



Jurnal Pharmacia Mandala Waluya Vol.5 No.4

ISSN : 2829-6850

<https://jurnal-pharmaconmw.com/jpmw/index.php/jpmw>

DOI : <https://doi.org/10.54883/jpmw.v5i4.782>



Sintesis Nanopartikel Campuran Minyak Atsiri Gardenia dan Red Apple dengan Teknik Atomisasi Menggunakan Lapisan Pelindung Polimer PEG-40 HCO

Reva Nurpadila*, Horasdia Saragih

Program Studi Farmasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Advent Indonesia, Bandung, Indonesia

ABSTRAK

Parfum berbasis air dikembangkan sebagai alternatif yang lebih aman dan stabil dibandingkan parfum berbasis alkohol, namun menghadapi tantangan dalam mendispersikan minyak atsiri yang bersifat hidrofobik ke dalam medium air. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi nanopartikel dari campuran minyak atsiri gardenia dan red apple dengan perbandingan 50:50 yang dienkapsulasi oleh surfaktan PEG-40 hydrogenated castor oil (PEG-40 HCO) menggunakan teknik atomisasi, guna menghasilkan formulasi nanoparfum berbasis air yang stabil. Nanoemulsi disintesis dengan empat konsentrasi variasi campuran minyak atsiri (2, 3, 4, dan 5 mL). Hasil menunjukkan diameter rata-rata meningkat seiring bertambahnya konsentrasi minyak (29,9–177,6 nm), dengan formula 5 mL menghasilkan distribusi bimodal. Nilai PDI berpola tidak monoton, dengan formula 4 mL memiliki distribusi ukuran paling homogen dan monodispers (PDI = 0,069), sedangkan formula 3 mL menunjukkan lonjakan ekstrem (2,012) diduga berkaitan dengan perubahan struktur sistem. Mobilitas elektroforetik dan potensial zeta menjadi semakin negatif konsisten seiring naiknya konsentrasi minyak, namun nilainya tetap rendah (hingga –7,5 mV) sehingga kestabilan diduga lebih banyak ditopang oleh stabilisasi sterik PEG-40 HCO dibandingkan gaya elektrostatik. Formulasi dengan volume 4 mL terbukti menjadi kondisi optimal yang menghasilkan nanopartikel paling homogen dan stabil untuk basis formulasi nanoparfum berbasis air.

Kata Kunci: Nanopartikel, campuran minyak atsiri gardenia dan red apple, peg-40hco, nanoparfum berbasis air.

Synthesis of nanoparticles from a mixture of Gardenia and Red Apple essential oils using atomization technique with a protective layer of PEG-40 HCO polymer

ABSTRACT

Water-based perfumes were developed as a safer and more stable alternative to alcohol-based perfumes; however, they face challenges in dispersing hydrophobic essential oils into an aqueous medium. This study aimed to synthesize and characterize nanoparticles composed of a 50:50 mixture of gardenia and red apple essential oils, encapsulated by the surfactant PEG-40 hydrogenated castor oil (PEG-40 HCO) via an atomization technique, to produce a stable water-based nanoparfum formulation. Nanoemulsions were synthesized using four varying concentrations of the essential oil mixture (2, 3, 4, and 5 mL). The results showed that the average diameter increased with rising oil concentration (29.9–177.6 nm), with the 5 mL formula yielding a bimodal distribution. PDI values followed a non-monotonic pattern; the 4 mL formula exhibited the most homogeneous and monodisperse size distribution (PDI = 0.069), whereas the 3 mL formula showed an extreme spike (2.012), likely attributed to a structural change in the system. Electrophoretic mobility and zeta potential became increasingly negative with higher oil concentrations, yet the values remained low (up to –7.5 mV), suggesting that stability was maintained primarily through the steric stabilization provided by PEG-40 HCO rather than electrostatic forces. The 4 mL formulation proved to be the optimal condition, yielding the most homogeneous and stable nanoparticles for a water-based nanoparfum formulation.

Keywords: Nanoparticles, gardenia and red apple essential oil blend, peg-40hco, water-based nanoparfum.

Penulis korespondensi :

Reva Nurpadila
Universitas Advent Indonesia
Email : revanurpadila16@gmail.com
No Hp : -

Info Artikel :

Submitted : 11 Juli 2026
Revised : 07 Agustus 2026
Accepted : 31 Agustus 2026
Published : 31 Agustus 2026

PENDAHULUAN

Inovasi dalam industri parfum terus berkembang seiring dengan meningkatnya kesadaran konsumen akan produk yang lebih sehat dan ramah lingkungan. Parfum berbasis alkohol seringkali menimbulkan kekhawatiran terkait potensi iritasi kulit, penguapan cepat yang mengurangi ketahanan aroma, serta risiko keamanan akibat sifat mudah terbakarnya (Herayati & Elianasari, 2024). Menjawab tantangan ini, pengembangan parfum berbasis air menjadi krusial. Parfum berbasis air berpotensi menjadi alternatif yang lebih aman karena dapat menghindari efek iritasi dan mudah terbakarnya dari alkohol, dan berpotensi memiliki stabilitas aroma yang lebih baik karena tidak mudah menguap seperti alkohol.

Namun, tantangan utama dalam formulasi parfum berbasis air adalah dispersi dan stabilitas minyak atsiri yang hidrofobik dalam medium air (Angelita & Saragih, 2025). Untuk mengatasi masalah ini, sintesis nanopartikel campuran minyak atsiri gardenia dan red apple menjadi sangat penting. Dengan mengurangi ukuran partikel minyak atsiri hingga skala nano, dispersi dalam air dapat ditingkatkan secara signifikan, memungkinkan terciptanya formulasi parfum berbasis air yang stabil dan efektif (Zahra & Susanti, 2023).

Minyak atsiri gardenia dan red apple diperoleh secara komersial dan tanpa dikarakterisasi lebih lanjut, campuran minyak atsiri gardenia dan red apple dipilih karena potensi dalam menciptakan profil aroma yang kompleks dan menarik.

