

Stabilitas Ukuran Nanoemulsi Parfum Campuran Minyak Atsiri *Black Musk* dan Lili yang Dienkapsulasi dengan Polimer Tween 80

Endru Saperlin Lawren Ginting, Horasdia Saragih*

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Advent Indonesia, Jl. Kolonel Masturi No. 288 Parongpong, Bandung Barat, Jawa Barat 40559, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 13 Oktober 2025
Direvisi: 20 November 2025
Diterima: 9 Januari 2026

Kata kunci:

Berbasis Air
Musk dan Lili
Parfum Campuran Minyak Atsiri
Black
Polimer Tween 80
Stabilitas Ukuran Nanoemulsi
Temperatur pemanasan

Keywords:

Water Based
Black Musk and Lily Essential Oil
Blend Perfume
Tween 80 Polymer
Nanoemulsion Size Stability
Heating Temperature

Penulis Korespondensi:

Horasdia Saragih
Email: horas@unai.edu

ABSTRAK

Pada penelitian ini, parfum campuran minyak atsiri *black musk* dan lili telah dinanoemulsi menggunakan enkapsulator polimer tween 80 dan didispersi di dalam air untuk menghasilkan parfum berbasis air. Air digunakan sebagai basis untuk menggantikan alkohol yang sering menimbulkan efek samping pada kulit. Stabilitas ukurannya telah diuji, baik sebagai akibat lama waktu penyimpanan dan sebagai akibat pemberian pemanasan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghasilkan parfum berbasis air dari nanoemulsi campuran minyak atsiri *black musk* dan lili, dan menguji stabilitas ukurannya. Nanoemulsi dilakukan dengan teknik atomisasi. Dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa diameter rata-rata dan standar deviasi nanoemulsi berubah setelah disimpan selama 120 hari dan ketika dipanasi sampai temperatur 45°C. Perubahan ukuran selama masa penyimpanan, utamanya disebabkan oleh potensial zetanya yang sangat kecil, sehingga tidak menghasilkan gaya tolak elektrostatis yang memadai antar nanoemulsi untuk menghindari Ostwald ripening dan koalisi. Perubahan ukuran akibat pemanasan, selain oleh hal di atas, juga disebabkan oleh faktor meningkatnya energi kinetik molekul polimer tween 80 di permukaan nanoemulsi yang menyebabkan terjadinya reorganisasi (pemadatan) strukturnya. Dengan demikian stabilitas ukuran parfum nanoemulsi campuran minyak atsiri *black musk* dan lili yang dihasilkan pada penelitian ini sangat dipengaruhi oleh waktu penyimpanan dan temperatur pemanasan.

In this study, a perfume mixture of black musk and lily essential oils was nanoemulsified using a tween 80 polymer encapsulator and dispersed in water to produce a water-based perfume. Water was used as a base to replace alcohol, which often causes side effects on the skin. Its size stability was tested, both as a result of storage time and as a result of heating. The purpose of this study was to produce a water-based perfume from a nanoemulsion mixture of black musk and lily essential oils, and to test its size stability. Nanoemulsion was carried out using an atomization technique. The results showed that the average diameter and standard deviation of the nanoemulsion changed after being stored for 120 days and when heated to a temperature of 45°C. The size change during storage was mainly caused by the very small zeta potential, which did not produce sufficient electrostatic repulsion between the nanoemulsions to prevent Ostwald ripening and coagulation. The size change due to heating, in addition to the above, was also caused by the increasing kinetic energy of the tween 80 polymer molecules on the surface of the nanoemulsion, which caused a reorganization (solidification) of its structure. Thus, the stability of the size of the nanoemulsion perfume mixture of black musk and lily essential oils produced in this study was greatly influenced by storage time and heating temperature.

Copyright © 2026 Author(s).

I. PENDAHULUAN

Parfum umumnya diformulasikan menggunakan alkohol, namun penggunaan alkohol dapat menyebabkan iritasi atau alergi pada kulit sensitif (Smith & Jones, 2023). Oleh karena itu parfum berbasis air mulai dikembangkan. Selain itu, bahan wewangian yang digunakan selama ini umumnya berasal dari bahan sintesis yang juga rentan terhadap kesehatan kulit dan pilihan yang tepat untuk menggantikannya adalah menggunakan wewangian minyak atsiri alami. Namun, minyak atsiri sulit terdispersi dalam air karena sifatnya yang hidrofobik (Miastkowska et al., 2018).

Untuk mengatasi masalah sulitnya mendispersi minyak atsiri di dalam air, teknologi nanoemulsi menjadi solusi karena teknologi ini mampu menghasilkan ukuran droplet minyak atsiri 10 - 200 nm dan mendispersinya di dalam medium air. Selain itu teknologi nanoemulsi dapat menghasilkan emulsi yang jernih, stabilitas kinetik yang baik, dan daya tahan aroma yang lebih lama (Brown & Davis, 2024). Droplet berukuran kecil juga meningkatkan penyebaran dan persistensi aroma pada kulit (Miastkowska et al., 2018).

Pada penelitian ini campuran minyak atsiri *black musk* dan minyak atsiri bunga lili, digunakan sebagai bahan wewangian. Kedua jenis minyak atsiri ini masing-masing memiliki karakter aroma hangat-sensual dan floral-elegan sehingga dapat menghasilkan profil aroma yang menarik (Sharmeen et al., 2021). Tween 80 dipilih sebagai surfaktan non-ionik untuk menstabilkan nanoemulsi karena sifatnya yang aman dan mampu membentuk lapisan pelindung di sekitar droplet (Garcia & Lee, 2022).

