui sistem penghantaran yang efisien dan stabil.

Kerangka metodologis dibagi ke dalam beberapa tahapan, mulai dari identifikasi sumber literatur terpercaya, seleksi artikel berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, hingga proses sintesis tematik terhadap temuan dari berbagai studi. Setiap tahap dirancang untuk menjawab fokus kajian tertentu, seperti karakteristik formulasi nanoemulsi, metode pembuatan, serta pengaruhnya terhadap aktivitas biologis. Pendekatan ini dilakukan untuk memastikan akurasi informasi, keterlacakan data ilmiah, dan relevansi hasil dengan pengembangan produk farmasi dan kosmetik berbasis bahan alam.

### Alat dan Bahan

Pencarian literatur dilakukan melalui dua basis data utama, yaitu PubMed dan Google Scholar. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian artikel adalah “*Nanoemulsion AND antioxidants AND medicinal plants AND bioavailability AND drug delivery system*”. Selain itu, digunakan pencarian dalam Bahasa Indonesia “Nanoemulsi DAN antioksidan DAN tanaman obat DAN bioavailabilitas DAN sistem penghantaran obat”. Seluruh referensi yang digunakan menggunakan perangkat lunak manajemen Mendeley untuk memudahkan penyaringan dan dokumentasi artikel.

### Kriteria Seleksi Artikel

Artikel yang ditemukan melalui pencarian awal disaring berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditentukan sebelumnya.

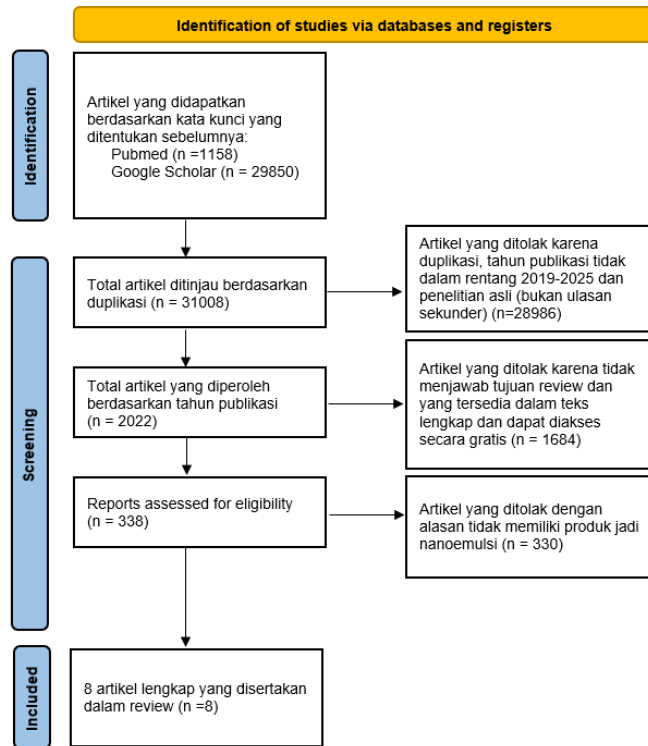
#### Kriteria inklusi :

1. Artikel yang diterbitkan dari tahun 2019-2025
2. Artikel tersedia dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris
3. Artikel berupa jurnal ilmiah yang terindeks nasional maupun internasional (Scopus, PubMed, Sinta, dll).
4. Artikel yang mencakup tentang penggunaan nanoemulsi berbasis tanaman untuk aplikasi farmasi atau kosmetik.

#### Kriteria eksklusi :

1. Artikel yang tidak relevan secara langsung dengan topik utama kajian.
2. Artikel yang tidak menyertakan data atau pembahasan mengenai bioaktivitas, bioavailabilitas, atau formulasi nanoemulsi.
3. Artikel yang tidak dapat diakses secara penuh (full-text unavailable).

Proses seleksi artikel ditampilkan dalam bagan alur prisma (Gambar 1). Berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan, sebanyak 8 artikel yang telah terpilih untuk dianalisis lebih lanjut.



Gambar 1. PRISMA flow diagram

**Prosedur Penelitian**

Validitas kajian ini dijamin melalui seleksi artikel yang ketat berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi untuk meminimalkan bias dan memastikan kualitas data. Proses analisis dilakukan dalam empat tahap<sup>30</sup>:

1. **Identifikasi artikel**, Artikel yang telah dipilih dianalisis secara mendalam yang berkaitan dengan topik kajian
2. **Seleksi awal**, Poin-poin kunci dari setiap artikel dicatat sesuai kerangka konseptual, termasuk temuan tambahan yang memperkaya sintesis kajian.
3. **Sintesis tematik**, Catatan dari berbagai artikel kemudian dikategorikan ke dalam tema-tema tertentu yang berkembang menjadi konsep tematik yang mewakili manfaat nanoemulsi dalam bidang farmasi.
4. **Penyajian data dan penarikan kesimpulan**: Data disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan narasi deskriptif sebagaimana lazim dalam studi tinjauan sistematis

Seluruh tahapan analisis dilakukan secara mandiri oleh dua peneliti, lalu dibandingkan dan didiskusikan guna menjamin konsistensi serta meminimalkan bias dalam penafsiran.

**HASIL**

Pada review ini diperoleh 8 artikel dengan berbagai macam tumbuhan yang memiliki aktivitas antioksidan seperti yang dipaparkan pada Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Hasil Analisis

No.	Bahan	Ukuran Partikel	Zeta Potensial	Indeks Polidispersitas	Hasil Analisis	Referensi
1.	Kulit manggis	10.58±1.25 nm	-2.34±0.46mV	0.27±0.03	Aktivitas antioksidan 5708.33±159.57 µg AEAC/ml	31
2.	Biji Mucuna	149.9 nm	-32.69 mV	0.26	Aktivitas Antioksidan IC <sub>50</sub> sebesar 4.87 ppm	32
3.	Daun Garcinia cowa	71.06±0.62 nm	-17.40±0.95 mV	0.28±0.24	Aktivitas antioksidan IC <sub>50</sub> sebesar 9.20 ± 0.39ppm	33

No.	Bahan	Ukuran Partikel	Zeta Potensial	Indeks Polidispersitas	Hasil Analisis	Referensi
4.	Bunga komamil	142.19 ± 16.54 nm	-51.83±1.27 mV	0.196 ± 0.006	Aktivitas antioksidan IC <sub>50</sub> sebesar 22.324 ppm	34
5.	Jamur Cordyceps	87.0 ± 2.1 nm	-26.20±2 mV	0.089 ± 0.023	Aktivitas antioksidan IC <sub>50</sub> sebesar 2.96 ± 0.10ppm	35
6.	Jahe	130 nm	-17 mV	0,20	Aktivitas antioksidan IC <sub>50</sub> sebesar 765 ppm	36
7.	Buah Jaboticaba	200 nm	-21.5 mV	0.3	antioksidan memiliki nilai IC <sub>50</sub> 1.684± 2.106 ppm	37
8.	Daun Meniran	192 nm	-15.0±18.4 mV	0.4	Aktivitas antioksidan IC <sub>50</sub> sebesar 56.4 ppm	38

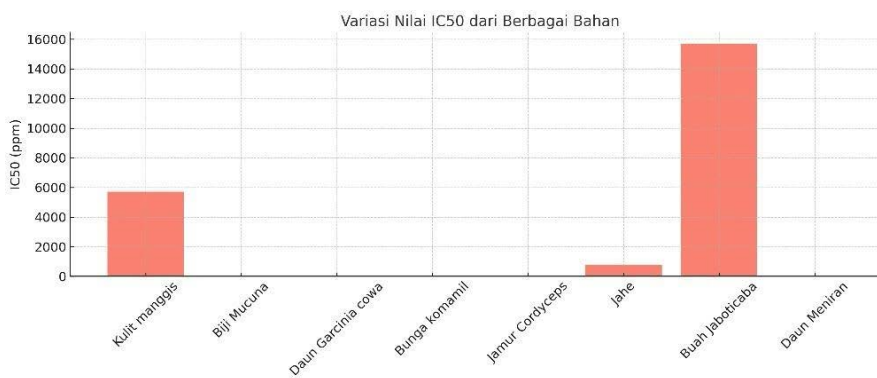
Berdasarkan hasil analisis yang tercantum dalam Tabel 1, dapat disimpulkan bahwa bahan-bahan yang diuji menunjukkan variasi yang signifikan dalam hal ukuran partikel, zeta potensial, indeks polidispersitas (PDI), dan aktivitas antioksidan. Ukuran partikel menunjukkan perbedaan yang mencolok antara bahan-bahan yang diuji, dengan bahan seperti Kulit Manggis yang memiliki ukuran partikel sangat kecil (10.58 nm), yang penting untuk meningkatkan bioavailabilitas dan penetrasi bahan aktif ke dalam kulit. Bahan lainnya, seperti Biji Mucuna (149.9 nm) dan Buah Jaboticaba (200 nm), menunjukkan ukuran yang lebih besar, namun tetap berada dalam rentang ukuran yang sesuai untuk aplikasi nanoemulsi.