Gardenia (*Gardenia jasminoides*) kaya akan lakton dan terpen yang memberikan aroma floral manis (Epindonta & Saragih, 2026), sementara *Red Apple* (*Malus domestica*) mengandung ester dan aldehida yang memberikan kesan segar, kombinasi kedua komponen aroma ini menghasilkan profil yang seimbang, menggabungkan aroma floral dengan kesegaran buah yang menciptakan formula aroma yang kompleks dan menarik.

Polimer hidrofilik seperti polietilen glikol (PEG) sering digunakan karena biokompatibilitas, toksisitas rendah, dan kemampuannya untuk mencegah agregasi partikel melalui efek sterik (Shi et al., 2021). Secara spesifik, PEG-40 HCO (PEG-40 *Hydrogenated Castor Oil*) telah menunjukkan potensi besar sebagai agen pelapis dan pengemulsi, mengingat sifat amfifiliknya yang unik, yang memungkinkannya berinteraksi baik dengan fase minyak maupun air, memberikan stabilitas yang superior dibandingkan dengan polimer hidrofilik murni lainnya seperti PEG biasa atau PVA dalam sistem emulsi minyak dalam air (Rachmawati et al., 2017).

Teknik atomisasi dipilih karena kemampuannya menghasilkan droplet dengan distribusi ukuran yang relatif terkontrol serta berpotensi lebih mudah diskalakan untuk produksi volume besar dibandingkan metode berbasis energi tinggi seperti sonikasi atau emulsifikasi yang seringkali kurang efisien dalam skala besar dan menghasilkan distribusi ukuran partikel yang lebih lebar (Rota Pramudiahwardani, 2025).

Karakterisasi nanopartikel yang diukur meliputi empat parameter diantaranya adalah diameter rata-rata (mean diameter), indeks polidispersitas (polydispersity index, PDI), mobilitas elektroforetik, dan zeta potensial, parameter ini diuji sebagai bentuk evaluasi terhadap ukuran distribusi dan homogenitas partikel (Arifin et al., 2022).

Meskipun penelitian mengenai nanopartikel minyak atsiri dan penggunaan polimer pelindung telah banyak dilakukan, tetapi terdapat beberapa celah penelitian yang signifikan. Studi sebelumnya lebih banyak berfokus pada minyak tunggal atau variasi konsentrasi surfaktan, namun belum mengkaji secara sistematis bagaimana variasi konsentrasi campuran minyak memengaruhi diameter rata-rata, indeks polidispersitas, mobilitas elektroforetik, dan zeta potensial.

Parameter-parameter ini sangat penting karena menentukan stabilitas koloidal, kemampuan dispersi dalam matriks air, serta potensi pelepasan aroma (Ginting & Saragih, 2026). Beragam parameter yang dilakukan dalam mengevaluasi rasio minyak terhadap PEG-40 HCO pada volume surfaktan tetap terhadap ukuran droplet, distribusi ukuran, mobilitas elektroforetik, dan zeta potential

METODE

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah: (1) minyak atsiri red apple; (2) minyak atsiri bunga gardenia; (3) surfaktan peg-40 hco dengan kemurnian 99%; dan (4) air destilasi. Surfaktan peg-40 hco dibeli dari Merck KGaA Germany. Minyak atsiri bunga gardenia dan minyak

atsiri red apple dibeli dari C.V. Mikaya Makmur Sejahtera, Kota Surabaya, Indonesia. Semua bahan di atas langsung digunakan dengan kemurniannya tanpa dikarakterisasi lebih lanjut dan tanpa perlakuan tambahan.

1. Prekursor Campuran Minyak Atsiri Gardenia dan Minyak Atsiri Red apple

Prekursor campuran minyak atsiri gardenia dan minyak atsiri red apple disiapkan untuk diatomisasi. Minyak atsiri gardenia dan minyak atsiri red apple dicampur dengan perbandingan 50%:50%. Dari campuran ini, disiapkan 4 variasi formulasi dipisahkan dengan volume masing-masing 2,3,4 dan 5 mL. Selanjutnya setiap formulasi dicampur dengan polimer PEG-40 HCO sebanyak 1mL.

Prekursor peg-40 hco disiapkan sebagai surfaktan dan penstabil nanoemulsi. Peg-40 hco dicampurkan dengan campuran minyak atsiri gardenia dan minyak atsiri red apple yang telah disiapkan sebelumnya, setiap proses pencampuran dilakukan dengan menggunakan *magnetic stirrer* yang dioperasikan pada 100 rpm dan temperatur ruang selama 30 menit.

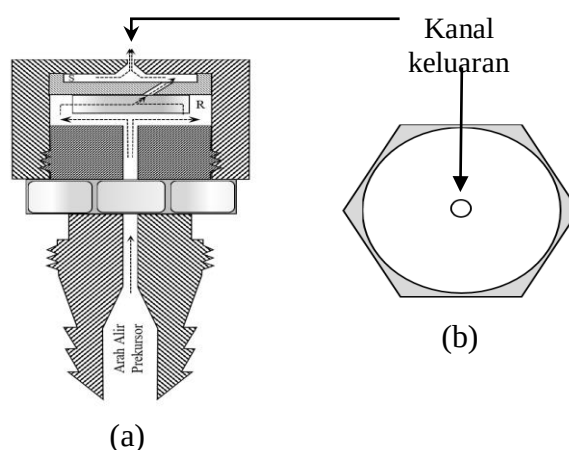
2. Pencampuran Prekursor Minyak Atsiri Gardenia dan Red Apple dengan Air

Selanjutnya keempat formula campuran minyak atsiri gardenia dan red apple yang telah di lapiis oleh surfaktan peg-40 hco disiapkan untuk dicampurkan dengan 80 mL air destilasi dan dihomogenisasi menggunakan *magnetic stirrer* yang dioperasikan pada 100 rpm dan temperatur ruang selama 30 menit dipersiapkan untuk proses atomisasi.