Stabilitas ukuran nanoemulsi merupakan parameter kritis untuk menjamin kualitas dan umur simpannya. Dalam konteks ini, pengujian stabilitas ukuran nanoemulsi terhadap waktu penyimpanan dan perubahan temperatur, menjadi sangat penting. Nanoemulsi diharapkan mempertahankan ukuran partikelnya yang kecil dan seragam selama periode penyimpanan dan perubahan temperatur untuk mencegah fenomena seperti sedimentasi atau koalisi yang dapat merusak emulsi dan penampilannya. Kestabilan ukuran terhadap degradasi fisik dari waktu ke waktu merupakan salah satu indikator kunci keberhasilan komersial produk parfum berbasis air.

Dengan demikian, fokus penelitian ini adalah mensintesis nanoemulsi parfum berbasis air yang menggunakan bahan wewangian campuran minyak atsiri *black musk* dan minyak atsiri bunga lili, dan menggunakan Tween 80 sebagai stabilisatornya. Kemudian menguji stabilitas ukuran nanoemulsinya selama 120 hari penyimpanan (Chen & Wang, 2021) dan pengaruh pemanasan pada 35°C, 40°C, dan 45°C (Kim & Park, 2020). Selain itu, potensial zetanya dianalisis karena nilai ini berperan dalam mencegah koalesensi dan Ostwald *ripening* (Koroleva et al., 2018). Diharapkan nanoemulsi yang diperoleh dari hasil penelitian ini memiliki stabilitas yang baik dan tahan lama sehingga dapat berkontribusi dalam pengembangan formulasi kosmetik berbasis nanoemulsi di industri parfum (Langevin, 2023).

II. METODE

2.1 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah: (1) minyak atsiri *black musk*; (2) minyak atsiri bunga lili; (3) surfaktan Tween 80 dengan kemurnian 99%; (4) etanol (*absolute for analysis*) dengan kemurnian 99%; dan (5) air destilasi. Surfaktan Tween 80 dan etanol dibeli dari Merck KGaA Germany. Minyak atsiri *black musk* dan minyak atsiri bunga lili dibeli dari C.V. Mikaya Makmur Sejahtera, Kota Surabaya, Indonesia. Semua bahan di atas langsung digunakan tanpa perlakuan tambahan.

2.2 Metode

2.2.1 Prekursor Campuran Minyak Atsiri *Black Musk* dan Minyak Atsiri Lili

Prekursor campuran minyak atsiri *black musk* dan minyak atsiri lili disiapkan untuk diatomisasi. Minyak atsiri *black musk* dan minyak atsiri lili dicampur dengan perbandingan 50%:50%. Dari campuran ini, tiga replika dipisahkan dengan volume masing-masing 10 mL. Selanjutnya setiap replika diencerkan menggunakan 50 mL etanol. Proses pencampuran dan pengenceran dilakukan dengan menggunakan *magnetic stirrer* yang dioperasikan pada 100 rpm dan temperatur ruang selama 20 menit.

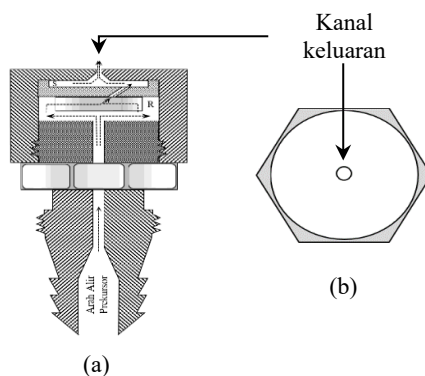
Pengambilan tiga replika prekursor di atas dilakukan adalah untuk tujuan memastikan keandalan hasil nanoemulsi yang akan diperoleh, serta keandalan hasil karakterisasinya.

2.2.2 Prekursor Tween 80

Prekursor Tween 80 disiapkan sebagai surfaktan dan penstabil nanoemulsi. Tween 80 diencerkan dengan mencampurkannya ke dalam etanol dengan perbandingan, tween 80: etanol = 50 ml : 100 mL. Campuran ini diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* yang dioperasikan pada 100 rpm dan pada temperatur ruang selama 20 menit. Sebanyak tiga replika campuran ini disiapkan dengan volume masing-masing 10 mL untuk tiga replika campuran minyak atsiri *black musk* dan minyak atsiri lili yang telah disiapkan sebelumnya.

2.2.3 Sintesis Nanoemulsi Campuran Minyak Atsiri *Black Musk* dan Minyak Atsiri Lili

Sintesis nanoemulsi campuran minyak atsiri *black musk* dan lili dilakukan menggunakan *pressure atomizer*, yaitu alat yang mengubah cairan menjadi butiran halus dengan bantuan tekanan. Campuran cairan ditekan masuk ke dalam nosel berdiameter kecil, sehingga saat keluar akan terdispersi menjadi droplet-droplet kecil. Tipe nosel yang digunakan adalah *pressure-swirl nozzle*, dimana cairan berputar di dalam nosel sebelum teratomisasi, sesuai dengan konstruksi pada Gambar 1.



Gambar 1 Konstruksi nosel *pressure-swirl*. (a) tampak samping (penampang lintang) dan (b) tampak atas (lubang kanal keluaran). Dimensi nosel: ruang R (7 mm tinggi, 3 mm diameter) dan ruang S (5 mm tinggi, 2 mm diameter).