Zeta potensial menunjukkan bahwa semua bahan memiliki nilai negatif yang cukup tinggi, yang menandakan stabilitas fisik yang baik dari sistem emulsi yang dihasilkan. Bunga Kamomil, dengan zeta potensial -51.83 mV, memiliki daya tolakan elektrostatis yang sangat kuat, yang dapat mencegah koalesensi partikel dan menjaga kestabilan formulasi. Indeks polidispersitas (PDI), yang berkisar antara 0.089 hingga 0.4, menunjukkan distribusi ukuran partikel yang bervariasi. PDI yang rendah, seperti pada Jamur Cordyceps (0.089), menunjukkan distribusi partikel yang lebih sempit dan homogen, yang penting untuk meningkatkan stabilitas dan keseragaman dalam formulasi nanoemulsi.

Dalam hal aktivitas antioksidan, bahan-bahan dengan IC<sub>50</sub> yang lebih rendah, seperti Biji Mucuna (4.87 ppm) dan Jamur Cordyceps (2.96 ppm), menunjukkan kemampuan yang lebih kuat dalam menangkalkan radikal bebas, yang dapat berkontribusi pada perlindungan kulit terhadap kerusakan oksidatif. Sebaliknya, bahan seperti Jahe dan Buah Jaboticaba menunjukkan nilai IC<sub>50</sub> yang lebih tinggi, menandakan aktivitas antioksidan yang lebih lemah.

Secara keseluruhan, bahan-bahan dengan ukuran partikel kecil, zeta potensial negatif yang tinggi, dan aktivitas antioksidan yang kuat memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai bahan dalam formulasi topikal yang stabil dan efektif, seperti dalam produk perawatan kulit atau terapi penyembuhan luka.

Adapun grafik dari nilai IC<sub>50</sub>, distribusi ukuran partikel dan distribusi Indeks Polidispersitas (PDI) sebagai berikut :



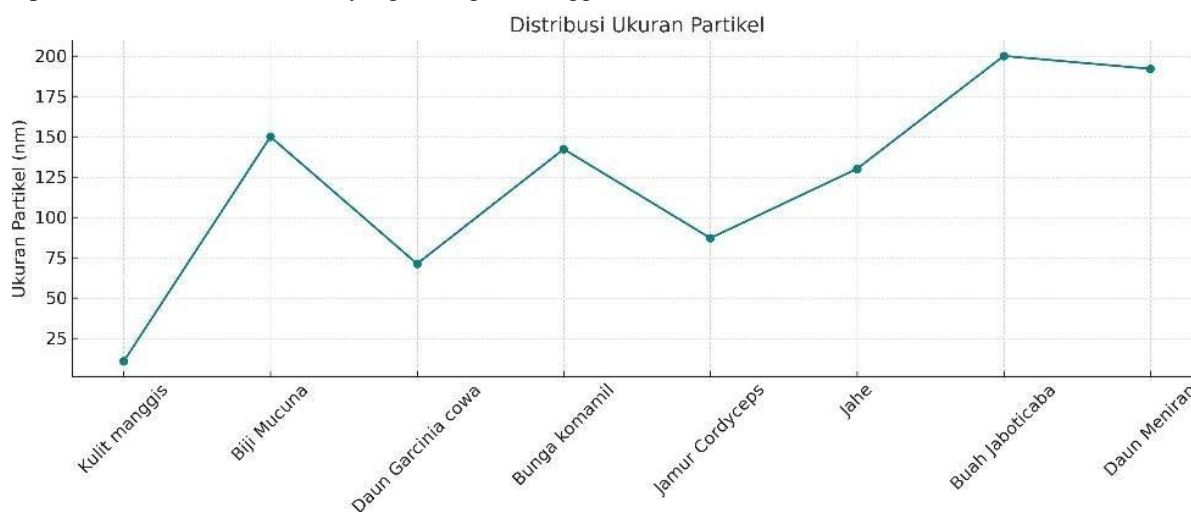
Gambar 2. Grafik Variasi nilai IC<sub>50</sub>

Variasi nilai IC50 dari berbagai bahan menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam aktivitas antioksidan. Jamur Cordyceps dan Biji Mucuna memiliki nilai IC50 paling rendah, masing-masing sebesar 2,96 ppm dan 4,87 ppm, menandakan bahwa keduanya memiliki aktivitas antioksidan yang sangat kuat. Sebaliknya, Buah Jaboticaba dan Kulit Manggis menunjukkan nilai IC50 tertinggi, yaitu 15.684 ppm dan 5.708,33 ppm, yang mengindikasikan aktivitas antioksidan yang relatif lemah dibandingkan bahan lainnya. Nilai IC50 yang tinggi menunjukkan bahwa diperlukan konsentrasi yang lebih besar dari senyawa tersebut untuk menghambat 50% radikal bebas, sehingga efektivitasnya sebagai antioksidan menjadi kurang optimal.

Selain itu, beberapa bahan lainnya seperti Jahe dan Daun Meniran juga menunjukkan potensi aktivitas antioksidan yang cukup baik, meskipun nilainya tidak serendah Jamur Cordyceps dan Biji Mucuna. Jahe, misalnya, memiliki nilai IC50 sebesar 846,72 ppm, yang masih tergolong cukup efektif, terutama jika mempertimbangkan ketersediaannya secara luas dan penggunaannya yang sudah umum dalam pengobatan tradisional. Daun Meniran juga dilaporkan memiliki aktivitas antioksidan, meskipun nilainya tidak ditampilkan secara eksplisit dalam grafik, kemungkinan karena berada di luar rentang pengukuran atau belum tersedia secara kuantitatif.

Temuan ini menunjukkan bahwa tidak semua bahan alami memiliki kekuatan antioksidan yang sama, dan penting untuk melakukan pengujian lebih lanjut untuk mengidentifikasi komponen bioaktif utama yang berperan dalam aktivitas tersebut. Bahan-bahan dengan nilai IC50 rendah dapat diprioritaskan untuk dikembangkan menjadi suplemen antioksidan alami atau bahan dasar dalam formulasi obat herbal. Di sisi lain, meskipun beberapa bahan memiliki nilai IC50 tinggi, mereka mungkin tetap memiliki manfaat kesehatan lain yang relevan, seperti aktivitas antiinflamasi, antimikroba, atau imunomodulator.

Dengan mempertimbangkan nilai IC50, peneliti dan praktisi pengobatan herbal dapat memilih bahan yang paling efektif untuk dikembangkan lebih lanjut. Selain itu, kombinasi beberapa bahan dengan aktivitas antioksidan yang saling mendukung dapat menciptakan efek sinergis yang meningkatkan efikasi keseluruhan, bahkan jika beberapa bahan memiliki nilai IC50 yang sedang atau tinggi.