3. Sintesis Nanoemulsi Campuran Minyak Atsiri Gardenia dan Minyak Atsiri Red apple

Sintesis nanoemulsi campuran minyak atsiri *gardenia* dan minyak atsiri red apple (prekursor) dilakukan dengan teknik atomisasi dengan menggunakan atomizer bertipe *pressure atomizer*, yaitu atomizer yang proses atomisasinya

dibangkitkan oleh tekanan. Cairan campuran prekursor yang akan diatomisasi ditekan masuk ke dalam nosel, kemudian dikeluarkan melalui suatu kanal keluaran yang diameternya sangat kecil. Tipe nosel yang digunakan adalah nosel putar bertekanan (*pressure-swirl nozzle*) dengan konstruksi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Konstruksi nosel *pressure-swirl*. (a) tampak samping (penampang lintang) dan (b) tampak atas (lubang kanal keluaran).

Dengan menggunakan nosel seperti ini, cairan campuran prekursor akan disirkulasi di dalam nosel (di ruang R dan di ruang S), dan ketika bersirkulasi di ruang S, cairan campuran prekursor disemburkan ke luar melalui lubang kanal keluaran dengan tekanan yang tinggi dan sambil berputar. Dengan teknik ini cairan campuran prekursor akan menjadi homogen dan dapat menghasilkan semburan dengan ukuran butiran yang relatif sangat kecil. Butiran-butiran yang berdiameter sangat kecil, yang keluar dari nosel, selanjutnya mengalami tumbukan dan gesekan dengan partikel-partikel udara yang dilewatinya. Akibatnya, butiran-butiran tersebut terpecah menjadi

butiran-butiran yang lebih kecil lagi. Hal ini akan terjadi terus menerus sampai ukuran kritis butiran tercapai. Ketika ukuran kritis butiran tercapai, molekul-molekul surfaktan peg-40 hco yang terdapat di dalamnya akan mengenkapsulasi seukuran kecil (berorde nanometer) partikel-partikel campuran minyak atsiri *gardenia* dan minyak atsiri red apple.

Hasil dari semburan butiran-butiran kecil ini selanjutnya ditampung dengan menggunakan suatu wadah kaca berbentuk bulat berdiameter 30 cm. Konstruksi nosel yang digunakan memiliki tinggi dan diameter ruang R dan ruang S masing-masing adalah 7 mm, 3 mm dan 5 mm, 2 mm. Sementara diameter lubang

kanal keluaran nosel adalah 0,5 mm. Nanoemulsi campuran minyak atsiri *gardenia* dan minyak atsiri red apple yang telah dienkapsulasi oleh molekul-molekul peg-40 hco, akan terdispersi di dalam air.

Karakterisasi

Nanoemulsi campuran minyak atsiri *gardenia* dan minyak atsiri red apple yang dihasilkan dari sintesis di atas, selanjutnya dikarakterisasi. Karakterisasi yang dilakukan mencakup: (1) pengukuran diameter rata-rata, (2) pengukuran indeks polidispersitas, dan (3) pengukuran potensial zeta. Pengukuran diameter rata-rata, indeks polidispersitas, dan potensial zeta, dilakukan dengan menggunakan sistim peralatan *Particle Size Analyzer* (PSA) merek HORIBA SZ-100 (Japan).

HASIL DAN PEMBAHASAN

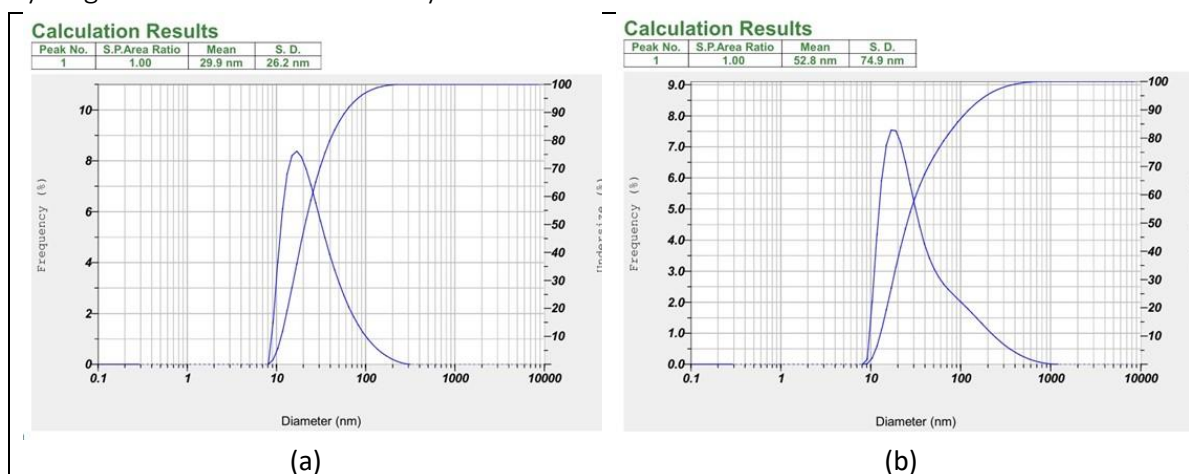
Pengaruh Konsentrasi Campuran Minyak Atsiri Gardenia dan Red Apple terhadap Diameter Rata-rata Nanopartikelnya.

