

Optimasi dan Evaluasi Mikroemulsi Minyak Prepupa Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*)

Adhitya Jessica^{1*}, Nabila Maulidya Khairunnisa², Erizal Zaini¹

¹Fakultas Farmasi, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang, 25163. Indonesia

²Program Sarjana, Fakultas Farmasi, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang, 25163. Indonesia

*Corresponding author: adhityajessica@phar.unand.ac.id

Received: November 2024; Accepted: 15 December 2025

Abstract: *Hermetia illucens*, commonly known as the Black Soldier Fly (BSF), is an insect rich in fatty acids and has potential for use as an active cosmetic ingredient, particularly for anti-aging applications. To ensure stability and achieve optimal efficacy, BSF prepupal oil was formulated into a microemulsion system. This study aimed to optimize the microemulsion formulation of BSF prepupal oil using a combination of Tween 80 as a surfactant and PEG 400, Pluronic 127, and ethanol as candidate of cosurfactants, and to evaluate its physicochemical characteristics and stability. The formulation process began with the selection of an appropriate surfactant–cosurfactant combination, followed by optimization of the selected surfactant–cosurfactant concentrations using the Simple Lattice Design method in Design Expert® 13 software. The optimized formulations were then evaluated for organoleptic properties, pH, viscosity, transmittance, globule size, and stability through temperature cycling and centrifugation tests. The results showed that the combination of Tween 80 and PEG 400 produced a stable microemulsion with high clarity. The optimal formulation (F12) consisted of 55.56% Tween 80, 22.22% PEG 400, and 11.11% BSF prepupal oil, exhibiting a transmittance of $98.30 \pm 0.26\%$, a pH range of 5.19–5.70, a viscosity of 375 ± 0.54 cP, and a globule size of 550.71 ± 0.32 nm. This formulation remained stable under thermal stress and accelerated centrifugation without phase separation. Based on these findings, BSF prepupal oil can be effectively formulated into a stable microemulsion and shows potential for further development as an active cosmetic ingredient.

Keywords: black soldier fly, formula, *Hermetia illucens*, microemulsion, optimization.

Abstrak: *Hermetia illucens*, yang dikenal sebagai *Black Soldier Fly* (BSF), merupakan serangga yang kaya akan asam lemak dan memiliki potensi sebagai bahan aktif dalam produk kosmetik, khususnya untuk aplikasi anti-penuaan. Untuk menjamin stabilitas dan memperoleh efektivitas yang optimal, minyak prepupa BSF diformulasikan ke dalam sistem mikroemulsi. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan formulasi mikroemulsi minyak prepupa BSF menggunakan kombinasi Tween 80 sebagai surfaktan dan PEG 400, Pluronic 127, dan etanol sebagai kandidat kosurfaktan, serta mengevaluasi karakteristik fisikokimia dan stabilitasnya. Proses formulasi diawali dengan pemilihan kombinasi surfaktan–kosurfaktan yang sesuai, kemudian dilanjutkan dengan optimasi konsentrasi surfaktan–kosurfaktan terpilih menggunakan metode *Simple Lattice Design* pada perangkat lunak Design Expert® 13. Formula hasil optimasi selanjutnya dievaluasi meliputi uji organoleptis, pH, viskositas, transmitansi, ukuran globul, serta uji stabilitas melalui pengujian siklus suhu dan sentrifugasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi Tween 80 dan PEG 400 mampu menghasilkan mikroemulsi yang stabil dengan tingkat kejernihan tinggi. Formula optimum (F12) terdiri atas 55,56% Tween 80, 22,22% PEG 400, dan 11,11% minyak prepupa BSF, dengan nilai transmitansi sebesar $98,30 \pm 0,26\%$, pH pada kisaran 5,19–5,70, viskositas sebesar $375 \pm 0,54$ cP, serta ukuran globul sebesar $550,71 \pm 0,32$ nm. Formula ini menunjukkan stabilitas yang baik terhadap tekanan termal dan uji sentrifugasi dipercepat tanpa terjadinya pemisahan fase. Berdasarkan hasil tersebut, minyak prepupa BSF dapat diformulasikan secara efektif ke dalam sistem mikroemulsi yang stabil dan berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai bahan aktif kosmetik.

Kata kunci: black soldier fly, formula, *Hermetia illucens*, mikroemulsi, optimasi.

DOI: <https://doi.org/10.15408/pbsj.v7i2.42172>

1. PENDAHULUAN

Black Soldier Fly (BSF) merupakan salah satu sumber biomassa yang kaya akan asam lemak jenuh dan tak jenuh, terutama asam laurat (76,13%), asam linoleat, asam oleat, dan asam palmitat, sehingga berpotensi tinggi digunakan sebagai bahan aktif dalam produk kosmetik alami (Suryati *et al.*, 2023; Muangrat and Pannasai, 2024). Studi sebelumnya menunjukkan bahwa minyak BSF memiliki aktivitas anti penuaan melalui penghambatan enzim hyaluronidase. Selain itu, minyak ini juga menunjukkan aktivitas antioksidan signifikan pada fibroblas yang terpapar radiasi UV-B. Aktivitas penghambatan pembentukan melanin yang sebanding dengan senyawa anti-pigmentasi terkenal seperti asam kojik dan arbutin juga memperkuat potensi minyak BSF sebagai pemutih dalam aplikasi kosmetik (Phongpradist *et al.*, 2023). Meskipun demikian, sifat minyak prepupa BSF yang sangat hidrofobik membatasi penyebaran, penyerapan, dan stabilitasnya ketika digunakan langsung sebagai bahan topikal. Sifat lipofilik yang sangat tinggi cenderung tertahan di stratum korneum sehingga membatasi penetrasi lebih dalam (Christinne and Amalia, 2023). Hal ini membuat sistem penghantaran yang mampu meningkatkan kelarutan dan penetrasinya menjadi sangat diperlukan, terutama untuk aplikasi kosmetik seperti anti-aging.