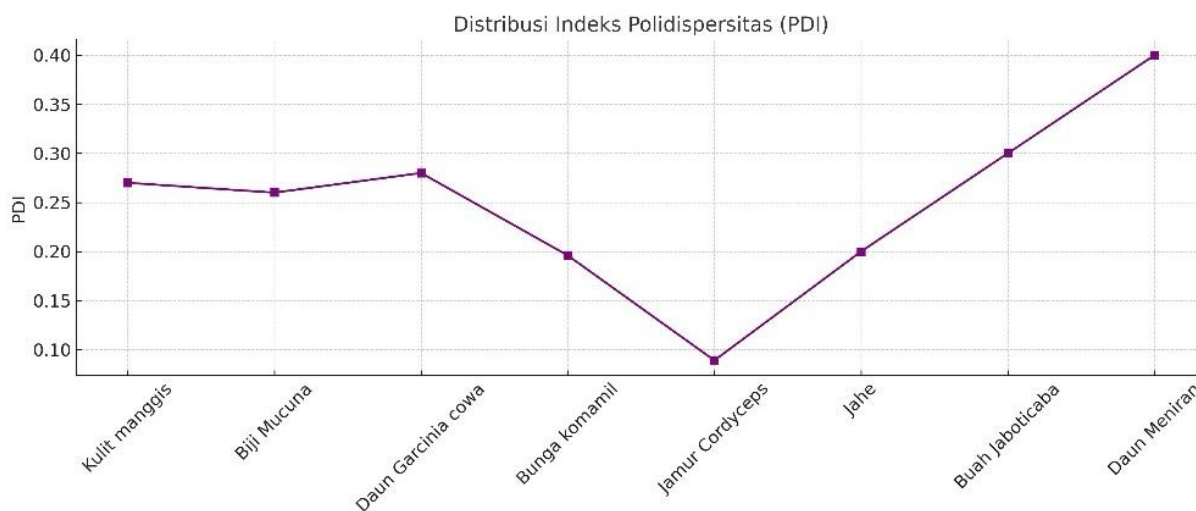
Gambar 3. Grafik Distribusi Ukuran Partikel

Distribusi ukuran partikel dari berbagai bahan alami menunjukkan variasi yang cukup signifikan, yang dapat memengaruhi efektivitas dan ketersediaan hayatinya. Berdasarkan grafik, partikel terkecil ditemukan pada kulit manggis, yaitu sekitar 10,58 nm, sementara ukuran partikel terbesar dimiliki oleh buah jaboticaba, yaitu sekitar 200 nm. Ukuran partikel yang lebih kecil sering kali dikaitkan dengan peningkatan aktivitas biologis karena memiliki luas permukaan yang lebih besar, memungkinkan interaksi yang lebih efektif dengan sel target serta penetrasi yang lebih baik ke dalam jaringan tubuh.

Salah satu bahan yang menonjol adalah Jamur Cordyceps, dengan ukuran partikel sekitar 87 nm, yang tergolong kecil dan mendekati kisaran nanometer yang ideal dalam formulasi biofarmasetikal. Menariknya, Jamur Cordyceps juga menunjukkan aktivitas antioksidan yang sangat tinggi berdasarkan nilai IC50 yang sangat rendah (2,96 ppm). Kombinasi antara ukuran partikel kecil dan efektivitas biologis tinggi ini menjadikan Jamur Cordyceps sebagai kandidat unggulan untuk dikembangkan lebih lanjut, baik dalam bentuk suplemen, obat herbal, maupun sistem penghantaran berbasis nanopartikel.

Sebaliknya, meskipun buah jaboticaba memiliki ukuran partikel yang paling besar, efektivitas antioksidannya justru paling rendah. Hal ini semakin memperkuat hipotesis bahwa ukuran partikel memainkan peran penting dalam menentukan potensi bioaktivitas suatu senyawa alami. Namun demikian, ukuran partikel bukan satu-satunya faktor; kandungan fitokimia, stabilitas senyawa aktif, serta bioavailabilitas juga berkontribusi terhadap efektivitas keseluruhan.

Dengan melihat tren ini, formulasi berbasis nano (nanopartikel) dapat menjadi pendekatan strategis dalam meningkatkan efektivitas bahan alam yang memiliki potensi, tetapi ukuran partikelnya masih besar. Teknik seperti enkapsulasi, nanoemulsi, atau nanokristalisasi dapat digunakan untuk mengecilkan ukuran partikel bahan seperti buah jaboticaba atau jahe, sehingga potensi biologisnya dapat dimaksimalkan.



Gambar 4. Grafik Distribusi Indeks Polidispersitas (PDI)

Grafik tersebut menunjukkan distribusi Indeks Polidispersitas (PDI) dari berbagai bahan alami. PDI adalah ukuran untuk menilai homogenitas ukuran partikel dalam suatu sampel; semakin rendah nilai PDI (mendekati 0), semakin seragam ukuran partikelnya. Berdasarkan grafik, Jamur Cordyceps memiliki nilai PDI terendah (~0,10), yang menunjukkan bahwa partikel dalam bahan ini sangat seragam dan stabil, sebuah karakteristik penting dalam formulasi farmasetikal atau nanopartikel. Sebaliknya, Daun Meniran menunjukkan nilai PDI tertinggi (~0,40), mengindikasikan distribusi ukuran partikel yang paling bervariasi dan kurang stabil.

Bahan lain seperti Kulit Manggis, Biji Mucuna, dan Daun Garcinia cowa memiliki nilai PDI di kisaran 0,24–0,27, yang masih tergolong baik dan menunjukkan distribusi partikel yang relatif homogen. Nilai PDI yang moderat pada bahan-bahan tersebut dapat memberikan kestabilan yang cukup dalam sistem penghantaran obat atau suplemen. Dari analisis ini, Jamur Cordyceps kembali menonjol sebagai bahan yang tidak hanya memiliki ukuran partikel kecil dan aktivitas antioksidan tinggi, tetapi juga distribusi partikel yang sangat seragam—menjadikannya kandidat unggul dalam pengembangan produk berbasis nanopartikel.

Adapun beberapa faktor eksternal yang dapat mempengaruhi stabilitas nanoemulsi yaitu :

Table 2. Faktor eksternal stabilitas nanoemulsi

Faktor Eksternal	Pengaruh terhadap Stabilitas Nanoemulsi	Referensi
Suhu Tinggi	Dapat mempercepat degradasi komponen aktif (misal: vitamin E) dan menyebabkan perubahan ukuran droplet atau koalesensi; namun dalam beberapa kasus, suhu tinggi menurunkan kelarutan oksigen dan memperlambat oksidasi	39
Paparan Oksigen	Memicu oksidasi lipid terutama pada minyak tak jenuh dalam nanoemulsi, menyebabkan pembentukan produk degradasi dan ketidakstabilan kimia	40
Paparan Cahaya	Mempercepat degradasi komponen sensitif cahaya (misal: vitamin E, fitonutrien), memperburuk kestabilan kimia secara signifikan	41

Stabilitas nanoemulsi sangat dipengaruhi oleh suhu, oksigen, dan cahaya. Untuk menjaga stabilitas, penyimpanan sebaiknya dilakukan pada suhu rendah, dalam kemasan kedap cahaya dan oksigen.

Table 3. Teknik, Jenis Surfaktan, dan Efek Suhu terhadap Stabilitas

Perspektif	Temuan Utama	Referensi
Teknik Formulasi	High-pressure homogenization (energi tinggi) menghasilkan ukuran globul lebih kecil dan stabilitas kinetik lebih baik dibanding metode sederhana (energi rendah) <sup>34</sup> .	42
Jenis Surfaktan	Surfaktan nonionik (Tween 80, Span 80) dan surfaktan hijau memberikan stabilitas fisik optimal dan toksisitas rendah <sup>24</sup> . Surfaktan anionik stabil dengan penambahan nanopartikel SiO <sub>2</sub> .	43
Kombinasi Surfaktan	Campuran anionik-nonionik (misal AEC:APG 50:50) menunjukkan stabilitas termal dan kompatibilitas tinggi pada salinitas dan suhu tinggi <sup>110</sup> .	44
Efek Suhu	Surfaktan termoresponsif: stabil di bawah suhu kritis (LCST), namun mudah terkoalesensi di atas LCST (~34°C) <sup>56</sup> . IFT turun drastis pada suhu tinggi, meningkatkan efisiensi EOR <sup>6</sup> .	45
Pengaruh Konsentrasi	Peningkatan konsentrasi surfaktan menurunkan ukuran globul dan meningkatkan stabilitas, terutama pada nanoemulsi <sup>3</sup> .	42
Pengaruh pH & Viskositas	pH dan viskositas yang sesuai meningkatkan stabilitas fisik mikroemulsi; viskositas tinggi cenderung lebih stabil <sup>2</sup> .	46
Stabilitas pada Salinitas Tinggi	Penambahan nanopartikel SiO <sub>2</sub> pada surfaktan anionik mencegah presipitasi dan agregasi pada salinitas hingga 57.000 ppm dan suhu 70°C <sup>9</sup> .	47

Teknik energi tinggi (homogenisasi tekanan tinggi) dan pemilihan surfaktan nonionik atau kombinasi anionik-nonionik sangat berpengaruh pada stabilitas formulasi. Suhu dan salinitas ekstrem memerlukan formulasi khusus, seperti surfaktan termoresponsif atau penambahan nanopartikel untuk menjaga stabilitas. Faktor lain seperti pH, viskositas, dan konsentrasi surfaktan juga penting dalam menentukan kualitas dan stabilitas sediaan.

