

## FORMULASI NANOEMULGEL MINYAK CENDANA-ALOE VERA BERBASIS GELLING AGENT DERIVAT SELULOSA: STUDI KARAKTERISTIK DAN STABILITAS

Dita Nurlita Rakhma\*, Nanda Aprilia, Yuyun Nailufa, Yuli Ainun Najih

Program Studi Sarjana Farmasi, Fakultas Farmasi, Universitas Hang Tuah, Indonesia

\*Corresponding author's email: [dita.nurlita@hangtuah.ac.id](mailto:dita.nurlita@hangtuah.ac.id)

DOI: 10.33088/jp.v5i1.1286

### ABSTRACT

*Sandalwood oil possesses anti-inflammatory potential for sunburn management; however, its volatility and low water solubility limit topical effectiveness. Aloe vera is widely known for its effectiveness as a skin moisturizer and anti-inflammatory. The combination of sandalwood oil and aloe vera in a nanoemulgel-based topical formulation has great potential for development. Nanoemulgel systems may enhance stability and skin delivery, while the type of gelling agent critically influences physical characteristics and stability. This study aimed to evaluate the effect of different gelling agents on the physical characteristics and stability of sandalwood oil-aloe vera nanoemulgel. Methods: Three nanoemulgel formulations were prepared using different cellulose derivative gelling agents (MC, HPMC, and HEC). Physical evaluations included organoleptic assessment, pH, viscosity, spreadability, adhesiveness, particle size, polydispersity index (PDI), and centrifugation stability testing. Data were analyzed using one-way ANOVA ( $p < 0.05$ ). All formulations showed acceptable pH and homogeneous nano-sized droplets (30–50 nm) with  $PDI < 0.35$ . Significant differences were observed in viscosity and particle size ( $p < 0.05$ ). The HEC-based formulation exhibited the highest viscosity and the smallest particle size. Increased viscosity was associated with reduced droplet mobility and improved physical stability. Spreadability showed an inverse relationship with viscosity, while adhesiveness was not significantly different among formulations. All formulations remained physically stable without phase separation after centrifugation. The type of gelling agent significantly affected the physical characteristics of nanoemulgel, and the HEC-based formulation demonstrated the most optimal performance in characteristics and physical stability.*

**Keywords:** Nanoemulgel, HEC, HPMC, MC, Sandalwood oil

### ABSTRAK

Minyak cendana memiliki potensi antiinflamasi untuk penanganan sunburn; namun, sifatnya yang mudah menguap dan kelarutan air yang rendah membatasi efektivitas topikalnya. Aloe vera secara luas telah diketahui memiliki efektivitas sebagai pelembab dan antiinflamasi. Kombinasi kedua bahan tersebut dalam formulasi topikal berbasis nanoemulgel memiliki potensi besar untuk dikembangkan. Sistem nanoemulgel dapat meningkatkan stabilitas dan penghantaran zat aktif ke kulit, sementara jenis *gelling agent* berperan penting dalam menentukan karakteristik fisik dan stabilitas sediaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh jenis *gelling agent* terhadap karakteristik fisik dan stabilitas nanoemulgel minyak cendana. Tiga formula nanoemulgel diformulasikan menggunakan *gelling agent* derivat selulosa yang berbeda (MC, HPMC, dan HEC). Evaluasi fisik meliputi pengamatan organoleptis, pH, viskositas, daya sebar, daya lekat, ukuran partikel, indeks polidispersitas (PDI), serta uji stabilitas sentrifugasi. Data dianalisis menggunakan uji one-way ANOVA ( $p < 0,05$ ). Seluruh formula menunjukkan nilai pH yang sesuai dan droplet berukuran nano (30–50 nm) dengan  $PDI < 0,35$  yang menandakan distribusi homogen. Perbedaan signifikan ditemukan pada viskositas dan ukuran partikel ( $p < 0.05$ ). Formula berbasis HEC menunjukkan viskositas tertinggi dan ukuran partikel terkecil. Peningkatan viskositas berkaitan dengan penurunan mobilitas droplet serta peningkatan stabilitas fisik. Daya sebar berbanding terbalik dengan viskositas, sedangkan daya lekat tidak menunjukkan perbedaan signifikan antar formula. Seluruh formula tetap stabil secara fisik tanpa pemisahan fase setelah uji sentrifugasi. Jenis *gelling agent* berpengaruh signifikan terhadap karakteristik fisik nanoemulgel, dan formula berbasis HEC menunjukkan performa paling optimal dalam aspek karakteristik dan stabilitas fisik.