Beberapa inovasi dalam teknologi kosmetik melibatkan penggunaan mikroemulsi sebagai salah strategi formulasi. Mikroemulsi mampu menyediakan media yang stabil untuk senyawa hidrofobik seperti minyak BSF serta meningkatkan stabilitas fisikokimia dan efikasinya (Jamir *et al.*, 2024). Stabilitas kinetik yang tinggi dan ukuran globul yang kecil juga memfasilitasi penetrasi ke dalam kulit, sehingga meningkatkan potensi efek terapeutik (Ting *et al.*, 2020; Hasan and Farooqui, 2021). Sebagian besar penelitian terdahulu melaporkan karakterisasi kimia dan aktivitas biologis minyak BSF (Almeida, Rijo and Rosado, 2020), sementara kajian mengenai pengembangan sistem penghantaran topikal masih relatif terbatas. Studi mengenai pengembangan sistem penghantaran topikal, khususnya formulasi mikroemulsi, masih sangat terbatas. Lebih jauh lagi, minyak prepupa BSF belum pernah diformulasikan dalam bentuk mikroemulsi, padahal fase prepupa dilaporkan memiliki profil asam lemak yang berbeda dan berpotensi memberikan aktivitas antioksidan yang lebih baik dibanding fase larva. Minyak prepupa BSF yang digunakan dalam penelitian ini relatif mudah diperoleh, mengingat BSF telah dibudidayakan secara luas di Indonesia dan negara-negara lain untuk pengelolaan limbah organik dan produksi pakan. Prepupa BSF merupakan tahap siklus hidup yang dapat dipanen secara massal, sehingga minyak yang dihasilkan memiliki potensi ketersediaan yang berkelanjutan dan berskala besar (Lan *et al.*, 2022). Studi sebelumnya menggunakan minyak larva BSF berhasil membentuk mikroemulsi dengan hydrogenated lecithin (HL) sebagai surfaktan dan α -tocopheryl polyethylene glycol 1000 succinate sebagai kosurfaktan (Chou *et al.*, 2020). Namun, HL memiliki kelarutan dalam air yang rendah sehingga membatasi fleksibilitas dan efektivitasnya dalam formulasi topikal. Pemilihan surfaktan dan kosurfaktan merupakan faktor krusial dalam pembentukan sistem mikroemulsi yang stabil, jernih, dan sesuai untuk aplikasi topikal. Surfaktan berperan menurunkan tegangan antarmuka antara fase minyak dan fase air, sedangkan kosurfaktan berfungsi meningkatkan fleksibilitas lapisan antarmuka serta memperluas wilayah terbentuknya mikroemulsi (Golwala *et al.*, 2020). Kombinasi surfaktan dan kosurfaktan yang tepat akan menentukan ukuran globul, stabilitas kinetik, dan karakteristik fisikokimia sediaan.

Pada penelitian ini, digunakan Tween 80 sebagai surfaktan. Tween 80 (polisorbat 80) merupakan surfaktan nonionik dengan nilai HLB tinggi (~15), sehingga sangat sesuai digunakan untuk membentuk mikroemulsi tipe minyak-dalam-air (Taylor, 2022). Tween 80 banyak digunakan dalam formulasi kosmetik dan farmasi karena memiliki profil keamanan yang baik, tidak bersifat iritan, serta mampu menstabilkan sistem dispersi yang mengandung bahan aktif lipofilik (Ravichandran *et al.*, 2021). Selain itu, Tween 80 diketahui efektif dalam menghasilkan sistem mikroemulsi yang jernih dan stabil melalui pembentukan lapisan antarmuka yang kuat antara fase minyak dan air. Tiga jenis kosurfaktan digunakan sebagai kandidat dalam tahap pemilihan kosurfaktan pada penelitian ini, yaitu PEG 400, Pluronic F127, dan etanol, untuk dikombinasikan dengan Tween 80 sebagai surfaktan utama. Pemilihan ketiga kosurfaktan tersebut didasarkan pada pertimbangan sifat fisikokimia, kompatibilitas dengan surfaktan nonionik, serta riwayat penggunaannya dalam sistem mikroemulsi topikal. PEG 400 dipilih karena bersifat hidrofilik, memiliki kelarutan tinggi dalam air, serta mampu meningkatkan fleksibilitas lapisan

antarmuka yang dibentuk oleh Tween 80, sehingga berkontribusi pada pembentukan mikroemulsi tipe minyak-dalam-air yang jernih dan stabil (Taher *et al.*, 2022). Berbagai studi sebelumnya melaporkan bahwa kombinasi Tween 80 dan PEG 400 efektif dalam menurunkan tegangan antarmuka, menghasilkan globul berukuran kecil, serta meningkatkan stabilitas fisik mikroemulsi untuk bahan aktif lipofilik.

Pluronic F127 dipertimbangkan sebagai kandidat kosurfaktan karena merupakan surfaktan nonionik berbasis blok kopolimer poli(etilena oksida)–poli(propilen oksida)–poli(etilena oksida) yang diketahui mampu meningkatkan stabilitas sistem dispersi dan telah digunakan dalam formulasi mikroemulsi maupun nanoemulsi untuk aplikasi topikal (Mendonça *et al.*, 2016). Sementara itu, etanol dipilih sebagai kandidat kosurfaktan pembanding karena merupakan molekul kecil yang mampu menurunkan tegangan antarmuka secara cepat dan sering digunakan dalam studi mikroemulsi untuk memperluas wilayah terbentuknya mikroemulsi, meskipun sifatnya yang volatil dan potensi iritasi membatasi penggunaannya dalam sediaan topikal jangka panjang (Ferreira *et al.*, 2020).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk pengembangan dan karakterisasi pengembangan dan karakterisasi sistem mikroemulsi berbasis minyak prepupa BSF sebagai alternatif bahan aktif lipid alami yang berpotensi diaplikasikan dalam sediaan topikal. Penelitian ini fokus pada upaya meningkatkan stabilitas fisik dan kualitas sistem penghantaran minyak prepupa BSF melalui pendekatan formulasi mikroemulsi, mengingat minyak tersebut bersifat hidrofobik dan rentan mengalami ketidakstabilan bila diformulasikan secara konvensional. Pemilihan kombinasi surfaktan dan kosurfaktan yang tepat menjadi aspek kunci dalam menghasilkan mikroemulsi yang stabil, jernih, dan sesuai untuk penggunaan topikal. Penelitian ini menggunakan Tween 80 sebagai surfaktan dan beberapa kandidat kosurfaktan yaitu PEG 400, Pluronic 127, dan etanol. Formula terbaik ditentukan berdasarkan evaluasi organoleptis, pH, viskositas, transmitan, ukuran globul, dan stabilitas fisik.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi minyak prepupa Black Soldier Fly (Laboratorium Biologi, Universitas Andalas), Tween 80 (Bratachem, Indonesia), Pluronic F127 (Sigma-Aldrich, Amerika Serikat), metanol (Merck, Jerman), bentonit (T&T Chemical, Indonesia), etanol (Merck, Jerman), kalium hidroksida (Jaya Maimi Medical, Indonesia), asam askorbat (Bratachem, Indonesia), asam fosfat (Nitra Kimia, Indonesia), indikator fenoltalein (Nitra Kimia, Indonesia), natrium hidroksida (Nitra Kimia, Indonesia), asam klorida (Bratachem, Indonesia), kalsium klorida (Nitra Kimia, Indonesia), natrium borat (Nitra Kimia, Indonesia), serta akuades (Bratachem, Indonesia).