Cairan prekursor dialirkan melalui nosel *pressure-swirl* yang memiliki dua ruang (R dan S). Di ruang S, cairan berputar dan disemprotkan melalui lubang keluaran berdiameter 0,5 mm dengan tekanan tinggi sehingga menghasilkan butiran sangat halus dan seragam. Butiran ini kemudian bertumbukan dengan udara, pecah menjadi berukuran nanometer, lalu dienkapsulasi oleh Tween 80. Hasil semburan ditangkap dalam wadah kaca bulat berdiameter 30 cm berisi air destilasi sehingga terbentuk nanoemulsi.

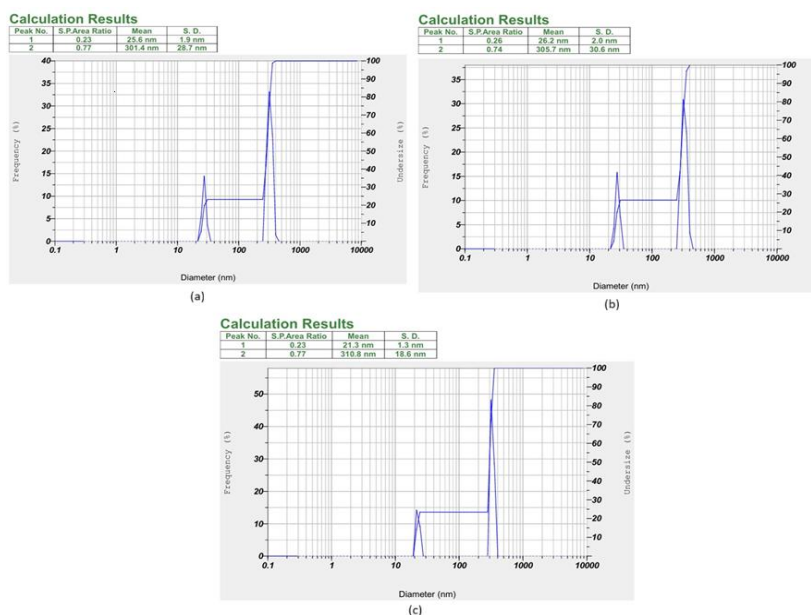
2.2.4 Karakterisasi

Nanoemulsi campuran minyak atsiri *black musk* dan minyak atsiri lili 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 ketiga parameter ini dilakukan dengan menggunakan sistem peralatan *Particle Size Analyzer* (PSA) merek HORIBA SZ-100 (Japan).

III. HASIL DAN DISKUSI

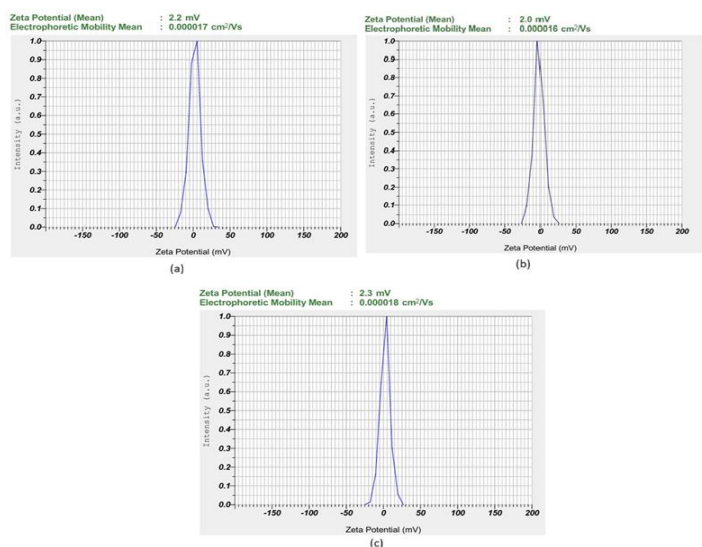
3.1 Stabilitas Ukuran Nanoemulsi selama 120 hari Masa Penyimpanan

Hasil pengukuran ukuran nanoemulsi pada tiga replika (0 hari) menunjukkan adanya dua populasi ukuran dalam setiap sampel. Populasi pertama memiliki diameter rata-rata antara 21,3–26,2 nm, sedangkan populasi kedua berada pada rentang 301,4–310,8 nm. Luas masing-masing puncak distribusi diwakili oleh S.P. *Area Ratio*, yang menunjukkan persentase relatif tiap populasi. Selain itu, standar deviasi (S.D.) dihitung untuk menggambarkan tingkat penyebaran ukuran droplet dari nilai rata-ratanya.



Gambar 2 Puncak distribusi ukuran nanoemulsi campuran minyak atsiri *black musk* dan lili yang dienkapsulasi dengan polimer tween 80 dari tiga replika: (a) replika #1, (b) replika #2, dan (c) replika #3. Pengukuran dilakukan tepat setelah selesai disintesis (0 hari).