## PEMBAHASAN

Nanoemulsi adalah sistem dispersi cair dalam cair yang terdiri dari dua cairan tidak saling larut (biasanya minyak dan air) dengan ukuran droplet sangat kecil, umumnya di bawah 500 nm, dan distabilkan oleh surfaktan atau emulsifier. Nanoemulsi memiliki stabilitas kinetik tinggi, tampilan transparan atau tembus cahaya, dan luas permukaan besar, sehingga banyak digunakan di berbagai bidang seperti farmasi, makanan, kosmetik, dan material<sup>48</sup>.

Nanoemulsi berbasis tanaman adalah sistem penghantaran nanoskalatis yang dirancang untuk meningkatkan efektivitas senyawa bioaktif alami, terutama antioksidan, dalam farmasi dan kosmetik. Nanoemulsi adalah sistem dispersion dari dua fase yang tidak saling larut, seperti air dan minyak. Untuk menstabilkan nanoemulsi, diperlukan surfaktan guna mempertahankan kedua fase tersebut. Sejumlah flora di Indonesia memiliki potensi sebagai agen antioksidan. Penelitian sebelumnya mendukung hal tersebut dengan menjelaskan bahwa kandungan fitokimia dalam tumbuhan, seperti alkaloid, terpenoid, polifenol, dan flavonoid, berpotensi berfungsi sebagai antioksidan. Beberapa senyawa yang telah disebutkan berperan dalam mengatasi berbagai penyakit, termasuk penyakit kardiovaskular, diabetes, kanker, dan penyakit degeneratif. Analisis yang dilakukan lebih lanjut mengungkapkan dampak positif dari nanoemulsi berbasis tanaman sebagai antioksidan dalam konteks biomedis. Nanoemulsi menyediakan berbagai keunggulan dalam sistem penghantaran obat dan kosmetik, khususnya dalam meningkatkan penyerapan dan efektivitas biologis melalui berbagai rute pemberian, termasuk injeksi, topikal, dan oral. Sistem ini dapat meningkatkan kelarutan senyawa lipofilik dalam media cair, yang sebelumnya sukar larut dalam air, sehingga memperbaiki bioavailabilitas dan efisiensi senyawa aktif. Selain itu, nanoemulsi efektif dalam melindungi senyawa antioksidan yang tidak stabil dan rentan terhadap degradasi akibat faktor lingkungan seperti suhu tinggi, oksigen, dan paparan cahaya, sehingga mempertahankan kestabilan serta potensi terapeutik senyawa tersebut selama penyimpanan dan penggunaan<sup>65</sup>.

Nilai IC<sub>50</sub> yang tinggi pada formulasi nanoemulsi menunjukkan bahwa konsentrasi yang dibutuhkan untuk menghambat 50% aktivitas biologis (misal, viabilitas sel atau aktivitas enzim) relatif besar. Hal ini biasanya diartikan sebagai efikasi biologis yang rendah terhadap target yang diinginkan, baik itu sel kanker, enzim, atau mikroorganisme. Bahan yang memiliki IC<sub>50</sub> tinggi termasuk Jahe dengan nilai IC<sub>50</sub> 765 ppm dan Buah Jaboticaba yang memiliki nilai IC<sub>50</sub> 15.684 ppm. Nilai IC<sub>50</sub> yang tinggi ini mengindikasikan bahwa bahan-bahan ini memerlukan konsentrasi yang lebih besar untuk menghambat 50% dari radikal bebas, sehingga efektivitasnya dalam memberikan perlindungan antioksidan menjadi lebih rendah. Sebagai tambahan, faktor-faktor yang dapat mempengaruhi aktivitas antioksidan



suatu bahan antara lain adalah ukuran partikel dan stabilitas formulasi. Berdasarkan hasil analisis, bahan dengan ukuran partikel kecil, seperti Jamur Cordyceps (87 nm) dan Biji Mucuna (149.9 nm), menunjukkan aktivitas antioksidan yang lebih baik ( $IC_{50}$  rendah), yang mengarah pada penyerapan dan penetrasi yang lebih efektif. Sementara itu, bahan dengan ukuran partikel lebih besar, seperti Buah Jaboticaba (200 nm), meskipun memiliki ukuran partikel yang besar, tidak menunjukkan aktivitas antioksidan yang sebanding dengan bahan dengan ukuran partikel lebih kecil.

Berbagai parameter evaluasi nanoemulsi, termasuk ukuran droplet, indeks polidispersitas (PDI), pH, viskositas, potensi zeta, dan stabilitas fisik, sangat penting dalam pengembangan formulasi topikal berbasis nanoemulsi. Contohnya, droplet kecil dan PDI rendah sangat mendukung penetrasi ke dalam kulit dan distribusi yang merata, serta meningkatkan stabilitas sistem emulsi. Penyesuaian pH dalam rentang kulit (4–6) juga krusial untuk mencegah iritasi. Dalam formulasi nanoemulsi, terdapat beberapa parameter karakteristik yang sangat penting untuk memastikan stabilitas fisik dan efektivitas formulasi. Ukuran droplet merupakan parameter utama yang memengaruhi kemampuan penetrasi dan bioavailabilitas senyawa aktif. Ukuran droplet yang lebih kecil, umumnya berada dalam kisaran 20 hingga 200 nm, cenderung memberikan stabilitas yang lebih baik dan memfasilitasi penetrasi yang lebih dalam ke dalam jaringan biologis. Indeks polidispersitas (PDI) menggambarkan distribusi ukuran droplet dalam nanoemulsi. PDI yang rendah menandakan distribusi ukuran yang seragam, yang penting untuk kestabilan sistem dan mencegah penggumpalan partikel<sup>49</sup>. pH juga memainkan peran penting dalam menjaga stabilitas formulasi. pH yang tepat membantu mencegah perubahan muatan pada permukaan droplet yang dapat mempengaruhi stabilitas fisik<sup>50</sup>. Viskositas berhubungan dengan kekentalan sistem, di mana viskositas yang lebih tinggi dapat mencegah pergerakan partikel dan meningkatkan stabilitas formulasi terhadap sedimentasi atau koalesensi<sup>51</sup>. Terakhir, potensi zeta mengindikasikan stabilitas elektrostatis dari partikel dalam nanoemulsi. Nilai potensi zeta yang lebih tinggi, baik positif atau negatif, menunjukkan bahwa partikel-partikel tersebut cenderung tidak saling bergabung atau koalesen, yang memperpanjang umur simpan dan menjaga kestabilan fisik nanoemulsi<sup>52</sup>.

Berdasarkan hasil analisis yang terdapat dalam Tabel 1, perbandingan mendalam antara formulasi bahan-bahan yang diuji menunjukkan perbedaan signifikan dalam parameter-parameter karakteristik seperti ukuran partikel, zeta potensial, indeks polidispersitas (PDI), dan aktivitas antioksidan. Kulit Manggis, dengan ukuran partikel terkecil (10.58 nm), menunjukkan potensi lebih tinggi dalam penetrasi dan bioavailabilitas bahan aktif, meskipun zeta potensialnya yang relatif rendah (-2.34 mV) dapat mengurangi stabilitas formulasi. Di sisi lain, Biji Mucuna (149.9 nm) dan Jamur Cordyceps (87 nm) memiliki ukuran partikel yang lebih besar, tetapi keduanya menunjukkan stabilitas yang lebih baik berkat zeta potensial negatif tinggi, terutama pada Biji Mucuna (-32.69 mV) dan Jamur Cordyceps (-26.20 mV), yang memberikan kestabilan yang lebih baik terhadap koalesensi partikel. Bunga Kamomil memiliki zeta potensial tertinggi (-51.83 mV), yang menunjukkan daya tolakan elektrostatis yang kuat antar partikel, sehingga meningkatkan kestabilan formulasi secara signifikan.