2.2 Penjernihan Minyak Prepupa BSF

Minyak prepupa BSF dijernihkan dengan proses *degumming*, *dewaxing*, dan *bleaching*. Proses *degumming* dan *dewaxing* dilakukan dengan memanaskan 100 g minyak prepupa BSF hingga 70 °C, dicampur dengan 0,2 ml 99% H₃PO₄ (b/v), diaduk selama 30 menit. Selanjutnya, minyak prepupa BSF dinetralkan dengan penambahan 10 g larutan NaOH 15% (b/v) dan diaduk selama 30 menit, kemudian disentrifugasi pada 6000 rpm selama 5 menit. Proses *bleaching* dilakukan dengan penambahan 0,5 g karbon aktif dan 1,5 g bentonit *clay*, sampel diaduk dengan *magnetic stirrer* pada kecepatan 150 rpm selama 30 menit dan disaring menggunakan kertas saring (Grade No.1 Whatman®) (Chou *et al.*, 2020).

2.3 Optimasi Formula Mikroemulsi Minyak Prepupa BSF

a. Pembuatan Mikroemulsi Minyak Prepupa BSF

Pembuatan mikroemulsi minyak prepupa BSF dimulai dengan mencampurkan surfaktan dan kosurfaktan menggunakan *hotplate stirrer* (Thermo Scientific Chimarec, Finlandia) selama 10 menit

pada suhu 37 °C dan kecepatan 250 rpm. Setelah itu, minyak prepupa BSF ditambahkan dan diaduk selama 20 menit pada kondisi yang sama, sambil perlahan-lahan ditambahkan air.

b. Penentuan Kombinasi Surfaktan dan Kosurfaktan

Penentuan kombinasi surfaktan dan kosurfaktan bertujuan untuk menentukan pasangan kosurfaktan yang paling cocok dengan Tween 80 untuk membentuk sistem mikroemulsi stabil. Kandidat kosurfaktan yang digunakan sebagai kombinasi Tween 80 adalah Pluronic F127, etanol, dan PEG 400. Komposisi dari setiap kombinasi dapat dilihat pada Tabel 1. Kombinasi terbaik dipilih berdasarkan pengamatan organoleptis dan transmittan.

Tabel 1: Kombinasi surfaktan dan kosurfaktan

Formula	Bahan (%)					
	Tw80	F127	Et	PEG	BSF	Air
F1	81,81	0,9	-	-	9	8,29
F2	72,72	1,81	-	-	9	16,47
F3	63,63	2,72	-	-	9	24,65
F4	75	-	8,33	-	8,33	8,34
F5	66,67	-	16,67	-	8,33	8,34
F6	58,33	-	25	-	8,33	8,34
F7	75	-	-	8,33	8,33	8,34
F8	66,67	-	-	16,67	8,33	8,34
F9	58,33	-	-	25	8,33	8,34

Ket: Tw 80: Tween 80, F127: Pluronic F127, Et: etanol, PEG: PEG 400, BSF: minyak prepupa BSF

c. Optimasi Konsentrasi Surfaktan dan Kosurfaktan Terpilih

Kombinasi surfaktan dan kosurfaktan terpilih selanjutnya dimasukkan ke dalam perangkat lunak Design Expert 13 (Stat-ease, USA) dengan metode *Simple Lattice Design*. Rasio surfaktan dan kosurfaktan kemudian divariasikan untuk menentukan batas atas dan batas bawah yang akan digunakan. Konsentrasi optimal surfaktan dan kosurfaktan kemudian dipilih berdasarkan pengamatan organoleptis, pH, dan transmittan.

2.4 Evaluasi Mikroemulsi Minyak Prepupa BSF

a. Pengamatan Organoleptis

Organoleptis mikroemulsi yang diperhatikan adalah kejernihan, warna, dan bau menggunakan panca indra dengan bantuan penyinaran yang adekuat. Bau mikroemulsi dievaluasi untuk memastikan mikroemulsi memberikan bau netral atau menyenangkan.

b. Pengujian pH

Pengujian pH dilakukan terhadap F10, F11, F12, dan F13 menggunakan pH meter (Hanna Instrument, Jerman). Alat dikalibrasi terlebih dahulu menggunakan larutan standar pH 4 dan 9. Elektroda dicuci dengan air destilasi dan kemudian dikeringkan. Pengukuran dilakukan dengan mencelupkan elektroda ke dalam larutan uji. Angka yang ditunjukkan oleh pH meter merupakan nilai pH dari sediaan.

c. Viskositas

Pengujian viskositas mikroemulsi formula terpilih (F11 dan F12) dilakukan menggunakan viskometer Brookfield DV2T (USA). Sampel mikroemulsi disiapkan dalam gelas piala dan dipastikan tidak ada gelembung udara. Kemudian *spindle* nomor 3 dipasang dan direndam sepenuhnya dalam sampel tanpa menyentuh dasar wadah. Pengukuran dilakukan pada suhu ruang (25 ± 1 °C) dengan kecepatan rotasi 100 rpm hingga nilai viskositas stabil terbaca dalam satuan centipoise (cP). Setiap formula diukur sebanyak tiga kali (Pharmaheri, Umar and Lucida, 2024).

d. *Pengukuran Transmittan*

Pengukuran transmittan dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu type UV-1280, Japan) pada panjang gelombang 650 nm, dengan akuades sebagai blanko (Sihny, Azkia and Kunarto, 2020).

e. *Ukuran Globul*

Pengukuran ukuran globul mikroemulsi F11 dan F12 dilakukan menggunakan *particle size analyzer* (PSA), Shimadzu SALD-2300. Sekitar 1 ml mikroemulsi dimasukkan ke dalam PSA. Sumber cahaya (laser) yang digunakan dalam PSA pada penelitian ini bekerja berdasarkan prinsip *Dynamic Light Scattering* (DLS). Pengukuran dengan PSA dilakukan pada suhu ruang (25 ± 1 °C). Selanjutnya, rata-rata ukuran globul berdasarkan grafik yang diperoleh (Jessica *et al.*, 2024).

f. *Uji Siklus Suhu*

Uji siklus suhu dilakukan pada mikroemulsi F11 dan F12. Satu sampel dari setiap formulasi diuji dalam 3 siklus. Setiap siklus terdiri atas penyimpanan selama 48 jam pada suhu 4 °C, diikuti selama 48 jam pada suhu 40 °C. Pada akhir siklus, diamati organoleptis dari setiap formulasi. (Mauludin, Mohamad and Suciati, 2014).