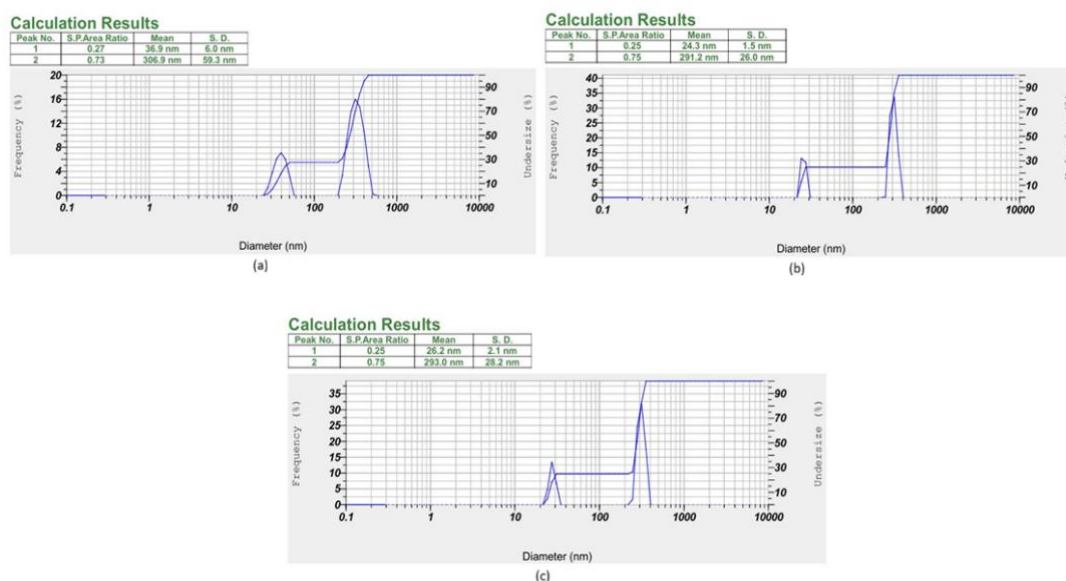
Hasil pengukuran pada 0 hari (Gambar 3) menunjukkan bahwa ketiga replika nanoemulsi memiliki mobilitas elektroporetik masing-masing sebesar $0,000017 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, $0,000016 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, dan $0,000018 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$. Nilai potensial zeta yang diperoleh juga positif, yaitu 2,2 mV, 2,0 mV, dan 2,3 mV. Hal ini menandakan bahwa nanoemulsi campuran minyak atsiri *black musk* dan lili yang distabilkan dengan Tween 80 dalam medium air memiliki muatan permukaan efektif positif, meskipun nilainya sangat rendah.



Gambar 3 Mobilitas elektroforetik dan potensial zeta nanoemulsi campuran minyak atsiri *black musk* dan lili yang dienkapsulasi dengan polimer tween 80 dari tiga replika: (a) replika #1, (b) replika #2, dan (c) replika #3. Pengukuran dilakukan tepat setelah selesai disintesis (0 hari).

Pengukuran menunjukkan bahwa nanoemulsi memiliki mobilitas elektroforetik dan potensial zeta sangat rendah, yaitu hanya 2,0–2,3 mV, sehingga tergolong tidak stabil dan berisiko tinggi mengalami agregasi (Safaya & Rotliwala, 2020). Setelah 120 hari penyimpanan, ketiga replika masih menunjukkan dua populasi ukuran. Populasi pertama memiliki diameter rata-rata 36,9 nm; 24,3 nm; dan 26,2 nm dengan standar deviasi 6,0 nm; 1,5 nm; dan 2,1 nm. Sementara populasi kedua berada pada ukuran 306,9 nm; 291,2 nm; dan 293,0 nm dengan standar deviasi 59,3 nm; 26,0 nm; dan 28,2 nm.

Perubahan ukuran dan meningkatnya variasi ukuran menunjukkan penurunan stabilitas fisik, yang disebabkan oleh rendahnya potensial zeta yang tidak mampu mencegah agregasi selama penyimpanan.



Gambar 4 Puncak distribusi ukuran nanoemulsi campuran minyak atsiri *black musk* dan lili yang dienkapsulasi dengan polimer tween 80 dari tiga replika, yang diukur setelah 120 hari masa penyimpanan: (a) replika #1, (b) replika #2, dan (c) replika #3.

Tabel 1 menunjukkan bahwa selama penyimpanan terjadi perubahan diameter rata-rata dan standar deviasi pada semua replika, baik meningkat maupun menurun. Perubahan ini berkaitan erat dengan potensial zeta, karena nilai potensial zeta menentukan kuatnya gaya tolak elektrostatik antar droplet. Semakin besar nilai absolut potensial zeta, gaya tolak akan semakin kuat sehingga mampu mencegah koalisi dan flokulasi (Ding et al., 2023). Sebaliknya, potensial zeta rendah menyebabkan droplet lebih mudah bergabung sehingga ukuran nanoemulsi berubah selama penyimpanan. Secara umum, nanoemulsi dinilai stabil secara fisik apabila memiliki nilai potensial zeta > 30 mV (Goswami et al., 2023).

Tabel 1 Potensial zeta, diameter rata-rata, dan standar deviasi tiga replika nanoemulsi campuran minyak atsiri *black musk* dan lili yang dienkapsulasi dengan polimer tween 80 yang diukur pada 0 hari setelah disintesis dan setelah 120 hari masa penyimpanan.

Replika	Potensial Zeta (mV)	Populasi	Diameter Rata-rata Nanoemulsi (nm)			Standar Deviasi (nm)		
			0 hari	120 hari	Perubahan (%)	0 hari	120 hari	Perubahan (%)
#1	2,2	#1	25,6	36,9	44,1	1,9	6,0	215,7
		#2	301,4	306,9	1,8	28,7	59,3	106,6
#2	2,0	#1	26,2	24,3	-7,2	2,0	1,5	-25,0
		#2	305,7	291,2	-4,7	30,6	26,0	-15,0
#3	2,3	#1	21,3	26,2	23,0	1,3	2,1	61,5
		#2	310,8	293,0	-5,7	18,6	28,2	51,6