**Kata Kunci:** Nanoemulgel, HEC, HPMC, MC, Minyak Cendana

## PENDAHULUAN

Indonesia terletak pada wilayah garis khatulistiwa sehingga memiliki karakteristik iklim tropis dengan paparan sinar matahari sepanjang tahun dan tingkat kelembaban yang relatif tinggi. Kondisi tersebut menyebabkan intensitas paparan radiasi ultraviolet (UV) terhadap kulit menjadi lebih besar. Paparan radiasi UV yang berlebihan diketahui dapat menimbulkan kerusakan kulit. (Sulistiyowati *et al.*, 2022). Salah satu dampak akut paparan radiasi UV pada kulit adalah *sunburn*, yaitu kondisi inflamasi pada lapisan terluar kulit yang ditandai dengan kemerahan, nyeri, dan sensasi panas akibat paparan radiasi UV berlebih (Nafiah *et al.*, 2024).

Penatalaksanaan *sunburn* umumnya melibatkan penggunaan sediaan topikal, seperti kortikosteroid. Namun, penggunaan kortikosteroid dalam jangka panjang dan dosis tinggi berisiko menimbulkan efek samping berupa penipisan kulit serta meningkatnya kerentanan terhadap infeksi (Prakoewa *et al.*, 2022). Oleh karena itu, diperlukan alternatif yang lebih aman, salah satunya melalui penggunaan kosmetika berbahan aktif alami yang memiliki aktivitas antiinflamasi dan antioksidan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa bahan alam seperti minyak atsiri memiliki potensi sebagai antiinflamasi dalam penanganan inflamasi kulit. Minyak cendana (*Santalum album* L.) dilaporkan memiliki efek menenangkan dan mampu membantu meredakan peradangan kulit (Sueno *et al.*, 2022; Boruah *et al.*, 2023). Selain minyak cendana, aloe vera juga telah banyak digunakan dalam formulasi topikal dan terbukti efektif dalam mengurangi inflamasi akibat *sunburn*, khususnya dalam bentuk sediaan gel (Hekmatpou, 2019). Kombinasi kedua bahan tersebut berpotensi memberikan efek sinergis dalam pemulihan kondisi kulit pasca paparan radiasi UV.

Namun demikian, pengembangan minyak cendana

sebagai bahan aktif kosmetika memiliki keterbatasan berupa sifat mudah menguap dan kelarutan air yang rendah (Kang *et al.*, 2025; Birkback *et al.*, 2025). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan sistem penghantaran yang mampu meningkatkan stabilitas dan efektivitas bahan aktif, salah satunya melalui sistem nanoemulgel. Nanoemulgel merupakan sistem penghantaran topikal yang mengombinasikan nanoemulsi ke dalam matriks gel, sehingga memiliki sifat hidrofilik dan hidrofobik yang memungkinkan penetrasi bahan aktif secara optimal ke dalam kulit (Kumari *et al.*, 2025). Penambahan basis gel bertujuan untuk meningkatkan viskositas, stabilitas, serta kenyamanan penggunaan sediaan pada kulit (Gaber *et al.*, 2023). Ukuran droplet yang umumnya <100 nm berkontribusi dalam meningkatkan penetrasi bahan aktif, menjadikan nanoemulgel sebagai sistem penghantaran yang potensial untuk aplikasi

Meskipun berbagai penelitian telah melaporkan potensi bahan alam seperti minyak cendana dan aloe vera dalam meredakan inflamasi kulit akibat paparan radiasi UV, sebagian besar penelitian masih berfokus pada penggunaan sediaan konvensional seperti gel atau krim, sehingga belum sepenuhnya mampu mengatasi keterbatasan sifat fisikokimia bahan aktif, khususnya volatilitas dan kelarutan minyak atsiri yang rendah dalam air. Selain itu, pengembangan sistem penghantaran berbasis nanoemulsi untuk meningkatkan stabilitas dan penetrasi minyak atsiri pada kulit telah banyak dilaporkan, namun belumlah ada studi yang mengintegrasikan nanoemulsi minyak cendana-aloe vera ke dalam sistem nanoemulgel untuk terapi *sunburn*.

Di sisi lain, faktor formulasi yang berperan penting dalam stabilitas dan karakteristik fisik nanoemulgel adalah jenis gelling agent yang digunakan, karena berpengaruh terhadap stabilitas, toksisitas, serta karakteristik fisik sediaan. *Gelling agent* merupakan polimer dengan berat molekul tinggi yang membentuk struktur jaringan gel melalui interaksi antar molekul polimer (Agustiani *et al.*, 2024). Polimer semisintetik derivat selulosa seperti *Methyl Cellulose*

(MC), *Hydroxypropyl Methyl Cellulose* (HPMC), dan *Hydroxyethyl Cellulose* (HEC) diketahui memiliki sifat reologi dan kemampuan pembentukan gel yang berbeda. Namun demikian, perbandingan pengaruh ketiga jenis gelling agent tersebut terhadap karakteristik fisik dan stabilitas nanoemulgel yang mengandung kombinasi minyak cendana dan aloe vera belum banyak dilaporkan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang mengkaji formulasi nanoemulgel berbasis *variasi gelling agent* untuk memperoleh sistem penghantaran topikal yang stabil dan efektif dalam membantu meredakan *sunburn*.

## METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu timbangan analitik, alat gelas, *hot plate stirrer*, *stopwatch*, pH meter Horriba Laqua, Viskosimeter Brookfield, *centrifuge*, dan *Particle Size Analyzer*.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu minyak cendana, lidah buaya (*Aloe vera L.*), HPMC (*Hydroxy Propyl Methyl Cellulose*), MC (*Methyl Cellulose*), HEC (*Hydroxyethyl Cellulose*), Propilen glikol, MCT (*Medium Chain Triglycerides*), Tween 20, PEG 7 *Glycerol cocoate* (PEG 7 GC), dan *Aquadest*.

### Prosedur Penelitian Pembuatan Formula

Pada penelitian ini dibuat formula nanoemulgel dengan bahan aktif minyak cendana dan aloe vera dengan variasi jenis *gelling agent* sesuai tabel 1. Nanoemulgel diformulasikan melalui dua tahap utama, yaitu pembuatan nanoemulsi dan pembuatan basis gel, yang selanjutnya dikombinasikan menjadi sediaan nanoemulgel.

Nanoemulsi dibuat dengan metode *spontaneous emulsification* energi rendah sehingga dalam formula digunakan total konsentrasi surfaktan 60%. Formula ini merupakan

pengembangan penelitian sebelumnya (Najih *et al*, 2020). Minyak atsiri cendana dilarutkan terlebih dahulu ke dalam fase minyak yang terdiri dari MCT hingga homogen. Tween 20 dan PEG-7 *glycerol cocoate* dicampurkan secara bertahap ke dalam fase minyak sambil diaduk hingga jernih dan homogen. Selanjutnya, fase air yang terdiri dari aquadest dan propilen glikol ditambahkan secara perlahan ke dalam campuran fase minyak-surfaktan sambil diaduk di atas *hotplate magnetic stirrer* pada suhu 60°C dengan kecepatan pengadukan 500 rpm. Proses homogenisasi dilakukan hingga terbentuk sistem nanoemulsi yang transparan dan stabil secara visual. Aloe vera dan DMDM hydantoin kemudian ditambahkan ke dalam nanoemulsi dan diaduk perlahan hingga tercampur homogen.

**Tabel 1.** Formula Nanoemulgel

Bahan	% b/v		
	NG1	NG2	NG3
Minyak cendana	5	5	5
Aloe vera	5	5	5
PEG 7 GC	30	30	30
Tween 20	30	30	30
HPMC	5	-	-
MC	-	5	-
HEC	-	-	5
Propilenglikol	1	1	1
<i>Aquadest</i>	ad 100	ad 100	ad 100

Sementara itu, basis gel dibuat secara terpisah dengan menggunakan masing-masing gelling agent, yaitu HPMC, MC, dan HEC. *Gelling agent* ditaburkan secara perlahan ke dalam aquadest sambil dilakukan pengadukan kontinu untuk mencegah terbentuknya gumpalan. Setelah itu, mencampurkan *gelling agent* yang telah dikembangkan ke dalam campuran nanoemulsi menggunakan sonikator dengan frekuensi 50Hz selama 5 menit.

### Pengujian Karakteristik Fisik

#### Uji Organoleptis

Nanoemulgel minyak cendana dan aloe vera yang telah dibuat diamati warna, bau, serta teksturnya.

### Uji pH

Timbang 20gram nanoemulgel lalu masukkan gelas beaker. Masukkan bagian katoda pH meter ke dalam beaker glass, selanjutnya amati nilai pH yang tertera pada layar sehingga diperoleh nilai yang sesuai dengan rentang pH kulit yaitu 4 - 7.

### Uji Tipe Emulsi

Timbang 0.5 gram nanoemulgel ditimbang diatas kaca arloji, kemudian teteskan metilen biru dan diaduk hingga homogen. Amati secara visual tipe emulsi yang terbentuk.

### Uji Viskositas

Pengukuran viskositas sediaan nanoemulgel minyak cendana dilakukan dengan menggunakan viskosimeter brookfield dengan nomor spindel 63 dan rpm yang sesuai. Kemudian memasukan spindel kedalam pot yang berisi sampel nanoemulgel minyak cendana kemudian alat dihidupkan. Kriteria sediaan yang baik yaitu apabila nilai viskositasnya dalam rentang 2.000–50.000 cP.

### Uji Ukuran Partikel dan Polidispersitas Indeks (PDI)

Pengujian diawali dengan mengambil sediaan nanoemulgel sebanyak 3 mL, kemudian dimasukkan kedalam kuvet dan diuji menggunakan PSA untuk diukur dropletnya, dan melihat nilai polidispersitas. Rentang ukuran nanopartikel yaitu 50 - 1000 nm dan nilai polidispersitas yaitu  $< 0.5$  yang menyatakan keseragaman distribusi ukuran partikel. Distribusi ukuran partikel akan stabil dan homogen jika nilai polidispersitas semakin mendekati angka 0.