Dalam hal distribusi ukuran partikel, Jamur Cordyceps menunjukkan PDI terendah (0.089), yang menandakan distribusi partikel yang sangat seragam dan stabil, memberikan keunggulan dalam konsistensi perilaku fisik dan kimianya. Sebaliknya, bahan seperti Kulit Manggis (PDI 0.27) dan Daun Garcinia Cowa (PDI 0.28) menunjukkan distribusi ukuran partikel yang lebih lebar, yang dapat berpotensi menurunkan kestabilan formulasi. Untuk aktivitas antioksidan, Jamur Cordyceps memiliki nilai  $IC_{50}$  yang sangat rendah (2.96 ppm), menunjukkan aktivitas antioksidan yang kuat, lebih unggul dibandingkan dengan bahan lain. Biji Mucuna juga menunjukkan aktivitas antioksidan yang sangat baik dengan  $IC_{50}$  4.87 ppm, sementara bahan seperti Buah Jaboticaba dengan  $IC_{50}$  yang sangat tinggi (15.684 ppm) menunjukkan aktivitas antioksidan yang lebih lemah.

Secara keseluruhan, formulasi yang lebih efektif ditemukan pada Jamur Cordyceps dan Biji Mucuna, yang memiliki ukuran partikel kecil, zeta potensial tinggi, PDI rendah, dan aktivitas antioksidan yang kuat. Sebaliknya, bahan seperti Buah Jaboticaba dan Kulit Manggis, meskipun memiliki ukuran partikel kecil dan stabilitas fisik yang lebih baik, menunjukkan aktivitas antioksidan yang lebih lemah, yang dapat mempengaruhi efektivitas keseluruhan dari formulasi. Perbandingan ini memberikan wawasan yang berharga untuk memilih bahan dengan potensi terbaik dalam pengembangan formulasi nanoemulsi yang stabil dan efektif.

Formulasi nanoemulsi meningkatkan aktivitas antioksidan melalui beberapa mekanisme yang pertama, stabilitas dan bioaksesibilitas senyawa antioksidan meningkat, karena ukuran droplet yang kecil dan efisiensi enkapsulasi yang tinggi memungkinkan lebih banyak bahan aktif diserap tubuh dan terlindungi dari degradasi. Kedua, efisiensi enkapsulasi dan pelepasan bertahap membantu mempertahankan aktivitas antioksidan dalam jangka waktu lama, dengan penggunaan lapisan ganda atau multi-layer memperlambat pelepasan senyawa aktif. Ketiga, aktivitas antioksidan meningkat setelah senyawa dienkapsulasi dalam nanoemulsi, dengan peningkatan kelarutan dan distribusi yang lebih baik di tubuh. Terakhir, distribusi interfacial pada nanoemulsi berbasis nanopartikel meningkatkan stabilitas oksidatif, dengan interaksi antara nanopartikel dan antioksidan yang membantu mencegah oksidasi<sup>52-54</sup>.

Implikasi Praktis untuk Produsen Obat atau Kosmetik perlu menerapkan praktik berkelanjutan sepanjang siklus hidup produk, mulai dari pemilihan bahan ramah lingkungan hingga pengelolaan limbah yang efisien. Kepatuhan terhadap regulasi dan penilaian risiko yang tepat, terutama untuk produk kosmetik, sangat penting untuk memastikan keamanan dan meningkatkan kepercayaan konsumen. Transparansi dalam klaim produk dan komunikasi yang jelas juga penting untuk membantu konsumen membuat keputusan yang tepat. Inovasi dalam formulasi dan kemasan ramah lingkungan, serta penerapan akuntansi biaya aliran material (MFCA), dapat mengurangi limbah dan

meningkatkan efisiensi, mendukung keberlanjutan serta profitabilitas Perusahaan<sup>55-57</sup>. Rekomendasi untuk Produsen yaitu mengintegrasikan prinsip keberlanjutan dan ekonomi sirkular dalam seluruh rantai nilai produk, memastikan penilaian risiko dan uji keamanan sesuai standar regulasi terbaru, serta meningkatkan komunikasi dengan konsumen mengenai manfaat dan keberlanjutan produk. Investasi dalam inovasi formulasi, kemasan ramah lingkungan, dan penerapan sistem manajemen biaya seperti MFCA dapat mendukung keberlanjutan dan profitabilitas. Selain itu, kepatuhan terhadap regulasi lokal dan internasional serta monitoring produk secara berkala sangat penting untuk menjaga keamanan produk di pasar<sup>58,59</sup>.

Semua formulasi menggunakan surfaktan non-ionik, yang cenderung bersifat tidak toksik dan non-iritatif, sangat penting dalam sediaan kosmetik. Kombinasi surfaktan dan kosurfaktan juga membantu menurunkan tegangan antarmuka serta mempertahankan stabilitas emulsi. Asal bahan aktif dari tumbuhan yang digunakan dalam penelitian tersebut juga mencerminkan kecenderungan pemanfaatan fitokimia sebagai komponen fungsional dalam kosmetik dan farmasi.

Nanoemulsi berfungsi sebagai solusi inovatif yang meningkatkan penyerapan, mengatur pelepasan, dan memperpanjang waktu paruh senyawa aktif dalam tubuh. Seiring berjalannya waktu, keberadaan nanoemulsi telah menarik perhatian berbagai kalangan. Hal ini disebabkan oleh kemampuannya dalam meningkatkan bioavailabilitas senyawa aktif dari tumbuhan, seperti antioksidan. Dalam implementasi, perlu diperhatikan tantangan dan prospek yang akan dihadapi, termasuk regulasi dari badan pengawas, keamanan bahan, skalabilitas proses produksi, dan stabilitas jangka panjang. Berikut disajikan mengenai aplikasi nanoemulsi dalam bidang medis. Nanoemulsi berbasis tanaman yang mengandung antioksidan menunjukkan potensi signifikan dalam berbagai aplikasi terapeutik. Salah satu penerapannya adalah dalam pencegahan penyakit neurodegeneratif, seperti Parkinson dan Alzheimer, dimana antioksidan dalam bentuk nanoemulsi dapat menembus sawar darah-otak, sehingga memudahkan penyampaian langsung senyawa aktif ke sistem saraf pusat. Selain itu, dalam aplikasi dermatologis, nanoemulsi topikal terbukti mampu memperbaiki kondisi kulit dan mempercepat proses penyembuhan luka berkat kemampuannya meningkatkan penetrasi senyawa antioksidan ke lapisan kulit yang lebih dalam. Dalam terapi kanker, formulasi nanoemulsi dari senyawa alami seperti epigallocatechin gallate (EGCG), resveratrol, dan kurkumin menunjukkan aktivitas sitotoksik yang lebih tinggi terhadap sel kanker dibandingkan dengan bentuk konvensional. Selain itu, nanoemulsi berfungsi secara efektif sebagai sistem penghantaran obat, memungkinkan antioksidan mencapai organ target dengan efisiensi yang lebih tinggi, sehingga meningkatkan efektivitas terapi secara keseluruhan<sup>66</sup>.

Dengan kemampuan untuk mengenkapsulasi senyawa tanaman secara efisien dan mempertahankan aktivitas biologisnya, nanoemulsi berbasis tanaman menawarkan peluang signifikan untuk pengembangan product terapeutik alami yang lebih efektif dan aman<sup>67</sup>. Selanjutnya, perlu diperhatikan parameter penting dalam formulasi nanoemulsi berbasis tanaman, termasuk teknik pembuatan, surfaktan, dan jenis minyak yang digunakan. Teknik pembuatan nanoemulsi tersebut menggunakan metode energi rendah (emulsifikasi spontan) dan energi tinggi (homogenisasi tekanan tinggi atau ultrasonikasi). Selanjutnya, pada aspek surfaktan, digunakan lecithin dan Tween 80. Komponen minyak yang digunakan adalah minyak esensial yang berasal dari minyak zaitun atau minyak kelapa. Karakteristik nanoemulsi berbasis tanaman mencakup sejumlah keunggulan yang menjadikannya ideal untuk aplikasi dalam bidang farmasi dan kosmetik. Salah satu keunggulan utamanya adalah sifat semi-transparan hingga transparan, yang dihasilkan dari ukuran partikel yang sangat kecil. Selain itu, formulasi nanoemulsi umumnya memanfaatkan komponen alami, seperti senyawa aktif dari tumbuhan, surfaktan alami, dan minyak nabati, sehingga lebih aman dan ramah lingkungan. Nanoemulsi memiliki stabilitas tinggi, yang berperan penting dalam mencegah pengendapan dan degradasi senyawa bioaktif, sehingga memperpanjang masa simpan dan efektivitas product. Menurut berbagai literatur, ukuran partikel nanoemulsi berkisar antara 20–200 nm, yang tidak hanya meningkatkan luas permukaan kontak, tetapi juga mendukung potensi penetrasi yang lebih baik ke jaringan sasaran<sup>68</sup>.