Hasil pengukuran di atas menunjukkan bahwa semua nanoemulsi memiliki nilai potensial zeta yang sangat rendah, yaitu sekitar 2,0–2,3 mV. Nilai ini menandakan lemahnya gaya tolakan elektrostatik antarpartikel, sehingga sistem menjadi rentan terhadap ketidakstabilan fisik. Akibatnya, terjadi perubahan signifikan pada diameter rata-rata dan standar deviasi selama penyimpanan. Ketidakstabilan ini terutama disebabkan oleh dua mekanisme utama, yaitu Ostwald *ripening* dan koalisi. Pada Ostwald *ripening*, partikel berukuran kecil berdifusi menuju partikel yang lebih besar karena perbedaan tekanan Laplace (ΔP) di antara antarmuka minyak–air, yang menyebabkan partikel besar semakin membesar dan partikel kecil semakin mengecil. Mekanisme ini terjadi ketika potensial zeta terlalu rendah untuk memberikan gaya tolak yang memadai antarpartikel, sehingga menyebabkan perubahan ukuran dan

distribusi nanoemulsi secara keseluruhan. Besar tekanan Laplace ini dinyatakan oleh persamaan Young-Laplace:

$$\Delta P = \frac{2\gamma}{r} \quad (1)$$

dimana γ adalah tegangan antarmuka dan r adalah jari-jari nanoemulsi (Montero de Higes *et al.*, 2020). Oleh karena itu Ostwald *ripening* akan mengubah besar diameter rata-rata nanoemulsi dan standar deviasinya.

Koalisi terjadi ketika dua atau lebih nanoemulsi bergabung membentuk partikel yang lebih besar. Hal ini mudah terjadi jika potensial zeta sangat rendah, karena gaya tolak antar partikel tidak cukup kuat. Tween 80 sebagai surfaktan non-ionik memberikan stabilitas sterik dengan membentuk lapisan pelindung di permukaan partikel, namun jika konsentrasinya kurang atau lapisan tidak padat, koalisi tetap dapat terjadi (Luz *et al.*, 2023). Kondisi potensial zeta yang sangat rendah pada sistem ini mempercepat terjadinya Ostwald *ripening* dan koalisi, sehingga ukuran partikel meningkat.

Pada replika #1, populasi pertama mengalami peningkatan diameter 44,1% (dari 25,6 nm menjadi 36,9 nm) dan standar deviasi meningkat 215,7% (dari 1,9 nm menjadi 6,0 nm). Populasi kedua meningkat 1,8% (dari 301,4 nm menjadi 306,9 nm) dengan peningkatan standar deviasi 106,6% (dari 28,7 nm menjadi 59,3 nm). Hasil ini menunjukkan bahwa populasi partikel kecil lebih rentan tidak stabil dan cenderung mengalami Ostwald *ripening*, dimana partikel kecil larut dan berpindah menjadi bagian dari partikel yang lebih besar.

Pada replika #2, populasi pertama menunjukkan stabilitas sangat baik, dengan penurunan diameter rata-rata 7,2% dan penurunan standar deviasi 25,0%, menandakan tidak terjadi koalisi dan bahkan kemungkinan terjadi pemadatan struktur. Populasi kedua juga mengalami penurunan ukuran, yaitu 4,7% untuk diameter rata-rata dan 15,0% untuk standar deviasi. Penurunan ukuran pada kedua populasi ini diduga akibat reorganisasi struktur nanoemulsi dan perubahan konformasi Tween 80 pada antarmuka.

Pada replika #3, populasi pertama mengalami peningkatan diameter rata-rata sebesar 23,0% dan standar deviasi 61,5%, menunjukkan terjadinya Ostwald *ripening* pada partikel kecil. Sebaliknya, populasi kedua mengalami penurunan diameter rata-rata sebesar 5,7% dan standar deviasi 51,6%, yang menunjukkan adanya reorganisasi struktural dalam sistem.

Secara keseluruhan, perubahan ukuran yang terjadi setelah 120 hari menunjukkan bahwa nanoemulsi memiliki stabilitas fisik rendah, terutama karena potensial zeta yang sangat rendah, sehingga Tween 80 tidak mampu sepenuhnya mencegah Ostwald *ripening* dan koalisi. Akibatnya, terjadi perubahan signifikan pada diameter rata-rata dan penyebaran ukuran partikel pada ketiga replika.

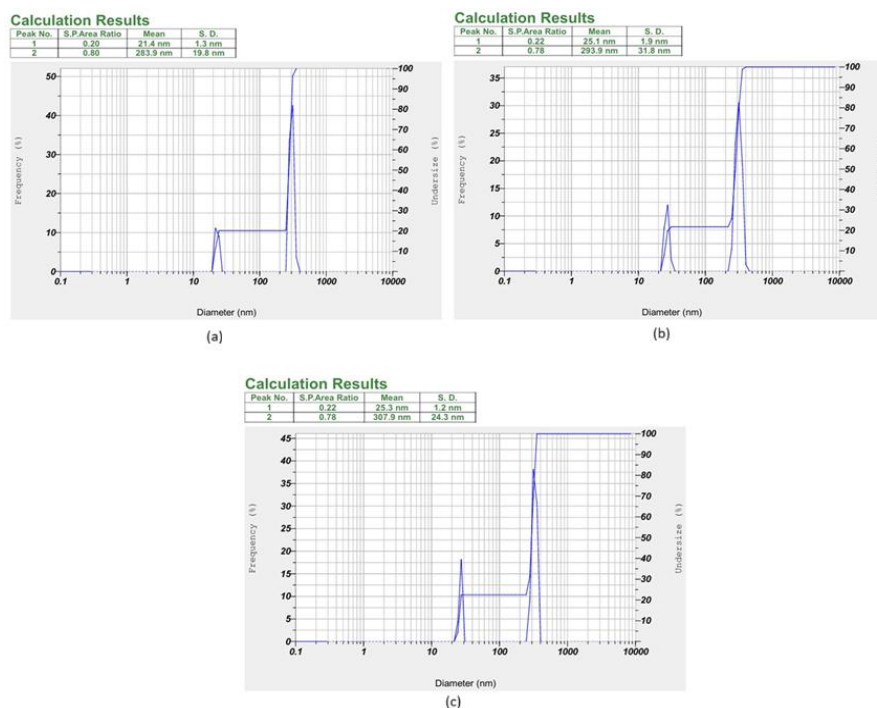
3.2 Pengaruh Pemanasan terhadap Stabilitas Ukuran Nanoemulsi