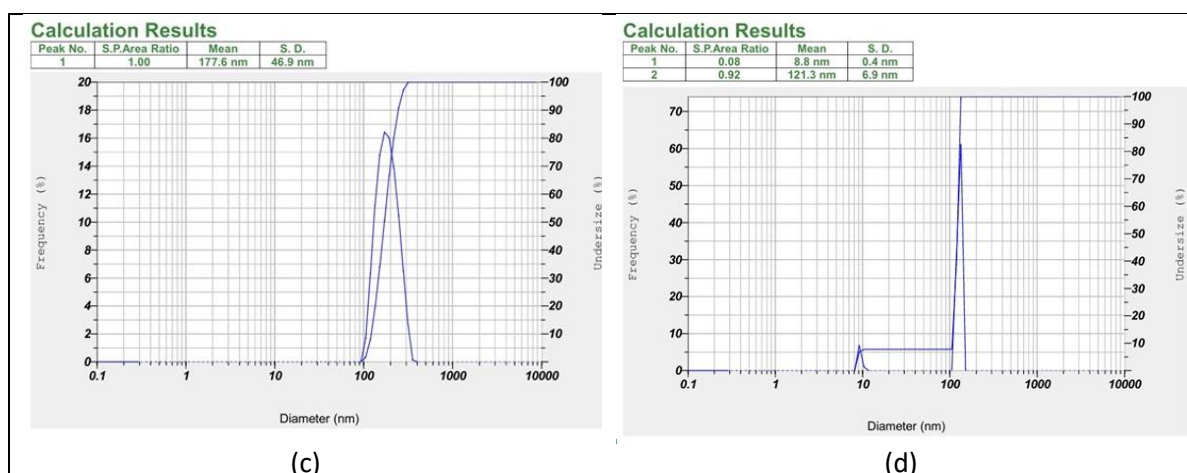
Pada penelitian ini, dilakukan evaluasi pengaruh variasi konsentrasi campuran minyak atsiri *gardenia* dan red apple terhadap diameter rata-rata nanoemulsi yang dibuat menggunakan PEG-40 hydrogenated castor oil sebanyak 1 mL

untuk setiap formula, sedangkan volume campuran minyak atsiri *gardenia* dan red apple divariasikan menjadi 2 mL, 3 mL, 4 mL, dan 5 mL. Lalu minyak atsiri yang sudah di lapisi peg-40 hco dicampurkan kedalam 80 mL air destilasi.

Hasil pengukuran diameter rata-rata dan standar deviasi ditunjukkan pada gambar 2. diperoleh bahwa formula dengan 2 mL campuran minyak atsiri *gardenia* dan red apple menunjukan nilai diameter rata-rata paling kecil yaitu 29,9 nm. Pada formula 5 mL yang merupakan konsentrasi terbesar yang digunakan pada penelitian ini menunjukkan perilaku yang berbeda, yaitu munculnya dua puncak ukuran pada 8,8 nm dan 121,3 nm.

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem tidak lagi bersifat unimodal, melainkan telah mengalami heterogenitas struktur. Munculnya distribusi bimodal mengindikasikan bahwa pada rasio minyak:surfaktan 5:1, PEG-40 HCO tidak lagi mampu menstabilkan seluruh fase minyak dalam satu populasi droplet homogen.





Gambar 2. Diameter rata-rata (nm) (*mean*) dan standar deviasi (SD) nanopartikel minyak atsiri apel merah yang dienkapsulasi polimer PEG-40 HCO. Nanopartikel disintesis dengan menggunakan: (a) 2 mL, (b) 3 mL, (c) 4 mL, dan (d) 5 mL minyak atsiri gardenia dan red apple yang masing-masing dicampurkan ke dalam 1 mL polimer PEG-40 HCO di dalam 80 mL Air.

Tabel 1. Besar diameter rata-rata (nm) dan standar deviasi (nm) nanopartikel campuran minyak gardenia dan red apple yang dienkapsulasi polimer PEG-40 HCO. Nanopartikel disintesis menggunakan empat ragam konsentrasi minyak atsiri.

Konsentrasi Campuran Minyak Atsiri Gardenia dan Red Apple (mL ke dalam 1 mL PEG-40 HCO)	Puncak #1		Puncak #2	
	Diameter Rata-rata (nm)	Standar Deviasi (nm)	Diameter Rata-rata (nm)	Standar Deviasi (nm)
2	29,9	26,2	-	-
3	52,8	74,9	-	-
4	177,6	46,9	-	-
5	8,8	0,4	121,3	6,9

Data tabel 1 menunjukkan bahwa adanya pengaruh variasi konsentrasi campuran minyak atsiri gardenia dan red apple terhadap perubahan diameter rata-rata dan nilai standar deviasi nanopartikel yang dihasilkan, pada konsentrasi 2 mL diameter rata-rata yang dihasilkan yaitu berukuran 29,9 nm, dengan nilai standar deviasi 26,2 nm, sedangkan pada 3 mL naik menjadi 52,8 nm, dengan nilai standar deviasi 74,9 nm, dan pada 4 mL meningkat sangat besar menjadi 177,6 nm dengan

nilai standar deviasi yang turun menjadi 46,9 nm, pada ketiga konsentrasi ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi campuran minyak atsiri maka semakin besar ukuran diameter rata-rata yang dihasilkan, tetapi pada konsentrasi 5 mL menunjukkan nilai dua puncak ukuran diameter rata-rata yaitu 8,8 nm dengan nilai standar deviasi 0,4 (puncak #1) dan meningkat menjadi 121,3 nm dengan nilai standar deviasi 6,9 pada (puncak #2).

Hasil ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi minyak yang lebih tinggi, sebagian minyak berhasil terdispersi sangat baik menjadi droplet kecil yang distabilkan PEG-40 HCO, tetapi sebagian lain mengalami koalesensi atau pertumbuhan droplet karena permukaan antarmuka tidak cukup cepat atau cukup banyak dilapisi surfaktan (Simalango & Saragih, 2026).

Campuran konsentrasi minyak atsiri juga sangat berpengaruh terhadap dispersi nanoemulsi minyak atsiri karena masing-masing minyak atsiri memiliki kelarutan, volatilitas, dan afinitas yang berbeda terhadap surfaktan (Desrianti, 2024), sehingga tidak semua droplet terbentuk dengan ukuran seragam. Campuran minyak atsiri dapat menghasilkan dua puncak diameter rata-rata nanoemulsi karena perbedaan sifat komponen minyak menyebabkan pembentukan dua populasi droplet, selain itu PEG-40 HCO yang di gunakan konsisten (1 mL) belum cukup memberikan stabilisasi antarmuka yang seragam pada konsentrasi 5 mL sehingga sistem menjadi polidisers dan terbentuk dua puncak diameter rata-rata.