## SIMPULAN DAN SARAN

Nanoemulsi berbasis tanaman menunjukkan potensi yang sangat besar dalam meningkatkan efektivitas senyawa antioksidan di berbagai aplikasi farmasi dan kosmetik. Temuan utama dari kajian ini adalah bahwa nanoemulsi dapat secara signifikan meningkatkan stabilitas, kelarutan, dan bioavailabilitas senyawa aktif, seperti flavonoid, terpenoid, dan polifenol. Dengan ukuran partikel yang sangat kecil (sekitar 20-200 nm), nanoemulsi memungkinkan senyawa aktif untuk lebih mudah diserap dan dimanfaatkan oleh tubuh, sekaligus melindungi senyawa-senyawa tersebut dari degradasi yang disebabkan oleh suhu, oksigen, dan paparan cahaya.

Selain itu, formulasi nanoemulsi berbasis tanaman juga terbukti meningkatkan aktivitas antioksidan senyawa alami, dengan beberapa bahan seperti Jamur Cordyceps dan Biji Mucuna menunjukkan IC<sub>50</sub> yang rendah, menandakan aktivitas antioksidan yang kuat. Bahan-bahan dengan ukuran partikel lebih kecil dan distribusi ukuran partikel yang lebih seragam, seperti pada Jamur Cordyceps, memiliki keuntungan tambahan dalam hal penetrasi yang lebih baik dan stabilitas formulasi yang lebih tinggi.

Implikasi dari temuan ini adalah bahwa nanoemulsi berbasis tanaman dapat berfungsi sebagai platform efektif untuk pengembangan produk farmasi dan kosmetik yang lebih stabil, aman, dan efisien. Ini membuka peluang baru dalam pengembangan terapi untuk penyakit degeneratif, pengobatan kanker, serta perawatan kulit yang lebih efektif. Selain itu, teknologi nanoemulsi dapat digunakan untuk formulasi berbasis bahan alami yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, dengan menggunakan surfaktan non-ionik yang cenderung lebih aman dan non-iritatif.

Keterbatasan-keterbatasan ini berpengaruh pada kemampuan untuk menggeneralisasi temuan penelitian ini ke berbagai konteks. Hasil dari kajian literatur ini, meskipun menunjukkan potensi besar nanoemulsi berbasis tanaman, lebih cenderung bersifat teoritis dan membutuhkan konfirmasi lebih lanjut melalui percobaan praktis untuk memastikan aplikasi yang efektif. Penelitian lebih lanjut, terutama yang melibatkan uji klinis atau percobaan dengan berbagai formulasi nanoemulsi, akan memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai stabilitas, efektivitas, dan keamanan penggunaan nanoemulsi dalam produk akhir.

Saran dari penelitian ini mengkaji potensi nanoemulsi berbasis tanaman dalam meningkatkan efektivitas senyawa antioksidan untuk aplikasi farmasi dan kosmetik. Nanoemulsi dapat meningkatkan stabilitas, kelarutan, dan bioavailabilitas senyawa aktif alami seperti flavonoid, terpenoid, dan polifenol. Temuan menunjukkan bahwa nanoemulsi dengan ukuran partikel kecil, seperti pada Jamur Cordyceps dan Biji Mucuna, memiliki aktivitas antioksidan yang kuat dan potensi terapeutik yang tinggi. Formulasi nanoemulsi berbasis tanaman menawarkan keuntungan dalam aplikasi medis, seperti terapi kanker, perawatan kulit, dan pengobatan penyakit neurodegeneratif.

Namun, penelitian ini terbatas pada kajian literatur dan tidak mencakup uji laboratorium atau studi kasus, yang membatasi kemampuan untuk menggeneralisasi hasil ke aplikasi praktis. Faktor eksternal seperti suhu, oksigen, dan cahaya yang mempengaruhi stabilitas nanoemulsi juga perlu dipertimbangkan lebih lanjut. Penelitian lanjutan dengan percobaan langsung sangat dibutuhkan untuk mengkonfirmasi temuan ini dalam konteks dunia nyata.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Melalui jurnal ini, penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada seluruh pihak terkait dalam kegiatan penulisan jurnal yang dilakukan, sehingga penulisan jurnal ini dapat terselesaikan dengan baik.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Suryawati AAMA, Santika IWM. Potensi dan Efektivitas Farmakologi Ekstrak Kembang Telang (*Clitoria ternatea* L.) sebagai Suplemen Antidiabetes: A Systematic Review. *Pros Work dan Semin Nas Farm.* 2023;2(3):61–76.
2. Dar RA, Shahnawaz M, Ahanger MA, Majid I ul. Exploring the Diverse Bioactive Compounds from Medicinal Plants: A Review. *J Phytopharm.* 2023;12(3):189–95.
3. Awuchi CG. The Biochemistry, Toxicology, and Uses of the Pharmacologically Active Phytochemicals: Alkaloids, Terpenes, Polyphenols, and Glycosides. *J Food Pharm Sci.* 2020;4(2):2.
4. Riaz M, Khalid R, Afzal M, Anjum F, Fatima H, Zia S, et al. Phytobioactive compounds as therapeutic agents for human diseases: A review. *Food Sci Nutr.* 2023;11(6):2500–29.
5. Rekatsina M, Paladini A, Piroli A, Zis P, Pergolizzi J V., Varrassi G. Pathophysiology and Therapeutic Perspectives of Oxidative Stress and Neurodegenerative Diseases: A Narrative Review. *Adv Ther.* 2020;37(1):113–39.
6. Muscolo A, Mariateresa O, Giulio T, Mariateresa R. Oxidative Stress: The Role of Antioxidant Phytochemicals in the Prevention and Treatment of Diseases. *Int J Mol Sci.* 2024;25(6):1–22.
7. Pisoschi AM, Pop A. The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. *Eur J Med Chem.* 2015;97(4):55–74.
8. Rahal A, Kumar A, Singh V, Yadav B, Tiwari R, Chakraborty S, et al. Oxidative stress, prooxidants, and antioxidants: The interplay. *Biomed Res Int.* 2024;20(14):1–19.
9. Ulhaqi TD. Formulasi dan Uji Karakteristik SNEDDS Ekstrak Umbi Bawang Dayak (*Eleutherine palmifolia* L) denagn Variasi Perbandingan Minyak Kaprilat, Surfaktan dan Ko-surfaktan. Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim; 2020.
10. Sari CR. Uji Toksisitas Nanoemulsi Minyak Sawit Merah (Red Palm Oil/RPO) Terhadap Larva Udang *Artemia salina* Dengan Metode BSLT (Brine Shrimp Lethality Test). Doctoral dissertation, Universitas Jambi; 2023.
11. Ainun. Formulasi dan uji karakteristik Self-Nanoemulsifying Drug Delivery System (SNEDDS) Ekstrak Bawang Dayak (*Elautherine palmifolia* (L.) Merr) menggunakan perbandingan variasi surfaktan. Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim; 2020.
12. Ling JKU, Sam JH, Jeevanandam J, Chan YS, Nandong J. Thermal Degradation of Antioxidant Compounds: Effects of Parameters, Thermal Degradation Kinetics, and Formulation Strategies. *Food Bioprocess Technol.* 2022;15(9):1919–35.
13. Afzal O, Altamimi ASA, Nadeem MS, Alzarea SI, Almalki WH, Tariq A, et al. Nanoparticles in Drug Delivery: From History to Therapeutic Applications. *Nanomaterials.* 2022;12(24):1–27.
14. Abdi Syahputra R, Dalimunthe A, Utari ZD, Halim P, Sukarno MA, Zainalabidin S, et al. Nanotechnology and flavonoids: Current research and future perspectives on cardiovascular health. *J Funct Foods [Internet].* 2024 Sep;120:106355. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1756464624003578>
15. Singh Y, Meher JG, Raval K, Khan FA, Chaurasia M, Jain NK, et al. Nanoemulsion: Concepts, development and applications in drug delivery. *J Control Release [Internet].* 2017 Apr;252:28–49. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168365917301128>
16. Abaszadeh F, Ashoub MH, Amiri M. Nanoemulsions Challenges and Future Prospects as a Drug Delivery