Setelah ketiga replika nanoemulsi di atas disimpan selama 120 hari, selanjutnya stabilitas ukuran nanoemulsinya diuji dengan memberikan perlakuan pemanasan secara bertingkat. Pemanasan ketiga replika nanoemulsi dilakukan pada temperatur 35°C, 40°C, dan 45°C, selama masing-masing 15 menit. Setelah pemanasan tahap pertama, pada temperatur 35°C, diameter rata-rata dan standar deviasi nanoemulsi diukur, lalu nanoemulsi didiamkan selama satu hari pada temperatur ruang. Demikian selanjutnya dilakukan untuk pemanasan pada temperatur 40°C dan 45°C. Hasil pengukuran diameter rata-rata nanoemulsi dan standar deviasinya, masing-masing secara berurutan ditunjukkan pada gambar 5, 6, dan 7.

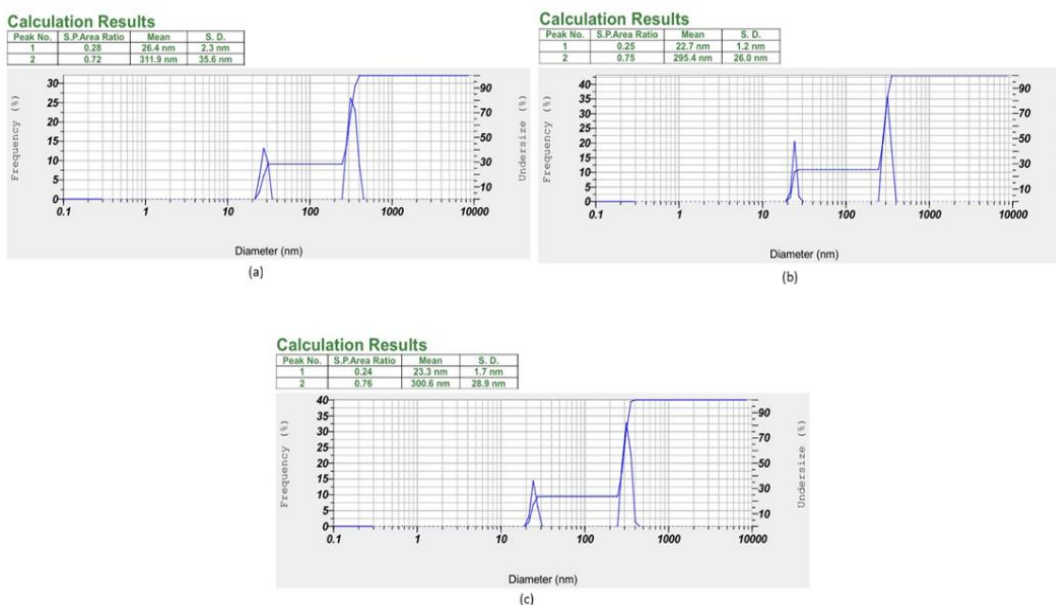
Pada tabel 2, diameter rata-rata dan standar deviasi ketiga replika nanoemulsi, untuk setiap temperatur pemanasan, dirangkumkan. Dari hasil yang diperoleh ini terlihat bahwa temperatur pemanasan sangat mempengaruhi dinamika ukuran nanoemulsi, baik diameter rata-ratanya maupun standar deviasinya. Perubahan terjadi pada semua replika. Perubahan ukuran nanoemulsi terjadi melalui salah satu atau lebih mekanisme berikut: Ostwald *ripening*, koalisi atau reorganisasi/pemadatan struktur penyusun nanoemulsi dan/atau reorganisasi/pemadatan struktur polimer pembalut nanoemulsi yang berada diantarmuka nanoemulsi-medium pendispersi.

Pemanasan meningkatkan energi kinetik dalam sistem sehingga memengaruhi kestabilan nanoemulsi. Pada temperatur tinggi, lapisan Tween 80 pada permukaan droplet mengalami perubahan ketebalan dan tegangan antarmuka (Marhamati *et al.*, 2021), yang meningkatkan peluang tumbukan