### Uji Daya Sebar

Sediaan nanoemulgel minyak cendana yang telah dibuat ditimbang sebanyak 0.5 gram dan sediaan tersebut diletakkan diatas kaca pertama, kemudian ditutup dengan kaca kedua. Selanjutnya diatas kaca kedua diberi

beban 50gram selama 1 menit. Ukur diameter penyebaran gel dan catat hasilnya.

### Uji Daya Lekat

Sediaan nanoemulgel minyak cendana yang telah dibuat ditimbang sebanyak 0,25gram diletakkan di atas *object glass* dan ditempelkan pada *object glass* yang lain, kemudian *object glass* dipasang pada alat tes. Catat waktu yang dibutuhkan hingga *object glass* terlepas. Dilakukan 3 kali pengujian.

### Pengujian Stabilitas Fisik

#### Uji Sentrifugasi

Menimbang sebanyak 1 gram sediaan nanoemulgel minyak cendana yang telah dibuat, kemudian dimasukan kedalam tabung sentrifugasi. Meletakkan tabung kedalam alat yang disebut *sentrifuge* selanjutnya diputar dengan kecepatan 3000 rpm selama 30 menit.

### Analisis Data

Data kuantitatif seperti hasil uji pH, viskositas, daya sebar, daya lekat, ukuran partikel, dan polidispersitas indeks dianalisa secara statistik menggunakan uji *One Way Anova*. Hasil uji dinyatakan ada perbedaan apabila nilai signifikan bila  $p < 0.05$ . Apabila menunjukkan perbedaan yang signifikan, maka analisis data dilanjutkan dengan *post hoc test*. Untuk menganalisis hasil uji stabilitas fisik nanoemulgel sebelum dan sesudah dilakukannya uji stabilitas digunakan uji *paired t test*.

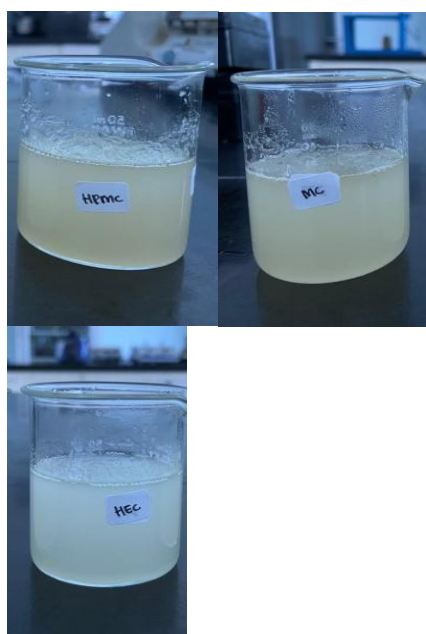
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini nanoemulgel dengan bahan aktif minyak cendana dan aloe vera dibuat dalam tiga jenis *gelling agent* derivats selulosa yang berbeda yaitu MC, HPMC dan HEC. Setiap formula dibuat dalam tiga kali replikasi. Setelah dilakukan pembuatan formula, dilakukan pengujian karakteristik fisik meliputi uji organoleptis, pH, viskositas, daya sebar, daya lekat, ukuran partikel, dan polidispersitas indeks. Pemeriksaan organoleptis merupakan pemeriksaan yang dilakukan dengan mengamati bentuk, warna, dan bau secara

visual. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh hasil pemeriksaan organoleptis nanoemulgel minyak cendana dapat dilihat pada **tabel 2 dan gambar 1**.

**Tabel 2.** Hasil Pemeriksaan Organoleptis Nanoemulgel

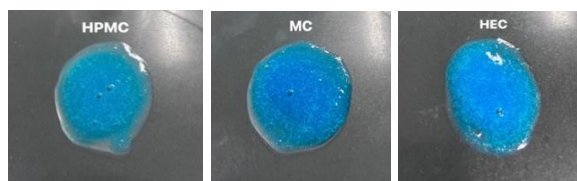
Formula	Konsistensi	Warna	Bau
NG 1	Semisolid	Putih kekuningan	Tidak berbau
NG 2	Semisolid	Putih kekuningan	Tidak berbau
NG 3	Semisolid	Putih	Tidak berbau



**Gambar 1.** Tampilan fisik nanoemulgel

Hasil menunjukkan bahwa sediaan nanoemulgel minyak cendana dengan

variasi *gelling agent* memiliki bentuk semisolid yang bertekstur lembut dan halus, apabila diaplikasikan ke kulit berwarna putih, serta tidak memiliki bau. Pada pengamatan warna, untuk NG1 dan NG2 berwarna putih kekuningan, serta tidak memiliki bau. Hal ini dikarenakan serbuk HPMC dan MC memiliki warna putih kekuningan, sedangkan NG3 memiliki warna putih, karena serbuk HEC memiliki warna yang putih.