g. *Uji Sentrifugasi*

Sebanyak 5 mL sampel dimasukkan ke dalam tabung sentrifugasi, kemudian disentrifugasi pada kecepatan 3500 rpm selama 5 jam. Pengamatan terhadap sampel dilakukan setiap interval 1 jam untuk memastikan tidak terjadinya pemisahan fase (Mauludin, Mohamad and Suciati, 2014).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Penjernihan Minyak Prepupa BSF

Minyak prepupa BSF sebelum penjernihan tampak keruh dan memiliki bau menyengat, yang mengindikasikan keberadaan senyawa pengotor seperti fosfolipid, lilin, pigmen, dan senyawa volatil. Proses penjernihan melalui tahapan *degumming*, *dewaxing*, dan *bleaching* menghasilkan minyak yang lebih jernih dan berbau netral, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 (kanan). Proses penjernihan merupakan tahap penting dalam pengembangan sistem mikroemulsi karena keberadaan pengotor dapat mengganggu pembentukan lapisan antarmuka antara fase minyak dan fase air. Pengotor seperti fosfolipid dan lilin dapat meningkatkan ketidakstabilan sistem dengan memicu agregasi globul serta menurunkan kejernihan sediaan. Hasil ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang melaporkan bahwa fosfolipid dan lilin sebagai pengotor dapat merusak stabilitas emulsi (Kampa, Frazier and Rodriguez-Garcia, 2022). Dengan demikian, penjernihan minyak prepupa BSF menjadi prasyarat penting untuk memperoleh mikroemulsi yang stabil secara fisik.



Gambar 1: Minyak prepupa BSF sebelum (kiri) dan sesudah penjernihan (kanan)

3.2. Penentuan Kombinasi Surfaktan dan Kosurfaktan

Hasil kombinasi surfaktan dan kosurfaktan menunjukkan bahwa kombinasi Tween 80 dan PEG 400 (F7, F8, dan F9) menghasilkan mikroemulsi dengan kejernihan dan nilai transmittan yang lebih tinggi dibandingkan kombinasi Tween 80 dengan Pluronic F127 maupun etanol (Tabel 2). Meskipun kombinasi Tween 80–Pluronic F127 (F1 dan F2) menunjukkan nilai transmittan awal yang tinggi, terbentuknya kekeruhan setelah penyimpanan menunjukkan ketidakstabilan kinetik sistem. Hal ini diduga berkaitan dengan rendahnya kelarutan Pluronic F127 dalam fase air serta keterbatasannya dalam mempertahankan fleksibilitas lapisan antarmuka. Fenomena ini konsisten dengan studi lain yang menyatakan bahwa kosurfaktan dengan kelarutan air tinggi seperti PEG 400 lebih efektif dalam memperluas daerah mikroemulsi dan mempertahankan kejernihan sistem dibandingkan kosurfaktan yang bersifat lebih hidrofobik (Sapra *et al.*, 2014; Taher *et al.*, 2022).

Tabel 2: Hasil pengamatan pengaruh kombinasi surfaktan dan kosurfaktan terhadap organoleptis dan transmittan.

Formula	Evaluasi	
	Organoleptis	T (%)
F1	Jernih	97,2
F2	Jernih	93,4
F3	Keruh	85,3
F4	Keruh	80,4
F5	Keruh	56,9
F6	Keruh	2,4
F7	Jernih	98
F8	Jernih	97,4
F9	Jernih	95

Ket: T: transmittan

3.3. Optimasi Konsentrasi Surfaktan dan Kosurfaktan Terpilih

Tabel 3 merupakan rancangan optimasi konsentrasi Tween 80 dan PEG 400 sebagai kombinasi surfaktan-kosurfaktan terpilih. Proses optimasi menggunakan perangkat lunak Design Expert 13 dengan metode *Simple Lattice Design*. Variasi komposisi dan jumlah pengulangan ditentukan secara sistematis (Nahdhia *et al.*, 2024). Pada tahap ini, Design Expert tidak hanya menentukan variasi komposisi Tween 80 dan PEG 400, tetapi juga menetapkan jumlah pengulangan (*replicate*) pada titik formulasi tertentu. Optimasi konsentrasi ini menghasilkan empat formula (F10–F13) dengan jumlah pengulangan yang berbeda-beda. Design Expert secara khusus menyarankan pengulangan pada titik formulasi tertentu (seperti F12) karena titik tersebut berada pada area komposisi yang diprediksi sensitif terhadap perubahan kecil rasio Tween80–PEG 400.

Tabel 3: Desain optimasi konsentrasi Tween 80 dan PEG 400 sebagai kombinasi surfaktan dan kosurfaktan terpilih.

Formula	Bahan (%)				Pengulangan
	Tw80	PEG	BSF	Air	
F10	66,67	11,11	11,11	11,11	2
F11	61,11	16,67	11,11	11,11	1
F12	55,56	22,22	11,11	11,11	3
F13	44,44	33,33	11,11	11,11	1

Ket: Tw 80: Tween 80, F127: Pluronic F127®, Et: etanol, PEG: PEG 400, BSF: minyak prepupa BSF

Tabel 4 menunjukkan hasil evaluasi organoleptis, transmittan dan pH dari optimasi konsentrasi tween 80 dan PEG 400. Perbedaan kecil hasil antar pengulangan pada komposisi yang sama mencerminkan variabilitas eksperimental yang digunakan untuk mengestimasi kesalahan murni dan meningkatkan ketepatan model prediktif, bukan menunjukkan ketidakreprodusibelan formulasi (Fukuda *et al.*, 2018).