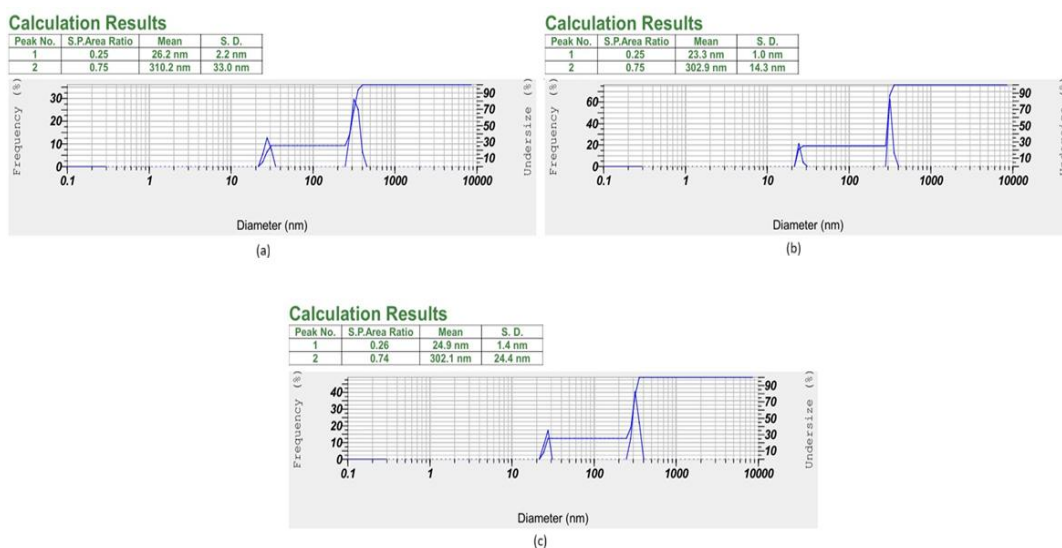
antar nanoemulsi dan memicu koalisi maupun Ostwald *ripening* (Reyes et al., 2021). Temperatur tinggi juga menurunkan nilai absolut potensial zeta, sehingga gaya tolak elektrostatis melemah dan stabilitas menurun (Koroleva et al., 2018; Zhang et al., 2019).



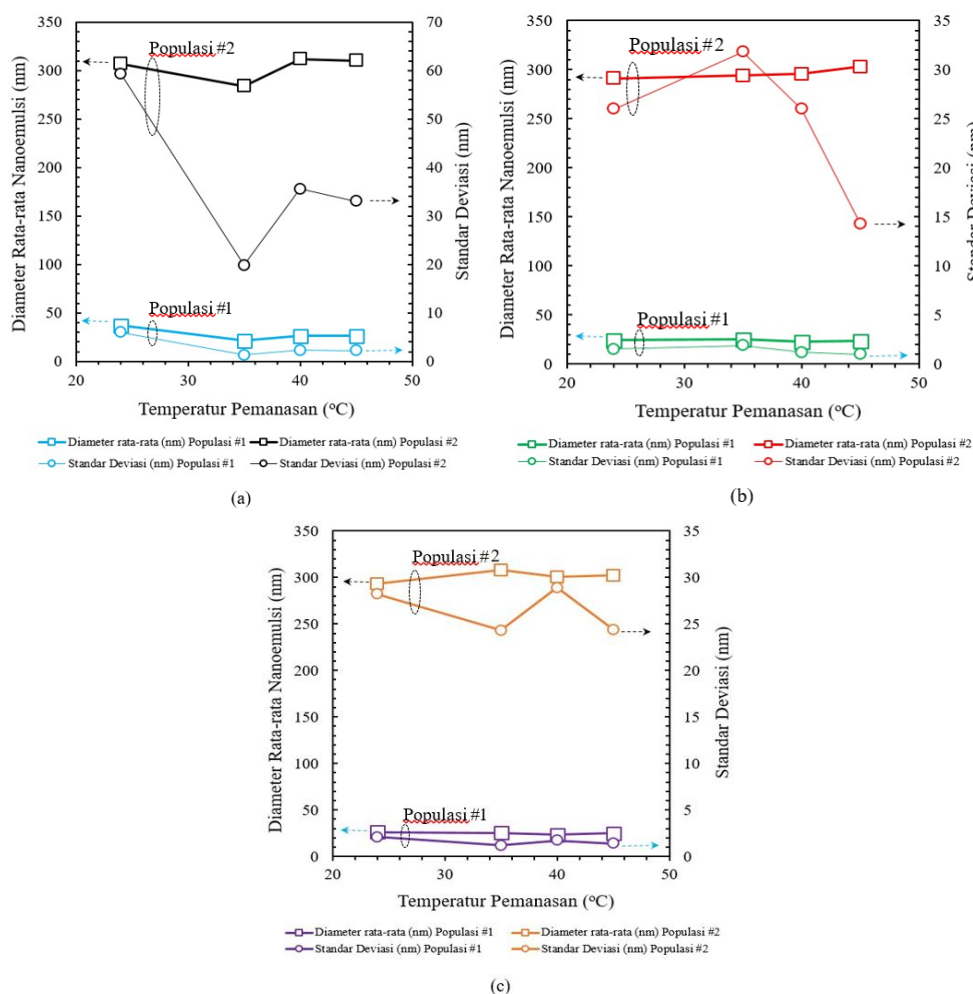
Gambar 5 Puncak distribusi ukuran ketiga replika nanoemulsi campuran minyak atsiri *black musk* dan lili yang dienkapsulasi dengan polimer tween 80 dari setelah dipanaskan pada temperatur 35°C selama 15 menit: (a) replika #1, (b) replika #2, dan (c) replika #3.



Gambar 6 Puncak distribusi ukuran ketiga replika nanoemulsi campuran minyak atsiri *black musk* dan lili yang dienkapsulasi dengan polimer tween 80 dari setelah dipanaskan pada temperatur 40°C selama 15 menit: (a) replika #1, (b) replika #2, dan (c) replika #3.



Gambar 7 Puncak distribusi ukuran ketiga replika nanoemulsi campuran minyak atsiri *black musk* dan lili yang dienkapsulasi dengan polimer tween 80 dari setelah dipanaskan pada temperatur 45°C selama 15 menit: (a) replika #1, (b) replika #2, dan (c) replika #3.