**Gambar 2.** Hasil pemeriksaan tipe emulsi

Pemeriksaan tipe emulsi dilakukan untuk menentukan nanoemulgel yang dihasilkan termasuk emulsi minyak dalam air (*oil in water, O/W*) atau air dalam minyak (*water in oil, W/O*). Hasil pemeriksaan yang terlihat pada gambar 2 menunjukkan bahwa seluruh formula nanoemulgel yang dihasilkan memiliki tipe emulsi O/W. Hal ini ditunjukkan oleh penggunaan indikator *methylene blue* yang terdispersi secara merata dalam sediaan, menandakan bahwa fase kontinu atau fase eksternal adalah air. *Methylene blue* diketahui mudah larut dalam air, sehingga distribusinya yang homogen mengindikasikan terbentuknya emulsi tipe O/W dibandingkan tipe W/O (Sunnah *et al.*, 2025). Emulsi tipe O/W memiliki keunggulan berupa kemudahan dibersihkan, daya penetrasi yang baik, serta lebih nyaman digunakan sebagai sediaan topikal (Murdiana *et al.*, 2022).

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Karakteristik Fisik Nanoemulgel

Pengujian	NG1	NG2	NG3
pH	5,94 ± 0,36	6,50 ± 0,02	5,77 ± 0,47
Viskositas	1620 cP ± 160	2990 cP ± 90	3150 cP ± 150
Daya Sebar	7,50 cm ± 0,12	6,96 cm ± 0,10	6,46 cm ± 0,18
Daya Lekat	4,80 detik ± 0,54	5,05 detik ± 0,69	6,08 detik ± 0,87
Ukuran Partikel	50,28 nm ± 0,72	40,39 nm ± 1,08	30,33 nm ± 0,07
PDI	0,15 ± 0,05	0,24 ± 0,02	0,21 ± 0,00

Hasil pemeriksaan karakteristik fisik secara kuantitatif dapat dilihat pada

tabel 3. Pengujian pH dilakukan menggunakan pH meter untuk memastikan

bahwa sediaan nanoemulgel yang diformulasikan dengan variasi gelling agent pada konsentrasi 5% berada dalam rentang pH yang sesuai dengan pH kulit, yaitu 4.5-6.5, sehingga aman dan tidak menimbulkan iritasi (Asjur *et al.*, 2023). Hasil analisis statistik menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan antar variasi formula yang ditunjukkan dengan nilai  $p > 0.05$  (0,138). Nilai pH rata-rata nanoemulgel berbasis HPMC, MC, dan HEC masing-masing sebesar  $5.94 \pm 0.36$ ;  $6.55 \pm 0.02$ ; dan  $5.77 \pm 0.47$ . Seluruh formula tersebut berada dalam rentang pH fisiologis kulit.

Pengujian viskositas dilakukan untuk mengevaluasi tingkat kekentalan nanoemulgel, yang berperan penting dalam menentukan kenyamanan serta kemudahan aplikasi pada kulit. Berdasarkan standar SNI 16-4399-1996, viskositas sediaan gel yang memenuhi kriteria berada pada rentang 2.000–50.000 cP (Tungadi *et al.*, 2023; Aulia *et al.*, 2023). Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai viskositas rata-rata untuk NG1, NG2, dan NG3 masing-masing adalah  $1620 \pm 160$  cP;  $2990 \pm 90$  cP; dan  $3150 \pm 150$  cP. Analisis statistik menggunakan one-way ANOVA menunjukkan adanya perbedaan bermakna antar variasi gelling agent ( $p < 0.05$ ;  $p = 0.007$ ), sehingga dilanjutkan dengan uji post hoc. Hasil uji lanjut menunjukkan urutan viskositas NG1 < NG2 < NG3, dengan nilai tertinggi diperoleh pada formula berbasis *Hydroxyethyl Cellulose* (HEC). Tingginya viskositas pada formula HEC dikaitkan dengan keberadaan gugus hidroksietil yang mampu membentuk ikatan hidrogen, baik secara intermolekuler maupun dengan komponen sistem lainnya, sehingga menghasilkan jaringan gel yang lebih kaku dan viskus (Naeem *et al.*, 2023).

Uji daya sebar dilakukan untuk menilai kemampuan sediaan dalam menyebar pada permukaan kulit, yang berpengaruh terhadap pelepasan dan

absorpsi zat aktif. Daya sebar yang optimal akan meningkatkan kenyamanan penggunaan serta efektivitas terapi topikal (Imanto *et al.*, 2019). Rentang daya sebar yang baik untuk sediaan gel adalah 5–7 cm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa formula NG2 dan NG3 memenuhi kriteria tersebut. Analisis statistik menunjukkan adanya perbedaan antar variasi gelling agent. Secara umum, daya sebar berbanding terbalik dengan viskositas; semakin tinggi viskositas sistem, semakin rendah kemampuan sediaan untuk menyebar (Chandra *et al.*, 2022).