Tabel 2: Hasil pengamatan pengaruh konsentrasi Tween 80 dan PEG 400 terhadap organoleptis, transmitan, dan pH

Formula	Evaluasi		
	Organoletis	T (%)	pH
F10	Jernih	95,1	4,92
F10	Jernih	95,4	4,6
F11	Jernih	97,4	5,3
F12	Jernih	98	5,19
F12	Jernih	98,4	5,7
F12	Jernih	98,5	5,4
F13	Jernih	97	4,47

Ket: T: transmitan

F11 dan F12 memiliki nilai transmitan tertinggi di antara seluruh formula yang diuji. Parameter transmitan digunakan sebagai respon utama pada tahap ini karena mencerminkan tingkat kejernihan sistem, yang merupakan karakteristik awal penting dalam pembentukan mikroemulsi. Sementara itu, seluruh formula menunjukkan nilai pH yang berada dalam rentang yang dapat diterima, sehingga pH tidak menjadi faktor pembeda utama dalam pemilihan formula pada tahap optimasi ini. Peningkatan konsentrasi PEG 400 menunjukkan korelasi positif terhadap peningkatan nilai transmitan dan kejernihan mikroemulsi pada formula F11 dan F12. PEG 400 berperan dalam meningkatkan fluiditas lapisan antarmuka serta menurunkan tegangan antarmuka antara fase minyak dan air, sehingga mendukung pembentukan globul yang lebih kecil dan homogen. Hasil ini sejalan dengan studi lain yang melaporkan bahwa peningkatan konsentrasi PEG 400 dalam mikroemulsi minyak atsiri berkontribusi pada peningkatan stabilitas sistem dan kejernihan sediaan (Shabrina, Pratiwi and Muurukmihadi, 2020; Arifin *et al.*, 2024).

Meskipun secara umum peningkatan konsentrasi PEG 400 sebagai kosurfaktan dapat meningkatkan nilai transmitan, hubungan tersebut tidak bersifat linier tanpa batas. Pada Formula 13 (F13), penurunan nilai transmitan terjadi akibat penurunan konsentrasi Tween 80 yang terlalu signifikan, sehingga peran utama surfaktan dalam menurunkan tegangan antarmuka tidak lagi optimal. Dalam sistem mikroemulsi, Tween 80 berfungsi sebagai surfaktan utama yang bertanggung jawab terhadap pembentukan dan stabilisasi lapisan antarmuka antara fase minyak dan fase air. PEG 400 berperan sebagai kosurfaktan yang meningkatkan fleksibilitas lapisan antarmuka, namun tidak dapat menggantikan sepenuhnya fungsi surfaktan utama. Pada F13, meskipun konsentrasi PEG 400 lebih tinggi, penurunan konsentrasi Tween 80 menyebabkan penurunan kemampuan sistem dalam menurunkan tegangan antarmuka, pembentukan globul yang kurang homogen, dan meningkatnya hamburan cahaya akibat ukuran globul yang lebih besar atau distribusi yang lebih lebar. Fenomena ini mencerminkan adanya titik optimum komposisi, di mana peningkatan PEG 400 hanya efektif meningkatkan transmitan selama konsentrasi Tween 80 masih berada pada level yang cukup untuk menstabilkan antarmuka. Ketika konsentrasi Tween 80 turun melewati batas optimum, efek positif PEG 400 tidak lagi mampu mengkompensasi kekurangan surfaktan utama.

Pemilihan dua formula terbaik, yaitu F11 dan F12, dilakukan sebagai langkah antisipatif untuk memastikan bahwa formula dengan nilai transmitan tertinggi tetap memenuhi parameter mutu lainnya pada tahap evaluasi lanjutan. Hal ini mengingat bahwa optimasi awal hanya mempertimbangkan transmitan dan pH, sedangkan karakteristik mikroemulsi yang baik ditentukan oleh berbagai parameter lain, seperti viskositas, ukuran globul, dan stabilitas fisik (Lawrence and Rees, 2000). Oleh karena itu, evaluasi lanjutan dilakukan untuk mengonfirmasi bahwa formula terpilih tidak hanya unggul dalam kejernihan, tetapi juga memenuhi kriteria mikroemulsi yang baik secara keseluruhan.

3.4. Evaluasi Sediaan Mikroemulsi Minyak Prepupa BSF

Hasil evaluasi lengkap terhadap mutu sediaan mikroemulsi formula F11 dan F12, yang meliputi karakteristik fisikokimia dan stabilitas sediaan, disajikan pada Tabel 5.

Tabel 3: Hasil evaluasi 2 formula terpilih (F11 dan F12)

Evaluasi	Formula		Syarat
	F11	F12	
Organoleptis			
○ Bentuk	Jernih	Jernih	Jernih
○ Warna	Kuning	Kuning	Kuning
○ Bau	Netral	Netral	Netral
pH	6,91 ± 0,17	7,43 ± 0,25	4,5 – 8,0
Viskositas (cP)	423 ± 1,01	375 ± 0,54	250-650
Transmitan (%)	97,01 ± 0,16	98,30 ± 0,26	>95
Ukuran globul (nm)	1140,32 ± 1,73	550,71 ± 0,32	25 – 2500
Uji stabilitas			
○ Siklus suhu	Stabil	Stabil	Stabil
○ Sentrifugasi	Stabil	Stabil	Stabil

Penampilan mikroemulsi sangat penting karena menentukan penerimaan dan stabilitas mikroemulsi dalam berbagai aplikasi, termasuk kosmetik. Pemeriksaan organoleptis pada mikroemulsi minyak prepupa BSF dilakukan dengan mengamati atribut sensorik yaitu bentuk, warna, dan bau (Salwa, Abd Kadir and Sulistyowati, 2020). Walaupun hanya memberikan data secara kualitatif, pengamatan ini cukup efisien dan efektif dalam *skrining* awal formula untuk mikroemulsi. Formula yang terlihat keruh tentu saja tidak perlu diikutkan dalam evaluasi lanjutan sehingga mudah dalam memilih formula yang lebih baik. Pada Gambar 2, terlihat bahwa F11 dan F12 memenuhi kriteria organoleptis, yaitu homogen dan kuning jernih. Selain itu, kedua formula ini juga tidak berbau tengik atau netral.



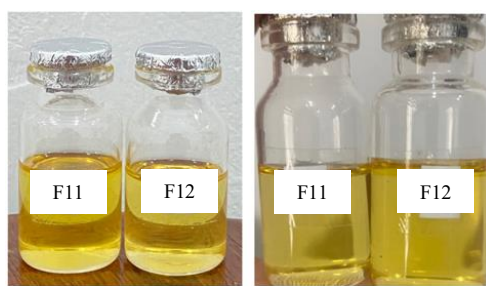
Gambar 2: Organoleptis mikroemulsi minyak prepupa BSF F11 dan F12

Berdasarkan evaluasi pH, terjadi peningkatan nilai pH mikroemulsi setelah penambahan minyak prepupa BSF dibandingkan dengan basis mikroemulsi tanpa bahan aktif. Hal ini dapat dikaitkan dengan karakteristik kimia minyak prepupa BSF itu sendiri. Minyak prepupa BSF mengandung asam lemak dengan dominasi asam lemak rantai panjang. Dalam sistem terdispersi, derajat ionisasi asam lemak sangat rendah, kehadirannya tidak menurunkan pH secara signifikan dan pada sistem tertentu justru dapat meningkatkan pH terutama jika dalam bentuk terasosiasi dengan surfaktan nonionik (Gunstone and Harwood, 2007). Akan tetapi, nilai pH kedua formula masih berada dalam rentang pH sediaan topikal (4,5–8,0) (Lachman, Lieberman and Kanig, 1976). pH yang sesuai dengan pH fisiologis kulit sangat penting untuk mencegah iritasi dan menjaga integritas skin barrier, terutama pada sediaan kosmetik yang digunakan secara berulang. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang sebelumnya, bahwa mikroemulsi topikal dengan pH mendekati pH kulit menunjukkan tingkat tolerabilitas yang lebih baik dan risiko iritasi yang lebih rendah (Leite, Miguel and Pierre, 2023).