- System. In 2023. p. 217–43. Available from: [https://link.springer.com/10.1007/978-981-99-5398-1\\_13](https://link.springer.com/10.1007/978-981-99-5398-1_13)
17. Lewińska A, Domżał-Kędzia M, Maciejczyk E, Łukaszewicz M, Bazylińska U. Design and engineering of “green” nanoemulsions for enhanced topical delivery of bakuchiol achieved in a sustainable manner: A novel eco-friendly approach to bioretinol. *Int J Mol Sci.* 2021;22(18):1–19.
  18. Naufa F, Mutiah R, Yen Y, Indrawijaya A. Studi in Silico Potensi Senyawa Katekin Teh Hijau (*Camellia sinensis*) sebagai Antivirus SARS CoV-2 terhadap Spike Glycoprotein (6LZG) dan Main Protease (5R7Y). *J Food Pharm Sci.* 2021;11(1):584–96.
  19. Rahayu TP, Kiromah NZW, Maretha F. Perbandingan Aktivitas Antibakteri Minyak Atsiri Daun Serai Dan Ekstrak Pandan Wangi Terhadap *Staphylococcus epidermidis*. *J Farm Klin dan Sains.* 2021;1(1):18–25.
  20. Malahayati N, Widowati TW, Febrianti A. Karakterisasi Ekstrak Kurkumin dari Kunyit Putih (*Kaemferia rotunda* L.) dan Kunyit Kuning (*Curcuma domestica* Val.). *agriTECH.* 2021;41(2):134–44.
  21. Eid AM, Al-Hawari H, Nazzal S, Khudarieh S. Development of *Vitis vinifera* nanoemulgel and evaluation of its potential anticancer, antimicrobial and anti-inflammatory. *BMC Complement Med Ther.* 2025;25(1):1–12.
  22. Arazmjoo S, Es-Haghi A, Mahmoodzadeh H. Evaluation of anti-cancer and antioxidant properties of nanoemulsions synthesized by *Nigella Sativa* L. tincture. *Nanomedicine J.* 2021;8(1):57–64.
  23. Alam A, Ansari MJ, Alqarni MH, Salkini MA, Raish M. Antioxidant, Antibacterial, and Anticancer Activity of Ultrasonic Nanoemulsion of *Cinnamomum Cassia* L. Essential Oil. *Plants.* 2023;12(4):1–15.
  24. Jiang T, Liao W, Charcosset C. Recent advances in encapsulation of curcumin in nanoemulsions: A review of encapsulation technologies, bioaccessibility and applications. *Food Res Int [Internet].* 2020 Jun;132:109035. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996920300600>
  25. Nikolaev B, Yakovleva L, Fedorov V, Li H, Gao H, Shevtsov M. Nano- and Microemulsions in Biomedicine: From Theory to Practice. *Pharmaceutics.* 2023;15(7):1–39.
  26. Mutiara W, Dahlan UA, Permadi A, Dahlan UA, Suharto T, Dahlan UA. Review : Formulasi dan Karakteristik Nanoemulsi Bahan Alam Dalam Peningkatan Keefektifitasan Terapeutik. *Semin Nas Inov dan Teknol Univ Ahmad Dahlan.* 2024;1–7.
  27. Hazarika H, Krishnatreyya H, Chattopadhyay P, Saha A, Pathak Y V., Zaman MK. Nanoemulsion Delivery of Herbal Products: Prospects and Challenges. In: *Nano Medicine and Nano Safety [Internet].* Singapore: Springer Singapore; 2020. p. 267–88. Available from: [http://link.springer.com/10.1007/978-981-15-6255-6\\_11](http://link.springer.com/10.1007/978-981-15-6255-6_11)
  28. Bahuguna A, Ramalingam S, Kim M. Formulation, Characterization, and Potential Application of Nanoemulsions in Food and Medicine. In 2020. p. 39–61. Available from: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-31938-0\\_3](http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-31938-0_3)
  29. Das P, Panda JR, Patro CN, Sahu B, Patnaik SS. A Comprehensive Review of Nanoemulsion Applications and their Recent Advancements. *Curr Nanomater [Internet].* 2023 Sep;8(3):209–23. Available from: <https://www.eurekaselect.com/210611/article>
  30. Fodouop Kouam AW. A Systematic Literature Review of Post-Positivism and Critical Realism as Epistemological Frameworks in Educational Research. *Int J Chang Educ [Internet].* 2025 Feb 6; Available from: <https://ojs.bonviewpress.com/index.php/IJCE/article/view/4338>
  31. Rizki T, Yasni S, Muhandri T, Yuliani S. Sintesis Nanoemulsi dari Ekstrak Kulit Manggis dengan Metode Energi Tinggi. *J Teknol dan Ind Pangan.* 2023;34(1):109–18.
  32. Chookiat S, Theansungnoen T, Kiattisin K, Intharuksa A. Nanoemulsions Containing *Mucuna pruriens* (L.) DC. Seed Extract for Cosmetic Applications. *Cosmetics.* 2024;11(1).
  33. Bureekaew K, Laphookhieo S, Surassmo S, Suwanton O. Nanoencapsulation of *Garcinia cowa* leaf extract and its biological activities for potential use in pharmaceutical and cosmeceutical products. *Colloid Polym Sci.* 2023;301(12):1449–58.
  34. Tominc GC, Dalmagro M, Pereira E da CA, Adamczuk MS, Bonato FGC, Almeida RM de, et al. Formulation and Characterization of Nanoemulsion Incorporating *Chamomilla recutita* L. Extract Stabilized with Hyaluronic Acid. *Pharmaceutics.* 2024;16(6).
  35. Rupa EJ, Li JF, Arif MH, Yaxi H, Puja AM, Chan AJ, et al. *Cordyceps militaris* fungus extracts-mediated nanoemulsion for improvement antioxidant, antimicrobial, and anti-inflammatory activities. *Molecules.* 2020;25(23):1–14.
  36. da Silva AO, Sassi GR, Santos MKMS, Oliveira SMPV, Gomide G, Junior VFV, et al. Andiroba Oil (*Carapa guianensis*) and ginger extract (*Zingiber officinale*)-loaded nanoemulsion: Elaboration, characterization, antioxidant activity, and cell viability investigation. *Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp [Internet].* 2024 Dec;702:134990. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0927775724018545>
  37. Mazzarino L, da Silva Pitz H, Lorenzen Voytena AP, Dias Trevisan AC, Ribeiro-Do-Valle RM, Maraschin M. Jaboticaba (*Plinia peruviana*) extract nanoemulsions: development, stability, and in vitro antioxidant activity. *Drug Dev Ind Pharm [Internet].* 2018 Apr 3;44(4):643–51. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03639045.2017.1405976>
  38. Pathania R, Najda A, Chawla P, Kaushik R, Khan MA. Low-energy assisted sodium alginate stabilized *Phyllanthus niruri* extract nanoemulsion: Characterization, in vitro antioxidant and antimicrobial application.