Pengujian daya lekat bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan nanoemulgel melekat pada permukaan kulit. Daya lekat yang terlalu tinggi dapat menutup pori-pori kulit, sedangkan daya lekat yang terlalu rendah dapat menurunkan efektivitas terapi (Oklyan *et al.*, 2026). Hasil uji daya lekat menunjukkan nilai rata-rata masing-masing formula yaitu NG1 sebesar  $24.80 \pm 0.54$ ; NG2 sebesar  $5.05 \pm 0.69$ ; dan NG3 sebesar  $6.08 \pm 0.87$ . Analisis statistik menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang bermakna terhadap daya lekat ( $p > 0.05$ ). Seluruh formula memenuhi syarat uji daya lekat yaitu lebih dari 4 detik (Setiyawati and Endriyatno, 2025).

Pengukuran ukuran partikel dan indeks polidispersitas dilakukan menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA). Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh formula memiliki ukuran partikel dalam rentang nano, yaitu 50–500 nm, sehingga memenuhi kriteria sebagai nanoemulgel (Elzayat *et al.*, 2025). Analisis statistik menunjukkan adanya perbedaan signifikan ukuran partikel antar variasi gelling agent ( $p < 0.05$ ; 0.042), khususnya antara NG1 dan NG3. Formula berbasis HEC menghasilkan ukuran partikel paling kecil, yang berkaitan dengan viskositas sediaan yang lebih tinggi sehingga menghambat agregasi partikel dan mempertahankan ukuran droplet tetap kecil (Xiao *et al.*, 2025).

HEC menunjukkan mekanisme pembentukan gel yang paling kuat di antara ketiga *gelling agent*. Gugus hidroksietil pada HEC meningkatkan hidrofilitas dan kemampuan pembentukan ikatan hidrogen, baik antar rantai polimer maupun dengan molekul air (Arai dan Sikata, 2020; Naeem *et*

al., 2023). Hal ini menghasilkan jaringan gel yang lebih padat dan kaku, yang tercermin dari nilai viskositas nanoemulgel yang paling tinggi. Struktur gel yang rapat ini membatasi pergerakan droplet nanoemulsi dan mencegah terjadinya koalesensi, sehingga menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil dan stabil. (Xiao *et al.*, 2025) Viskositas yang tinggi juga berkontribusi terhadap peningkatan daya lekat, namun berdampak pada penurunan daya sebar. Dengan demikian, HEC berperan signifikan dalam meningkatkan stabilitas fisik sistem nanoemulgel melalui mekanisme penguatan matriks gel. Secara mekanistik, peningkatan viskositas sistem akibat penggunaan gelling agent dengan kemampuan pembentukan jaringan yang lebih kuat. berimplikasi langsung terhadap penurunan ukuran partikel dan peningkatan stabilitas nanoemulgel. Sistem dengan viskositas tinggi memiliki hambatan difusi yang lebih besar, sehingga mengurangi kemungkinan agregasi droplet dan mempertahankan ukuran partikel dalam skala nano. Sebaliknya, sistem dengan viskositas lebih rendah memberikan mobilitas droplet yang lebih tinggi, yang meskipun menguntungkan dari sisi aplikasi, berpotensi meningkatkan risiko pertumbuhan ukuran partikel apabila tidak dikontrol dengan baik (Wang *et al.*, 2024).

Indeks polidispersitas (PDI) digunakan untuk mengetahui homogenitas distribusi ukuran partikel dalam sistem. Nilai PDI yang mendekati nol menunjukkan distribusi ukuran partikel yang semakin seragam (Haque, 2015; Nisa *et al.*, 2020). Nilai PDI yang diperoleh berturut-turut adalah NG1  $0,15 \pm 0,05$ ; NG2 sebesar  $0,24 \pm 0,02$ ; dan NG3 sebesar  $0,21 \pm 0,0009$ . Analisis statistik menunjukkan tidak terdapat perbedaan signifikan terhadap nilai PDI ( $p > 0,05$ ). Nilai PDI seluruh formula nanoemulgel memenuhi persyaratan

sistem homogen dan monodispersi yaitu kurang dari 0,35 (Gul *et al.*, 2022).