Maka dari itu dapat dinyatakan bahwa campuran dan variasi konsentrasi minyak atsiri yang digunakan dalam sintesis nanoemulsi dapat memengaruhi diameter rata-rata dengan menggunakan surfaktan peg-40 hco yang tetap menghasilkan rentang diameter (29,9-177,6), hal ini menunjukkan bahwa semakin bertambahnya konsentrasi campuran minyak atsiri maka semakin besar ukuran diameter rata-rata nanopartikel dan juga

menunjukkan bahwa surfaktan peg-40 hco memiliki kapasitas terhadap kemampuannya dalam men-enkapsulasi campuran minyak atsiri sehingga dapat menimbulkan hasil dua puncak pada konsentrasi yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa rasio formulasi antara surfaktan dan minyak atsiri yang tepat sangat penting untuk menghasilkan nanopartikel yang seragam dan stabil pada aplikasi nanoparfum berbasis air.

Pengaruh Konsentrasi Campuran Minyak Atsiri Gardenia dan Red Apple terhadap Indeks Polidispersitas Nanopartikelnya.

Pada gambar 2 dan tabel 1 juga menampilkan nilai standar deviasi (SD) untuk masing-masing distribusi ukuran populasi nanopartikel. Berdasarkan nilai SD tersebut, indeks polidispersitas (IP) setiap populasi nanopartikel dapat ditentukan melalui persamaan $IP = (\frac{SD}{d})^2$, dengan d merupakan diameter rata-rata partikel. IP sendiri merupakan besaran tanpa satuan (a.u.) yang menggambarkan tingkat keseragaman ukuran partikel dalam suatu populasi.

Populasi dengan nilai IP kecil (bersifat monodispers) memiliki kecenderungan yang lebih stabil, karena ukuran partikel yang seragam menghasilkan pola interaksi antarpartikel yang lebih homogen (Irmayanti et al., 2026), sehingga risiko partikel saling menempel (agregasi) maupun bergabung (koalesensi) dapat ditekan. Proses agregasi ini berpotensi memicu pengendapan partikel, mengubah karakteristik fisikokimianya, dan pada akhirnya menurunkan kualitas formulasi. Sebaliknya, populasi yang stabil akan

memiliki masa simpan lebih panjang serta menunjukkan kinerja yang lebih konsisten sepanjang waktu. Berdasarkan persamaan tersebut, nilai IP dari setiap populasi nanopartikel telah dihitung, dan

keterkaitan antara konsentrasi minyak atsiri dengan nilai IP masing-masing populasi nanopartikel disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai indeks polidispersitas (a.u.), nanopartikel campuran minyak gardenia dan red apple yang dienkapsulasi polimer PEG-40 HCO di dalam 80 mL Air.

Konsentrasi Campuran Minyak Atsiri Gardenia dan Red Apple (mL ke dalam 1 mL PEG-40 HCO)	Indeks Polidispersitas Campuran Minyak Atsiri Gardenia dan Red Apple (Puncak 1)	Indeks Polidispersitas Campuran Minyak Atsiri Gardenia dan Red Apple (Puncak 2)
2	0,768	-
3	2,012	-
4	0,069	-
5	0,002	0,003

Pada konsentrasi 2 mL, indeks polidispersitas berada pada kategori tinggi (0,768), menandakan sistem yang cukup heterogen namun belum ekstrem. Ketika konsentrasi dinaikkan menjadi 3 mL, IP justru meningkat drastis menjadi 2,012, nilai di luar rentang normal yaitu 0–1 yang menandakan sebaran ukuran droplet sangat lebar, kemungkinan akibat sistem berada tepat di sekitar titik kritis/transisi fase formulasi (*near phase-inversion point*), di mana tegangan antarmuka sangat rendah dan tidak stabil sehingga droplet besar dan kecil terbentuk bersamaan secara tidak merata.

Fenomena lonjakan polidispersitas di sekitar komposisi kritis serupa dengan temuan (Anton & Vandamme, 2009), yang menunjukkan bahwa metode emulsifikasi energi rendah sangat sensitif terhadap rasio komposisi surfaktan-minyak-air, dengan performa terburuk (ukuran besar, distribusi lebar) terjadi tepat di sekitar titik infleksi formulasi sebelum sistem menemukan konfigurasi stabil barunya.

Pada konsentrasi 4 mL volume minyak atsiri lebih besar namun distribusi ukuran menjadi lebih homogen dengan nilai IP = 0,069, hal ini terjadi karena pada volume minyak yang lebih besar, luas permukaan total droplet yang terbentuk juga meningkat, sehingga jumlah situs adsorpsi bagi rantai polietilen glikol dari PEG-40 HCO pada antarmuka minyak-air menjadi lebih banyak tertata dan lebih merata dibandingkan pada volume yang lebih kecil.

Molekul PEG-40 HCO yang teradsorpsi ini secara preferensial menarik ion hidroksida (OH^-) dari fase air ke permukaan droplet, sehingga permukaan droplet menjadi bermuatan negatif dengan magnitude yang lebih besar, muatan permukaan yang lebih besar ini menimbulkan gaya tolak-menolak elektrostatis yang jauh lebih kuat antar-droplet, sehingga secara efektif menghambat peristiwa koalesensi yaitu penggabungan dua droplet menjadi satu yang lebih besar maupun Ostwald ripening

yang artinya pertumbuhan droplet besar dengan mengorbankan droplet kecil melalui difusi molekul minyak.

Kemunculan dua puncak distribusi ukuran pada volume 5 mL, dengan IP puncak pertama yang menurun lebih jauh (0,002) dan munculnya IP puncak kedua yang sangat kecil (0,003), menandakan bahwa pada konsentrasi minyak tertinggi sistem tidak lagi bersifat homogen tunggal, melainkan bimodal, artinya terdapat dua subpopulasi partikel dengan ukuran yang berbeda dan masing-masing subpopulasi tersebut sangat seragam di dalam kelompoknya sendiri ditandai oleh nilai IP yang sangat rendah pada kedua puncak, munculnya puncak kedua ini disebabkan oleh kelebihan relatif molekul surfaktan PEG-40 HCO dibandingkan luas permukaan minyak yang tersedia untuk diselimuti pada rasio surfaktan terhadap minyak yang sudah sangat rendah (Angelita & Saragih, 2025), yang dimana pada penelitian ini yang digunakan adalah 1 mL surfaktan berbanding 5 mL campuran minyak atsiri. Pada kondisi ini, tidak seluruh molekul PEG-40 HCO digunakan untuk menstabilkan antarmuka droplet minyak dan air, sebagian molekul surfaktan yang tidak berikatan dengan fase minyak akan menyusun dirinya sendiri secara spontan membentuk misel kosong di dalam fase air (Setyopratiwi *et al.*, 2022).