Hasil pengukuran viskositas F11 dan F12 dapat dilihat pada Tabel 5. F12 memiliki viskositas relatif lebih rendah dibandingkan F11, yang berkorelasi dengan konsentrasi PEG 400 yang lebih tinggi. Penurunan viskositas ini disebabkan oleh peningkatan fluiditas sistem akibat peran PEG 400 sebagai kosurfaktan yang mengurangi gaya kohesif antar globul, sehingga menghasilkan sistem yang lebih

mudah mengalir dan diaplikasikan. Hasil ini selaras dengan studi yang pernah dilakukan. Peningkatan konsentrasi PEG 400 dapat menyebabkan penurunan viskositas pada mikroemulsi minyak kepayang dan minyak nilam. PEG pada konsentrasi 26% (F12: 22,22%) merupakan formula terbaik pada mikroemulsi minyak nilam (Maharini, Rismarika and Yusnelti, 2020; Shabrina, Pratiwi and Muurukmihadi, 2020). Viskositas formula F12 yang lebih rendah dibandingkan F11 tidak hanya dipengaruhi oleh peningkatan konsentrasi PEG 400 sebagai kosurfaktan, tetapi juga berkaitan dengan penurunan konsentrasi Tween 80 dalam komposisi formula. Tween 80 merupakan surfaktan dengan rantai polioksietilen panjang yang dapat meningkatkan viskositas sistem melalui pembentukan jaringan antarmolekul dan peningkatan fraksi fase terstruktur. Penurunan fraksi Tween 80 pada F12 menyebabkan berkurangnya interaksi antarsurfaktan, sehingga sistem menjadi lebih fluida (Taher *et al.*, 2022).

Rentang viskositas mikroemulsi bervariasi tergantung tujuannya. Pada studi ini, mikroemulsi yang dihasilkan disyaratkan berada pada kisaran 250 hingga 650 cP. Rentang ini ditetapkan berdasarkan hasil penelitian lain yang menyatakan bahwa viskositas mikroemulsi yang berkisar antara 222,4 hingga 681,13 cP menunjukkan kemudahan aplikasi dan potensi permeasi kulit yang baik (Jamali *et al.*, 2024). Hasil pengujian viskositas menunjukkan bahwa F11 dan F12 berada dalam rentang viskositas yang ditargetkan. Formula F12 menunjukkan ukuran globul yang lebih kecil (550,71 nm) dibandingkan F11. Ukuran globul yang lebih kecil berkontribusi pada peningkatan stabilitas kinetik mikroemulsi serta memperbesar luas permukaan kontak, yang berpotensi meningkatkan penetrasi minyak prepupa BSF ke dalam lapisan kulit (Chen *et al.*, 2012).

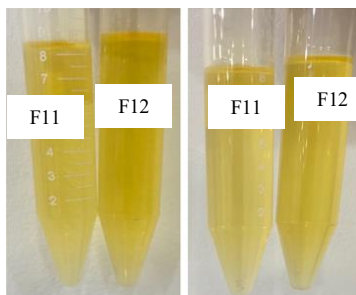


Gambar 3: F11 dan F12 sebelum (kiri) dan setelah (kanan) uji siklus suhu

Uji siklus suhu bertujuan untuk mengevaluasi ketahanan fisik awal sistem mikroemulsi terhadap fluktuasi suhu selama penyimpanan, khususnya dalam mendeteksi kecenderungan awal terjadinya instabilitas seperti koalesensi globul atau pemisahan fase (Becher, 1993). Tidak terjadinya perubahan fisik pada F11 dan F12 (Gambar 3) menunjukkan bahwa sistem mikroemulsi yang terbentuk memiliki stabilitas fisik awal yang baik terhadap variasi suhu. Stabilitas ini diduga berkaitan dengan keberhasilan kombinasi Tween 80 dan PEG 400 dalam membentuk lapisan antarmuka yang fleksibel dan adaptif terhadap perubahan suhu. Tween 80 berperan menurunkan tegangan antarmuka, sedangkan PEG 400 meningkatkan fluiditas lapisan antarmuka, sehingga sistem mampu mempertahankan struktur mikroemulsi selama siklus suhu berlangsung. Meskipun uji siklus memberikan gambaran awal mengenai stabilitas fisik mikroemulsi, pengujian ini tidak dapat disamakan dengan uji *freeze-thaw* yang melibatkan suhu beku dan mencerminkan stres termal yang lebih ekstrem. Oleh karena itu, hasil uji siklus dalam penelitian ini diinterpretasikan sebagai indikator stabilitas fisik awal, bukan sebagai bukti stabilitas jangka panjang. Beberapa penelitian sebelumnya melaporkan bahwa uji siklus suhu dapat digunakan sebagai metode skrining awal stabilitas sistem mikroemulsi dan emulsi, terutama untuk mengidentifikasi formulasi yang berpotensi mengalami instabilitas dini sebelum dilakukan uji stabilitas lanjutan yang lebih komprehensif (Eastoe, Robinson and Steytler, 1990; Iradhati and Jufri, 2017).

Uji sentrifugasi pada mikroemulsi F11 dan F12 menunjukkan tidak terjadinya pemisahan fase, yang mengindikasikan stabilitas fisik awal yang baik terhadap gaya mekanik dan percepatan gravitasi (Chen *et al.*, 2012). Hasil ini berkorelasi erat dengan temuan sebelumnya, khususnya ukuran globul yang relatif kecil dan homogen—terutama pada F12—serta keberhasilan kombinasi Tween 80 dan PEG 400 dalam membentuk lapisan antarmuka yang kuat dan fleksibel (Golwala *et al.*, 2020). Ukuran globul

yang lebih kecil berkontribusi pada penurunan kecenderungan sedimentasi dan koalesensi selama sentrifugasi, sementara keberadaan PEG 400 sebagai kosurfaktan meningkatkan fluiditas dan elastisitas lapisan antarmuka sehingga mampu menahan stres mekanik. Selain itu, nilai viskositas yang berada dalam rentang optimal turut menghambat pergerakan globul dan mendukung kestabilan sistem. Secara keseluruhan, konsistensi antara hasil uji sentrifugasi dengan data ukuran globul, viskositas, dan kejernihan mengonfirmasi bahwa mikroemulsi minyak prepupa BSF yang dikembangkan memiliki stabilitas kinetik yang baik dan layak untuk dilanjutkan ke tahap pengujian stabilitas yang lebih komprehensif.