- Biotechnol Reports [Internet]. 2022 Mar;33:e00711. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2215017X22000121>
39. Fitri IA, Suryani CL, Murtisari A. The Effects of Heat Treatment on the Stability of Oil-in-Water Nanoemulsions Stabilized by Nanocellulose. IOP Conf Ser Earth Environ Sci [Internet]. 2025 Feb 1;1460(1):012040. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1460/1/012040>
40. Nejadmansouri M, Hosseini SMH, Niakosari M, Yousefi GH, Golmakani MT. Physicochemical properties and oxidative stability of fish oil nanoemulsions as affected by hydrophilic lipophilic balance, surfactant to oil ratio and storage temperature. Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp [Internet]. 2016 Oct;506:821–32. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0927775716305970>
41. Bazana MT, da Silva SS, Codevilla CF, de Deus C, Lucas BN, Ugalde GA, et al. Development of nanoemulsions containing *Physalis peruviana* calyx extract: A study on stability and antioxidant capacity. Food Res Int [Internet]. 2019 Nov;125:108645. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996919305319>
42. Silva HD, Cerqueira MA, Vicente AA. Influence of surfactant and processing conditions in the stability of oil-in-water nanoemulsions. J Food Eng [Internet]. 2015 Dec;167:89–98. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877415003465>
43. Alyousef MH, Kamal MS, Murtaza M, Hussain SMS, Raza A, Patil S, et al. Enhancing Aqueous Stability of Anionic Surfactants in High Salinity and Temperature Conditions with SiO<sub>2</sub> Nanoparticles. ACS Omega. 2024;
44. Gafarov SA, Chernov MV, Ivanov AB, Faizov RA. USE OF ETHOXYLATED ALCOHOLS WITH ANIONIC SURFACTANTS FOR ENHANCED RECOVERY. Pet Eng [Internet]. 2024 May 3;22(2):91–106. Available from: <https://ngdelo.ru/article/view/12483>
45. Xu LM, Huang TP, Alotaibi M, Boqmi A. Novel Thermal Stimuli-Responsive Surfactants to Reduce Operation Costs for Chemical Flooding. In: SPE Improved Oil Recovery Conference [Internet]. SPE; 2024. Available from: <https://onepetro.org/SPEIOR/proceedings/24IOR/24IOR/D021S012R001/544378>
46. Rafifa M, Zahra AA, Putra HE, Aini KN, Sabrina LM, Maulida VS. Literatur Review: Pengaruh Jenis Surfaktan terhadap Stabilitas Fisik Mikroemulsi. J Integr Kesehat Sains [Internet]. 2025 Feb 1;7(1):46–52. Available from: <https://ejournal.unisba.ac.id/index.php/jiks/article/view/14399>
47. Alyousef MH, Kamal MS, Murtaza M, Hussain SMS, Raza A, Patil S, et al. Enhancing Aqueous Stability of Anionic Surfactants in High Salinity and Temperature Conditions with SiO<sub>2</sub> Nanoparticles. ACS Omega [Internet]. 2024 Dec 17;9(50):49804–15. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.4c08484>
48. Gupta A, Eral HB, Hatton TA, Doyle PS. Nanoemulsions: formation, properties and applications. Soft Matter [Internet]. 2016;12(11):2826–41. Available from: <https://xlink.rsc.org/?DOI=C5SM02958A>
49. Moghassemi S, Dadashzadeh A, Azevedo RB, Amorim CA. Nanoemulsion applications in photodynamic therapy. J Control Release [Internet]. 2022 Nov;351:164–73. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168365922006307>
50. Wang D, Zhong M, Sun Y, Fang L, Sun Y, Qi B, et al. Effects of pH on ultrasonic-modified soybean lipophilic protein nanoemulsions with encapsulated vitamin E. LWT [Internet]. 2021 Jun;144:111240. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643821003935>
51. Lehri D, Kumari N, Singh RP. Ultrasound-assisted production and characterization of rice bran lecithin-based nanoemulsions. J Dispers Sci Technol [Internet]. 2021 Jul 14;42(9):1368–75. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01932691.2020.1764368>
52. Gorain B, Choudhury H, Biswas E, Barik A, Jaisankar P, Pal TK. A novel approach for nanoemulsion components screening and nanoemulsion assay of olmesartan medoxomil through a developed and validated HPLC method. RSC Adv [Internet]. 2013;3(27):10887. Available from: <https://xlink.rsc.org/?DOI=c3ra41452c>
53. Alzorqi I, Ketabchi MR, Sudheer S, Manickam S. Optimization of ultrasound induced emulsification on the formulation of palm-olein based nanoemulsions for the incorporation of antioxidant  $\beta$ -d-glucan polysaccharides. Ultrason Sonochem [Internet]. 2016 Jul;31:71–84. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1350417715300973>
54. Đoković JB, Savić SM, Mitrović JR, Nikolic I, Marković BD, Randjelović D V., et al. Curcumin Loaded PEGylated Nanoemulsions Designed for Maintained Antioxidant Effects and Improved Bioavailability: A Pilot Study on Rats. Int J Mol Sci [Internet]. 2021 Jul 27;22(15):7991. Available from: <https://www.mdpi.com/1422-0067/22/15/7991>
55. Hagenbush CL. Practical and Theoretical Distinctions between Drugs and Cosmetics. Drug Inf J [Internet]. 1987 Oct 28;21(4):403–8. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/009286158702100405>
56. Lima PB, Dias JAF, Cassiano D, Esposito ACC, Bagatin E, Miot LDB, et al. Concerns on comparing drugs in dermatologic treatments from different suppliers. Int J Dermatol [Internet]. 2021 Feb 19;60(2):256–7. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ijd.15371>
57. REZHIN DHAHIR FATAH RASJ. GREEN CONCEPTS AND MATERIAL FLOW COST ACCOUNTING

- APPLICATIONS FOR MANUFACTURING COMPANY: APPROACH FOR COMPANY SUSTAINABILITY. Russ Law J [Internet]. 2023 Apr 7;11(9s). Available from: <https://russianlawjournal.org/index.php/journal/article/view/1803>
58. Califf RM, McCall J, Mark DB. Cosmetics, Regulations, and the Public Health. JAMA Intern Med [Internet]. 2017 Aug 1;177(8):1080. Available from: <http://archinte.jamanetwork.com/article.aspx?doi=10.1001/jamainternmed.2017.2773>
59. Rocca R, Acerbi F, Fumagalli L, Taisch M. Sustainability paradigm in the cosmetics industry: State of the art. Clean Waste Syst [Internet]. 2022 Dec;3:100057. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2772912522000574>
60. Ratnasari, Fikri Hidayat A, Rahma H. Formulasi Sediaan Nanoemulsi Minyak Biji Rosehip. Bandung Conf Ser Pharm [Internet]. 2024 Aug 14;4(2):585–92. Available from: <https://proceedings.unisba.ac.id/index.php/BCSP/article/view/14563>
61. Larasati SP, Jusnita N. FORMULASI NANOEMULSI EKSTRAK KUNYIT (*Curcuma longa* L.) SEBAGAI ANTIOKSIDAN. J Pharm Sci [Internet]. 2020 Jun 30;3(1):33–41. Available from: <https://journal-jps.com/index.php/jps/article/view/38>
62. - M. Uji Efek Antioksidan Formulasi Nanoemulsi Ekstrak Etanol Daun Parang Romang (*Boehmeria virgata*). J Ilm Pharm [Internet]. 2021 Mar 25;8(1):46–53. Available from: <http://jurnal.stikesalfatah.ac.id/index.php/jiphar/article/view/332>
63. Jusnita N, Syurya WT, Sergianika Perpetua Diaz M. Formulasi Nanoemulsi Ekstrak Temulawak (*Curcuma Xanthorrhiza* Roxb) Dengan Metode Inversi Suhu. J Farm Higea [Internet]. 2019;11(2):144–53. Available from: <http://jurnalfarmasihigea.org/index.php/higea/article/view/229>
64. Priani SE, Putri CA, Eka Darma GC, Mulkiya K, Syafnir L. Formulasi Nanoemulsi Antioksidan Mengandung Ekstrak Etanol Teh Hijau dan Minyak Calendula. Maj Farmasetika [Internet]. 2024 Jan 9;9(2):193. Available from: <https://jurnal.unpad.ac.id/farmasetika/article/view/51095>
65. Cvanić T, Šovljanski O, Popović S, Erceg T, Vulić J, Čanadanović-Brunet J, et al. Progress in Fruit and Vegetable Preservation: Plant-Based Nanoemulsion Coatings and Their Evolving Trends. Coatings. 2023;13(11):1–29.
66. Jamir Y, Bhushan M, Sanjukta R, Robindro Singh L. Plant-based essential oil encapsulated in nanoemulsions and their enhanced therapeutic applications: An overview. Biotechnol Bioeng. 2024;121(2):415–33.
67. Pradita D, Pertiwi I, Limbong YS. Tinjauan Literatur: Mekanisme Antibakteri Ekstrak Kulit Jeruk Purut (*Citrus hystrix* DC.). J Indah Sains dan Klin. 2025;6(1):26–39.
68. Zhou H, Zheng B, McClements DJ. Encapsulation of lipophilic polyphenols in plant-based nanoemulsions: Impact of carrier oil on lipid digestion and curcumin, resveratrol and quercetin bioaccessibility. Food Funct. 2021;12(8):3420–32.