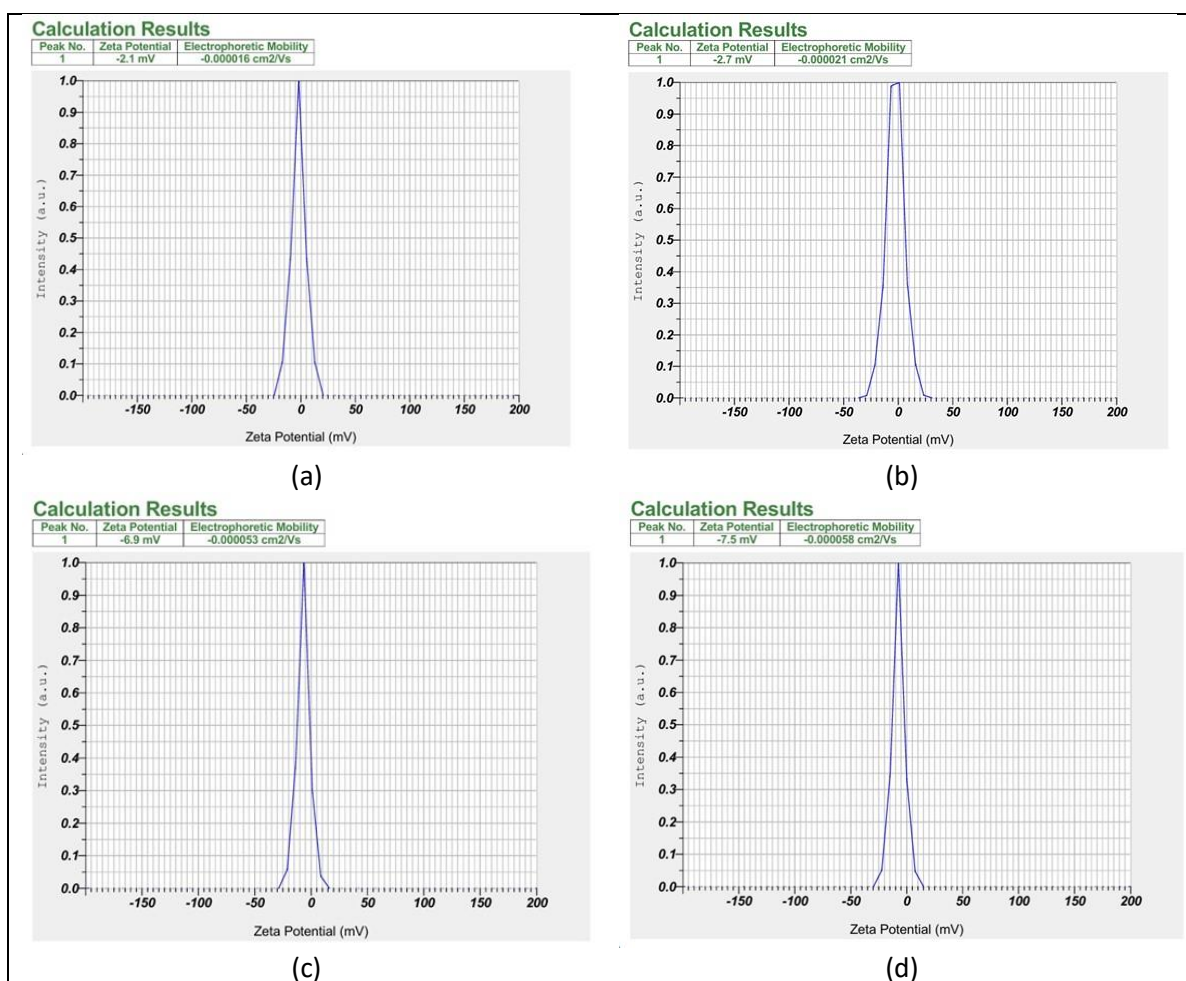
Pengaruh Konsentrasi Campuran Minyak Atsiri Gardenia dan Red Apple terhadap Mobilitas Elektroforetik Rata-rata dan Potensial Zeta Nanopartikelnya.

Dalam penelitian ini, mobilitas elektroforetik rata-rata dan potensial zeta

nanopartikel menjadi parameter yang dievaluasi karena berperan penting dalam menentukan stabilitas fisik nanoemulsi. Pengukuran dilakukan terhadap 4 konsentrasi campuran minyak atsiri yang telah disintesa yaitu 2 mL, 3 mL, 4 mL, 5 mL. Berdasarkan perbedaan konsentrasi campuran minyak atsiri gardenia dan red apple dari 2 mL ke 5 mL baik mobilitas elektroforetik maupun potensial zeta menunjukkan peningkatan yang sistematis dan terukur.

Berdasarkan hasil pengukuran dilampirkan pada gambar 3 dan table 3 Mobilitas elektroforetik menjadi semakin negatif dari nilai negatif $-0,000016 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ menjadi $-0,000058 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, merepresentasikan peningkatan sebesar tiga kali lipat. Demikian pula, potensial zeta semakin negatif dari $-2,1 \text{ mV}$ menjadi $-7,5 \text{ mV}$, yang secara absolut merepresentasikan peningkatan sebesar 3,57 kali lipat. Nilai potensial zeta yang tinggi, baik bernilai positif maupun negatif, mengindikasikan adanya gaya tolak-menolak elektrostatis yang kuat antar partikel.

Gaya ini berperan penting dalam mencegah terjadinya agregasi dan koalesensi, sehingga secara langsung meningkatkan stabilitas sistem dispersi. Sebaliknya, nilai zeta potensial yang mendekati nol menunjukkan lemahnya tolakan elektrostatis, yang dapat menyebabkan kecenderungan partikel untuk saling mendekat dan membentuk agregat, serta berdampak pada ketidakstabilan sistem.