**Tabel 4.** Hasil Uji Sentrifugasi

Formula	Hasil
NG1	Tidak memisah
NG2	Tidak memisah
NG3	Tidak memisah

Uji sentrifugasi merupakan metode *accelerated stability testing* yang digunakan untuk mengevaluasi kestabilan fisik sediaan dalam waktu singkat melalui pemberian gaya sentrifugal yang lebih besar daripada gaya gravitasi normal. Prinsip dasar pengujian ini adalah mempercepat terjadinya fenomena instabilitas fisik seperti creaming, sedimentasi, flokulasi, koalesensi, maupun pemisahan fase. Pada sistem nanoemulgel, stabilitas fisik sangat krusial karena sistem ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu nanoemulsi sebagai fase terdispersi dan matriks gel sebagai fase kontinu. Parameter kestabilan pada uji sentrifugasi dapat diamati dengan melihat ada atau tidaknya pemisahan, pengendapan, creaming, dan breaking pada sampel setelah sentrifugasi (Indalifiany *et al.*, 2021). Hasil uji stabilitas fisik dengan metode sentrifugasi pada ketiga formula dapat dilihat pada tabel 4. Hasil pengamatan secara visual menunjukkan bahwa ketiga formula nanoemulgel minyak cendana tidak mengalami pemisahan fase sehingga dapat dikatakan stabil secara fisik.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada Universitas Hang Tuah atas dukungan institusional, fasilitas laboratorium, serta lingkungan akademik yang kondusif sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Dukungan yang diberikan sangat berperan dalam kelancaran proses penelitian hingga penyusunan artikel ilmiah ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

Agustiani, F.R.T., Sjahid, L.R. and Nursal, F.K., (2022). Kajian literatur: peranan berbagai jenis polimer sebagai gelling

- agent terhadap sifat fisik sediaan gel. *Majalah Farmasetika*, 7(4), pp.270-287.
- Alyami, M.H., Alyami, H.S., Alshehri, A.A., Alsharif, W.K., Shaikh, I.A. and Algahtani, T.S., (2022). Tamoxifen citrate containing topical nanoemulgel prepared by ultrasonication technique: formulation design and in vitro evaluation. *Gels*, 8(7), p.456.
- Asjur, A.V., Santi, E., Musdar, T.A., Saputro, S. and Rahman, R.A., (2023). Formulasi dan Uji Aktivitas Antioksidan Sediaan Face Mist Ekstrak Etanol Kulit Apel Hijau (*Pyrus malus L.*) dengan Metode DPPH: Formulation and Antioxidant Activity Face Mist Preparation Ethanol Extract Green Apple Peel (*Pyrus malus L.*) with DPPH Methods. *Jurnal Sains Dan Kesehatan*, 5(3), pp.297-305.
- Arai, K. and Shikata, T., (2020). Hydration/dehydration behavior of hydroxyethyl cellulose ether in aqueous solution. *Molecules*, 25(20), p.4726.
- Aulia, N., La Basy, L., Dusra, E., Mewar, D. and Malisngorar, M.S., (2025). Formulasi Emulgel Ekstrak Daun Kopasanda (*Chromolaena odorata L.*) Menggunakan Carbopol 940 Sebagai Gelling Agent. *Jurnal Kesehatan Maluku Husada*, 3(2).
- Birkbeck, A.A., Chapuis, C. and Schalk, M., (2025). Approaches to Commercial Sandalwood Odorants from Renewable Sources. *Helvetica Chimica Acta*, 108(5)
- Boruah, T., Parashar, P., Ujir, C., Dey, S.K., Nayik, G.A., Ansari, M.J. and Nejad, A.S.M., (2023). Sandalwood essential oil. In *Essential Oils*, pp. 121-145.
- Chandra, D. and Rahmah, R., (2022). Uji fisikokimia sediaan emulsi, gel, emulgel ekstrak etanol goji berry (*Lycium barbarum L.*). *MEDFARM: Jurnal Farmasi dan Kesehatan*, 11(2), pp.219-228.
- Gaber, D.A., Alsubaiyel, A.M., Alabdulrahim, A.K., Alharbi, H.Z., Aldubaikhy, R.M., Alharbi, R.S., Albishr, W.K. and Mohamed, H.A., (2023). Nano-emulsion based gel for topical delivery of an anti-inflammatory drug: in vitro and in vivo evaluation. *Drug design, development and therapy*, pp.1435-1451.
- Gul, U., Khan, M.I., Madni, A., Sohail, M.F., Rehman, M., Rasul, A. and Peltonen, L., (2022). Olive oil and clove oil-based nanoemulsion for topical delivery of terbinafine hydrochloride: in vitro and ex vivo evaluation. *Drug Delivery*, 29(1), pp.600-612.
- Hekmatpou, D., Mehrabi, F., Rahzani, K. and Aminiyan, A., (2019). The effect of aloe vera clinical trials on prevention and healing of skin wound: a systematic review. *Iranian journal of medical sciences*, 44(1), p.1.
- Imanto, T., Prasetyawan, R. and Wikantyasning, E.R., (2019). Formulasi dan karakterisasi sediaan nanoemulgel serbuk lidah buaya (*Aloe vera L.*). *Pharmacopoeia: Jurnal Farmasi Indonesia*, 16(1), pp.28-37.
- Indalifiany, A., Malaka, M.H., Sahidin, A.F. and Andriani, R., (2021). Formulasi dan Uji Stabilitas Fisik Nanoemulgel Ekstrak Etanol Spons *Petrosia Sp.*, *JFSP Vol.7 No.3 (Supplementary Issue)*, pp. 324 - 325.
- Kang, S., Li, S., Han, S. and Peng, L., (2025). Microencapsulation of Sandalwood Essential Oil with Melamine Formaldehyde and  $\beta$ -Cyclodextrin: Analysis of Study on Aroma Profile Components and Antibacterial Properties. *ChemistrySelect*, 10(16), p.e202405908.
- Kumari, D., Karmakar, V., Sisinthy, S.P., Pandey, M., Jain, N. and Gorain, B., (2025). Nanoemulsion and nanoemulgel-based carriers as advanced delivery tools for the treatment of oral diseases. *Drug Delivery and Translational Research*, 15(4), pp.1139-1155.