Gambar 4. F11 dan F12 sebelum (kiri) dan setelah (kanan) uji sentrifugasi

Berbeda dari penelitian sebelumnya yang umumnya berfokus pada minyak larva BSF dan sistem nanoemulsi berbasis lecithin, penelitian ini menunjukkan bahwa minyak prepupa BSF dapat diformulasikan secara stabil dalam sistem mikroemulsi menggunakan kombinasi Tween 80 dan PEG 400 yang dioptimalkan secara sistematis, menghasilkan ukuran globul kecil, stabilitas tinggi, dan karakteristik fisikokimia yang sesuai untuk aplikasi kosmetik. Akan tetapi, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena belum dilakukan uji pelepasan maupun uji penetrasi kulit. Uji pelepasan dan penetrasi kulit diperlukan pada penelitian lanjutan untuk memverifikasi kinerja fungsional mikroemulsi minyak prepupa BSF sebagai sistem penghantaran topikal.

3 KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan mengoptimalkan formulasi mikroemulsi minyak prepupa Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) menggunakan kombinasi Tween 80 dan PEG 400 melalui pendekatan Simple Lattice Design. Formula optimal (F12) dengan komposisi Tween 80 55,56%, PEG 400 22,22%, dan minyak prepupa BSF 11,11% menunjukkan karakteristik fisikokimia yang baik, ditandai oleh kejernihan tinggi, pH yang sesuai dengan pH fisiologis kulit, viskositas yang memenuhi persyaratan aplikasi topikal, ukuran globul kecil dan homogen ($550,71 \pm 0,32$ nm), serta stabilitas yang baik terhadap uji siklus suhu dan sentrifugasi. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi surfaktan nonionik hidrofilik mampu membentuk sistem mikroemulsi yang stabil dan berpotensi meningkatkan kinerja minyak prepupa BSF sebagai bahan aktif kosmetik.

4. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Fakultas Farmasi Universitas Andalas yang telah mendanai penelitian ini dengan nomor kontrak: 26/UN16.10.D/PJ.01/2024.

5. REFERENSI

- Almeida, C., Rijo, P., Rosado, C., 2020. Bioactive Compounds from *Hermetia Illucens* Larvae as Natural Ingredients for Cosmetic Application. *Biomolecules*. 10, 976. <https://doi.org/10.3390/biom10070976>.
- Arifin, I., Muddin, M.I., Kabur, S.R., Shabrina, A., 2024. Stabilitas Kimia Mikroemulsi Minyak Biji Pala (*Myristica Fragrans*) dengan Tween 80 dan Etanol Sebagai Surfaktan dan Kosurfaktan. *Cendekia Eksakta*. 9, 46–52.
- Becher, P., 1993. Review of: 'The Fundamentals of Stability Testing' (IFSCC Monograph No. 2). International Federation of Societies of Cosmetic Chemists. Micelle Press, Cranford, NJ, 1992. pp. 23. \$10.00