Gambar 3. Mobilitas elektroforetik (*electrophoretic mobility*) dan potensial zeta (*zeta potential*)

Tabel 3. Besar mobilitas elektroforetik (cm²/Vs) dan potensial zeta (*zeta potential*)

Konsentrasi Campuran Minyak Atsiri Gardenia dan Red Apple (mL ke dalam 1 mL PEG-40 HCO)	Mobilitas Elektroforetik (cm ² /Vs)	Potensial Zeta (mV)
2	-0,000016	-2,1
3	-0,000021	-2,7
4	-0,000053	-6,9
5	-0,000058	-7,5

Data pada tabel 3 menunjukan bahwa semakin bertambah konsentrasi campuran minyak atsiri Gardenia dan Red Apple, semakin tinggi pula interaksi antarmuka antara inti minyak atsiri dan lapisan surfaktan, yang pada akhirnya memengaruhi muatan permukaan partikel (Ullah *et al.*, 2022). Partikel koloid yang berada dalam medium cair akan

membentuk lapisan ion di sekelilingnya. Saat diberikan medan listrik, partikel bermigrasi menuju elektroda yang berlawanan muatan, dan kecepatan migrasi ini dinyatakan sebagai mobilitas elektroforetik. Nilai potensial zeta merupakan potensial pada bidang geser partikel, yaitu batas tempat cairan yang

menempel pada partikel mulai bergerak relatif terhadap medium.

Pada konsentrasi 2 mL, mobilitas elektroforetik masih sangat kecil, yaitu $-0,000016 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, dengan potensial zeta hanya $-2,1 \text{ mV}$. Pada konsentrasi 3 mL, semakin negatif nilai mobilitas elektroforetik dan potensial zeta menjadi $-0,000021 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ dan $-2,7 \text{ mV}$. Pada konsentrasi 4 mL, terjadi peningkatan nilai semakin negatif yang jauh lebih besar, dengan mobilitas elektroforetik menjadi $-0,000053 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ dan potensial zeta $-6,9 \text{ mV}$. Ini menunjukkan bahwa kenaikan konsentrasi minyak mulai memberikan pengaruh yang jauh lebih nyata terhadap karakter permukaan nanopartikel; kerapatan muatan negatif pada bidang geser meningkat tajam, sehingga partikel berpindah lebih kuat ke arah elektroda positif dalam medan listrik.

Namun, karena potensial zeta masih belum memasuki kategori stabil secara elektrostatik, partikel tetap berpotensi mengalami agregasi. Pada konsentrasi 5 mL, mobilitas elektroforetik mencapai $-0,000058 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ dan potensial zeta $-7,5 \text{ mV}$ — nilai absolut paling besar pada seluruh rentang data. Dampaknya, gaya tolak-menolak antarpartikel meningkat dibandingkan konsentrasi lebih rendah, tetapi tetap belum cukup kuat untuk menjamin kestabilan elektrostatik yang baik.

Ditinjau dari perspektif fisika koloid, pengaruh peningkatan konsentrasi campuran minyak atsiri gardenia dan red apple terhadap mobilitas elektroforetik serta potensial zeta nanopartikel dapat dijelaskan secara teoretis. Inti nanopartikel

yang terbentuk sebagian besar tersusun atas molekul-molekul bersifat non-polar hingga semi-polar, hasil dari pencampuran kedua jenis minyak atsiri tersebut. Bagian luar nanopartikel selanjutnya dilapisi oleh molekul surfaktan polimer PEG-40 HCO, yang fungsi utamanya adalah memberikan kestabilan pada droplet melalui jalur sterik.

Merujuk pada hasil yang diperoleh, kenaikan konsentrasi campuran minyak atsiri dari 2 hingga 5 mL berbanding lurus dengan meningkatnya nilai absolut mobilitas elektroforetik (dari $-0,000016$ menjadi $-0,000058 \text{ cm}^2/\text{Vs}$) maupun potensial zeta (dari $-2,1$ menjadi $-7,5 \text{ mV}$). Dengan demikian, nilai potensial zeta yang tetap berada pada kisaran rendah di sepanjang rentang konsentrasi tersebut mengindikasikan bahwa belum kuat kestabilan yang bersumber dari gaya elektrostatik pada sistem ini (Pochapski *et al.*, 2021). Mengingat PEG-40 HCO tergolong surfaktan non-ionik, kestabilan sistem kemungkinan besar lebih banyak ditopang oleh mekanisme stabilisasi sterik dari lapisan polimer di sekitar nanopartikel, dibandingkan oleh gaya tolak-menolak elektrostatik (Honary & Zahir, 2013).

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi konsentrasi campuran minyak atsiri gardenia dan red apple (2, 3, 4, dan 5 mL) yang dienkapsulasi PEG-40 HCO melalui teknik atomisasi berpengaruh signifikan terhadap diameter partikel, indeks polidispersitas (IP), mobilitas elektroforetik, dan potensial zeta nanopartikel. Diameter rata-rata meningkat dari 29,9 nm (2 mL) menjadi 177,6 nm (4 mL), sementara pada 5 mL

sistem menjadi bimodal (8,8 nm dan 121,3 nm) akibat rasio surfaktan-minyak yang tidak lagi mencukupi untuk menstabilkan seluruh fase minyak secara homogen. Nilai IP menunjukkan pola tidak monoton: formula 4 mL paling homogen (IP = 0,069) karena stabilisasi elektrosterik optimal, formula 3 mL menunjukkan anomali (IP = 2,012) akibat berada di sekitar titik inversi fase, dan formula 5 mL memiliki IP sangat rendah pada kedua populasinya (0,002 dan 0,003) akibat terbentuknya misel kosong dari surfaktan berlebih.