- Murdiana, H.E., Putri, M.K., Rosita, M.E., Kristariyanto, Y.A. and Kurniawaty, A.Y., (2022). Optimasi Formula Sediaan Krim Beras (*Oryza Sativa* L.) Tipe M/a Dengan Variasi Asam Stearat, Setil Alkohol Dan Trietanolamin. *Jurnal Farmamedika (Pharmamedica Journal)*, 7(2), pp.55-63.
- Naeem, A., Yu, C., Wang, X., Peng, M., Liu, Y. and Liu, Y., (2023). Hydroxyethyl cellulose-based hydrogels as controlled release carriers for amorphous solid dispersion of bioactive components of radix paeonia alba. *Molecules*, 28(21), p.7320.
- Nafiah, S.R., Fitraneti, E., Rizal, Y., Primawati, I. and Hamama, D.A., (2024). Pengaruh paparan sinar ultraviolet terhadap kesehatan kulit dan upaya pencegahannya: Tinjauan literatur. *Scientific Journal*, 3(3), pp.185-194.
- Najih, Y.A., Rahma, D.N., Nailufa, Y. and Prasetyowati, R.D., (2020). The effect of vegetable oil combination and surfactant PEG 7 glyceryl cocoate ratio on physical characteristics and physical stability of arbutin microemulsion. *Romanian Journal of Pharmaceutical Practice Vol. XIII.*, 52(3).
- Prakoeswa, F.R.S. and Sari, W.A., (2022). Penuaan Kulit dan Terapi yang Aman Bagi Geriatri: Artikel Review: Skin Aging and It's Safe Management for Geriatrics. *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 4(5), pp.557-568.
- Suena, N.M.D.S. et al., (2022), Evaluasi Mutu Fisik dan Uji Hedonik Krim Minyak Cendana (*Santalum album* L.) sebagai Antiinflamasi, *Jurnal Ilmiah Medicamento, Vol.8. No.1*, pp. 22 – 23
- Sunnah, I., Anggraeni, N., Fadiyah, G.A. and Erwiyani, A., (2025). Efektivitas Kombinasi Emulgator Tween 80, Lesitin Soya dan Sorbitol terhadap Stabilitas Emulsi Minyak Biji Labu Kuning (*Cucurbita moschata* D.): Effectiveness of the Emulsifier Combination of Tween 80, Soy Lecithin, and Sorbitol on the Emulsion Stability of Pumpkin Seed Oil (*Cucurbita moschata* D.). *Journal of Holistics and Health Sciences*, 7(1), pp.173-181.
- Sulistiowati, A., Yushardi, Y. and Sudarti, S., (2022). Potensi Keberagaman SPF (Sun Protection Factor) Sunscreen terhadap Perlindungan Paparan Sinar Ultraviolet Berdasarkan Iklim di Indonesia. *Jurnal Bidang Ilmu Kesehatan*, 12(3), pp.261-269.
- Tungadi, R. and Pakaya, M.S., (2023). Formulasi dan evaluasi stabilitas fisik sediaan krim senyawa astaxanthin. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Education*, 3(1).
- Wang, H., Wei, B., Hou, J., Liu, Y., Zhang, Y. and Peng, T., (2024). Microfluidic study of effect of dispersed phase viscosity and continuous phase viscosity on emulsification in a cross-junction chip. *International Journal of Multiphase Flow*, 178, p.104885.
- Xiao, T., Ma, X., Hu, H., Xiang, F., Zhang, X., Zheng, Y., Dong, H., Adhikari, B., Wang, Q. and Shi, A., (2025). Advances in emulsion stability: A review on mechanisms, role of emulsifiers, and applications in food. *Food Chemistry: X*, p.102792.
- Zubaydah, W.O.S., Indalifiany, A., Munasari, D., Sahumena, M.H. and Jannah, S.R.N., (2023). Formulasi dan karakterisasi nanoemulsi ekstrak etanol buah wualae (*Etlingera Elatior* (Jack) RM Smith). *Lansau: Jurnal Ilmu Kefarmasian*, 1(1), pp.22-37.