- (paper). (ISBN 1-870228-06-05). J. Dispers. Sci. Technol. 14, 514.
- Chen, L., Tan, F., Wang, J., Liu, F., 2012. Microemulsion: a novel transdermal delivery system to facilitate skin penetration of indomethacin. *Die Pharm. Int. J. Pharm. Sci.* 67, 319–323.
- Chou, T., Nugroho, D.S., Cheng, Y., Chang, J., 2020. Development and Characterization of Nano-emulsions Based on Oil Extracted from Black Soldier Fly Larvae. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 191, 331–345. <https://doi.org/10.1007/s12010-019-03210-y>.
- Christinne, N., Amalia, E., 2023. Senyawa Peningkat Penetrasi pada Sistem Penghantaran Obat Topikal Berdasarkan Lipofilisitas Senyawa Obat. *Maj. Farmasetika* 8, 386–401. <https://doi.org/https://doi.org/10.24198/mfarmasetika.v8i5.47418>.
- Eastoe, J., Robinson, B.H., Steytler, D.C., 1990. Influence of pressure and temperature on microemulsion stability. *J. Chem. Soc. Faraday Trans.* 86, 511–517.
- Ferreira, A.C., Sullo, A., Winston, S., Norton, I.T., 2020. Influence of ethanol on emulsions stabilized by low molecular weight surfactants. *J. Food Sci.* 85, 28–35.
- Fukuda, I.M., Pinto, C.F.F., Moreira, C.D.S., Saviano, A.M., Laurencio, F.R., 2018. Design of experiments (DoE) applied to pharmaceutical and analytical quality by design (QbD). *Brazilian J. Pharm. Sci.* 54, 1–16. <https://doi.org/10.1590/s2175-97902018000001006>.
- Golwala, P., Rathod, S., Patil, R., 2020. Effect of cosurfactant addition on phase behavior and microstructure of a water dilutable microemulsion. *Colloids Surfaces B Biointerfaces* 186, 110736.
- Gunstone, F.D., Harwood, J.L., 2007. *The lipid handbook with CD-ROM*. CRC press.
- Hasan, A., Farooqui, H., 2021. A review on role of essential oil as penetration enhancer in transdermal drug delivery system. *Syst. Rev. Pharm* 12, 439–444.
- Iradhati, A.H., Jufri, M., 2017. Formulation and physical stability test of griseofulvin microemulsion gel. *Int J Appl Pharm* 9, 22–27.
- Jamali, N., Moghimipour, E., Hedayatipour, N., 2024. Preparation, Characterization, and Skin Permeation Evaluation of Naproxen Microemulsions for Transdermal Delivery. *Jundishapur J. Nat. Pharm. Prod.* 19. <https://doi.org/10.5812/jjnpp-145137>.
- Jamir, Y., Bhushan, M., Sanjukt, R., Robindro, S.L., 2024. Plant-based essential oil encapsulated in nanoemulsions and their enhanced therapeutic applications: An overview. *Biotechnol. Bioeng.* 121, 415–433. <https://doi.org/10.1002/bit.28590>.
- Jessica, A., Yasa, S.W., Zaini, E., Fitriani, L., 2024. Increased Dissolution Rate of Aceclofenac by Formation of Multicomponent Crystals with L-Glutamine. *Int. J. Appl. Pharm.* 45–52. <https://doi.org/10.22159/ijap.2024.v16s1.09>.
- Kampa, J., Frazier, R., Rodriguez-Garcia, J., 2022. Physical and chemical characterisation of conventional and nano/emulsions: Influence of vegetable oils from different origins. *Foods* 11, 681.
- Lachman, L., Lieberman, H.A., Kanig, J.L., 1976. *The theory and practice of industrial pharmacy*. Lea & Febiger Philadelphia.
- Lan, P.T.P., Quan, N.H., Ngoan, L.D., Hong, T.T.T., Tram, N.D.Q., 2022. Amino acid and fatty acid compositions of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) fed by tofu by-products in Viet Nam.
- Lawrence, M.J., Rees, G.D., 2000. Microemulsion-based media as novel drug delivery systems. *Adv. Drug Deliv. Rev.* 45, 89–121.
- Leite, P.Â. de S.M., Miguel, N.C. de O., Pierre, M.B.R., 2023. Microemulsions Improve Topical Protoporphyrin IX (PpIX) Delivery for Photodynamic Therapy of Skin Cancer. *Brazilian J. Pharm. Sci.* 59. <https://doi.org/10.1590/s2175-97902023e21920>.
- Maharini, M., Rismarika, R., Yusnelti, Y., 2020. Pengaruh konsentrasi PEG 400 sebagai kosurfaktan pada formulasi nanoemulsi minyak kepayang. *Chempublish J.* 5, 1–14. <https://doi.org/10.22437/chp.v5i1.7604>.
- Mauludin, R., Mohamad, S.F.B., Suciati, T., 2014. Formulation and characterization of ascorbyl palmitate loaded o/w microemulsion. *Int. J. Pharm. Pharm. Sci.* 6, 294–298.
- Mendonça, D.V.C., Lage, L.M.R., Lage, D.P., Chávez-Fumagalli, M.A., Ludolf, F., Roatt, B.M., Menezes-Souza, D., Faraco, A.A.G., Castilho, R.O.,
- Tavares, C.A.P., 2016. Poloxamer 407 (Pluronic® F127)-based polymeric micelles for amphotericin B: In vitro biological activity, toxicity and in vivo therapeutic efficacy against murine tegumentary leishmaniasis. *Exp. Parasitol.* 169, 34–42.
- Muangrat, R., Pannasai, S., 2024. Exploring the potential of black soldier fly larvae oil: Supercritical CO₂ extraction, physicochemical analysis, antioxidant properties, shelf life, and keratinocyte growth inhibition. *J. Agric. Food Res.* 15, 101008. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101008>.
- Nahdhia, N., Syamsur R.M.A., Hendradi, E., Teguh, W.R., 2024. Application of the Simplex Lattice Design Method to Determine the Optimal Formula of Diclofenac Sodium Nanoemulsion.
- Pharmaheri, A.P., Umar, S., Lucida, H., 2024. IAI SPECIAL EDITION: Formulation and evaluation of

- piperine-loaded ultra-small unilamellar carrier. *Pharm. Educ.* 24, 52–57.
- Phongpradist, R., Semmarath, W., Kiattisin, K., Jiaranaikulwanitch, J., Chaiana, W., Chaichit, S., Phimolsiripol, Y., Dejkriengkraikul, P., Ampasavate, C., 2023. The in vitro effects of black soldier fly larvae (*Hermitia illucens*) oil as a high-functional active ingredient for inhibiting hyaluronidase, anti-oxidation benefits, whitening, and UVB protection. *Front. Pharmacol.* 14, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1243961>.
- Ravichandran, V., Ravichandran, V., Lee, M., Nguyen C.T.G., Shim, M.S., 2021. Polysorbate-based drug formulations for brain-targeted drug delivery and anticancer therapy. *Appl. Sci.* 11, 9336. <https://doi.org/10.3390/app11199336>.
- Salwa, S., Abd Kadir, M. Bin, Sulistyowati, Y., 2020. Formulasi dan Evaluasi Sediaan Spray Gel Tabir Surya Fraksi Etil Asetat Daun Cempedak (*Artocarpus integer* (Thunb.) Merr.) dengan Kombinasi Basis HPMC dan Karbopol 940. *J. Mhs. Kesehat.* 2, 12. <https://doi.org/10.30737/jumakes.v2i1.1222>.
- Sapra, B., Thatai, P., Bhandari, S., Sood, J., Jindal, M., Tiwary, A.K., 2014. A critical appraisal of microemulsions for drug delivery: part II. *Ther. Deliv.* 5, 83–94.
- Shabrina, A., Pratiwi, A.R., Muurukmihadi, M., 2020. Stabilitas Fisik Dan Antioksidan Mikroemulsi Minyak Nilam Dengan Variasi Tween 80 Dan PEG 400. *Media Farm.* 16, 185. <https://doi.org/10.32382/mf.v16i2.1720>.
- Siqhny, Z.D., Azkia, M.N., Kunarto, B., 2020. Karakteristik nanoemulsi ekstrak buah parijoto (*Medinilla speciosa blume*). *J. Teknol. Pangan dan Has. Pertan.* 15, 1–10.
- Suryati, T., Julaha, E., Farabi, K., Ambarsari, H., Hidayat, A.T., 2023. Lauric Acid from the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) and Its Potential Applications. *Sustainability* 15, 10383. <https://doi.org/10.3390/su151310383>.
- Taher, S.S., Al-Kinani, K.K., Hammoudi, Z.M., Ghareeb, M.M., 2022. Co-surfactant effect of polyethylene glycol 400 on microemulsion using BCS class II model drug. *J. Adv. Pharm. Educ. Res.* 12, 63–69. <https://doi.org/10.51847/1h17TZqgyI>.
- Taylor, K.M.G., 2022. Emulsions and creams. in *Pharm. Sci. Dos. Form Des.* 6th editio. Elsevier. Available at: https://elsevier-elibrary.com/contents/fullcontent/58070/epubcontent_v2/OEBPS/xhtml/CHP027.html.
- Ting, T.C., Amat R.N.F., Che Z.N.A., Abdullah, N.H., Mohamad, M., Shoparwe, N.F., Mhd R.S.F., Aimi, Z., Abdul H.Z.A., Yusof, A.H., 2020. Development and Characterization of Nanoemulgel Containing Piper beetle Essential Oil as Active Ingredient. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 596, 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/596/1/012032>.