Mobilitas elektroforetik dan potensial zeta juga menunjukkan tren peningkatan nilai absolut yang konsisten seiring bertambahnya konsentrasi minyak, dari $-0,000016 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ dan $-2,1 \text{ mV}$ (2 mL) menjadi $-0,000058 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ dan $-7,5 \text{ mV}$ (5 mL). Namun karena nilai-nilai ini tetap rendah, kestabilan sistem nanoemulsi lebih ditopang oleh mekanisme stabilisasi sterik dari lapisan PEG-40 HCO (nonionik) dibandingkan gaya tolak-menolak elektrostatis. Dengan demikian, formulasi 4 mL campuran minyak atsiri dalam 1 mL PEG-40 HCO merupakan kondisi optimal karena menghasilkan sistem nanopartikel paling homogen dan stabil sehingga berpotensi dikembangkan sebagai basis formulasi nanoparfum berbasis air.

DAFTAR PUSTAKA

- Angelita, F., & Saragih, H. (2025). Nanoemulsi Campuran Minyak Flower Musk dan Minyak Atsiri Lili Menggunakan Surfaktan PEG 40 Hydrogenated Castor Oil dan Uji Stabilitas Ukurannya. *Jurnal Fisika Unand*, 14(6), 595–605. <https://doi.org/10.25077/jfu.14.6.59>
- Anton, N., & Vandamme, T. F. (2009). The universality of low-energy nano-emulsification. *International Journal of Pharmaceutics*, 377(1–2), 142–147.
- Arifin, M. F., Noviani, Y., Nafisa, S., & Sheilabel, A. (2022). Pembuatan, Karakterisasi, dan Optimasi Nanopartikel Gelasi Ionik Ekstrak Kering Rimpang Temulawak (*Curcuma xanthorrhiza* R.) Menggunakan Rancangan Faktorial 22. *Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 20(2), 272–280.
- Desrianti, D. (2024). *Formulasi Mouthwash Minyak Atsiri Daun Sirih (Piper betle L.) Dan Daun Kemangi (Ocimum basilicum L.) Dengan Menggunakan Tween 80 Sebagai Surfaktan*.
- Epindonta, M., & Saragih, H. (2026). Sintesis Nanopartikel Minyak Atsiri Gardenia Menggunakan Lapisan Pelindung Polimer Peg-40 Hydrogenated Castor Oil Dan Karakterisasinya. *Journal of Pharmaceutical and Sciences*, 1697–1710.
- Ginting, E. S. L., & Saragih, H. (2026). Stabilitas Ukuran Nanoemulsi Parfum Campuran Minyak Atsiri Black Musk dan Lili yang Dienkapsulasi dengan Polimer Tween 80. *Jurnal Fisika Unand*, 15(1), 24–33. <https://doi.org/10.25077/jfu.15.1.24-33.2026>
- Herayati, H., & Elianasari, E. (2024). Natural-Based Cosmetics: Trends, Challenges, and Scientific Innovations. *Indonesian Journal of Cosmetics*, 2(2), 55–81.

- Honary, S., & Zahir, F. (2013). Effect of Zeta Potential on the Properties of Nano-Drug Delivery Systems - A Review (Part 1). *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 12(2), 255–264.
- Irmayanti, Thomas, , Nur Ain, Paneo, M. A., Suyadi, M. A., & Papeo, D. R. P. (2026). Pengaruh Konsentrasi Tween 80 terhadap Pembentukan Nanopartikel Polimerik Pullulan-Glabridin. *Jurnal Riset Dan Pengabdian Interdisipliner*, 3(1), 127–132.
- Pochapski, D. J., Carvalho dos Santos, C., Leite, G. W., Pulcinelli, S. H., & Santilli, C. V. (2021). Zeta potential and colloidal stability predictions for inorganic nanoparticle dispersions: effects of experimental conditions and electrokinetic models on the interpretation of results. *Langmuir*, 37(45), 13379–13389.
- Rachmawati, H., Novel, M. A., Ayu, S., Berlian, G., Tandrasasmita, O. M., Tjandrawinata, R. R., & Anggadiredja, K. (2017). The in vitro–in vivo safety confirmation of peg-40 hydrogenated castor oil as a surfactant for oral nanoemulsion formulation. *Scientia Pharmaceutica*, 85(2), 18.
- Rota Pramudiahwardani, A. (2025). *Pengembangan Formula dan karakterisasi Nanoemulsi Menggunakan Ekstrak Daun Salam (Syzygium polyanthum) sebagai Agen Antikula*. Universitas Bhakti Kencana.
- Setyopratiwi, A., Titiek, H., & Hanifah, U. (2022). Formulation and Stability of Oil In Water With Virgin Coconut Oil (VCO) as The Oil Phase Using The Emulsification. *Jurnal Kimia*, (November), 108–123.
- Shi, L., Zhang, J., Zhao, M., Tang, S., Cheng, X., Zhang, W., Li, W., Liu, X., Peng, H., & Wang, Q. (2021). Effects of polyethylene glycol on the surface of nanoparticles for targeted drug delivery. *Nanoscale*, 13(24), 10748–10764.
- Simalango, Y. C. A., & Saragih, H. (2026). Sintesis Dan Karakterisasi Nanopartikel Minyak Atsiri Apel Merah untuk Formulasi Nanoparfum Berbasis Air. *Jurnal Pharmacia Mandala Waluya*, 5(3), 745–762.
- Ullah, N., Amin, A., Alamoudi, R. A., Rasheed, S. A., Alamoudi, R. A., Nawaz, A., Raza, M., Nawaz, T., Ishtiaq, S., & Abbas, S. S. (2022). Fabrication and Optimization of Essential-Oil-Loaded Nanoemulsion Using Box–Behnken Design against Staphylococcus aureus and Staphylococcus epidermidis Isolated from Oral Cavity. *Pharmaceutics*, 14(8).
<https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14081640>
- Zahra, A. A., & Susanti, I. (2023). Review Pengembangan formulasi Sediaan nano Minyak Atsiri Terhadap aktivitas Farmakologi. *Journal of Pharmaceutical and Sciences*, 381–387.

Jurnal Pharmacia Mandala Waluya (JPMW) is Licensed a Creative Commons Attribution 4.0 International Licence