Gambar 8 Perubahan diameter rata-rata (nm) dan standar deviasi (nm) sebagai akibat pemanasan 24°C (temperatur ruang), 35°C, 40°C, dan 45°C dari tiga replika nanoemulsi campuran minyak atsiri *black musk* dan lili yang dienkapsulasi dengan polimer tween 80: (a) replika #1, (b) replika #2, dan (c) replika #3.

Tabel 2 Diameter rata-rata dan standar deviasi ketiga replika nanoemulsi campuran minyak atsiri *black musk* dan lili yang dienkapsulasi dengan polimer tween 80 sebelum dipanaskan dan setelah dipanaskan pada temperatur 35°C, 40°C, dan 45°C, masing-masing selama 15 menit.

Replika	Populasi	Diameter Rata-rata (nm)				Standar Deviasi (nm)			
		Sebelum dipanaskan (24°C)	Dipanaskan (selama 15 menit)			Sebelum dipanaskan	Dipanaskan (selama 15 menit)		
			35°C	40°C	45°C		35°C	40°C	45°C
#1	#1	36,9	21,4	26,4	26,2	6,0	1,3	2,3	2,2
	#2	306,9	283,9	311,9	310,2	59,3	19,8	35,6	33,0
#2	#1	24,3	25,1	22,7	23,3	1,5	1,9	1,2	1,0
	#2	291,2	293,9	295,4	302,9	26,0	31,8	26,0	14,3
#3	#1	26,2	25,3	23,3	24,9	2,1	1,2	1,7	1,4
	#2	293,0	307,9	300,6	302,1	28,2	24,3	28,9	24,4

Hasil menunjukkan bahwa populasi #1 cenderung mengecil, seperti pada replika #1 dari 36,9 nm menjadi 21,4–26,2 nm, yang mengindikasikan reorganisasi dan pemadatan lapisan Tween 80 (Roger, 2016). Sebaliknya, populasi #2 membesar, misalnya dari 306,9 nm menjadi 311,9 nm (40°C) dan 310,2 nm (45°C), akibat Ostwald *ripening* atau koalisi (Chang & Chou, 2023).

Secara keseluruhan, pemanasan menyebabkan populasi kecil mengecil dan populasi besar membesar, menunjukkan bahwa sistem tetap rentan terhadap ketidakstabilan karena potensial zeta sangat rendah dan lapisan Tween 80 tidak cukup kuat menahan interaksi antar nanoemulsi.

IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa stabilitas ukuran nanoemulsi parfum campuran minyak atsiri *black musk* dan lili yang dienkapsulasi dengan polimer Tween 80 sangat dipengaruhi oleh lama penyimpanan dan temperatur. Diameter rata-rata serta standar deviasi partikel mengalami perubahan setelah penyimpanan selama 120 hari dan pemanasan hingga 45°C. Ketidakstabilan selama penyimpanan terutama disebabkan oleh rendahnya nilai potensial zeta, yang tidak mampu menghasilkan gaya tolak elektrostatis memadai untuk mencegah Ostwald *ripening* dan koalisi antar nanoemulsi. Sementara itu, perubahan akibat pemanasan dipicu oleh peningkatan energi kinetik molekul dalam sistem nanoemulsi, yang memperbesar peluang terjadinya tumbukan antar nanoemulsi. Pemanasan juga menyebabkan reorganisasi atau pemadatan lapisan polimer Tween 80 pada antarmuka minyak–air, yang turut berkontribusi terhadap perubahan ukuran dan distribusi nanoemulsi. Kombinasi mekanisme Ostwald *ripening*, koalisi, dan pemadatan struktur antarmuka inilah yang menyebabkan variasi ukuran nanoemulsi selama proses penyimpanan dan pemanasan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tidak ada.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan tidak terdapat konflik kepentingan.

PERNYATAAN PENDANAAN

Penelitian ini tidak memperoleh pendanaan khusus.

PERNYATAAN PENGGUNAAN AI GENERATIF DAN TEKNOLOGI BERBASIS AI

GPT hanya digunakan untuk mengoreksi kesalahan tata bahasa dan tipografi. Penulis bertanggung jawab penuh atas isi dan integritas publikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Brown, A., & Davis, B. (2024). Recent advances in nanoemulsion technology for cosmetic and pharmaceutical applications. *Journal of Nanoparticle Research*, 26(3), 123-135. DOI: 10.1007/s11051-024-06123-4
- Chang, J.-Y., & Chou, T.-H. (2023). Formulation and Characteristics of Edible Oil Nanoemulsions Modified with Polymeric Surfactant for Encapsulating Curcumin. *Polymers*. <https://doi.org/10.3390/polym15132864>
- Chen, L., & Wang, Q. (2021). Long-term stability of nanoemulsions: Challenges and strategies. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 205, 111867. DOI:10.1016/j.colsurfb.2021.111867
- Ding, B., Ahmadi, S. H., Babak, P., Bryant, S. L., & Kantzas, A. (2023). On the Stability of Pickering and Classical Nanoemulsions: Theory and Experiments. *Langmuir*. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.3c00133>
- Garcia, F., & Lee, H. J. (2022). Polysorbate 80 in pharmaceutical formulations: A comprehensive review. *International Journal of Pharmaceutics*, 625, 122045. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2022.122045.
- Goswami, A., Rawat, R., Pillai, P., Saw, R. K., Joshi, D. G., & Mandal, A. (2023). Formulation and characterization of nanoemulsions stabilized by nonionic surfactant and their application in enhanced oil recovery. *Petroleum Science and Technology*. <https://doi.org/10.1080/10916466.2023.2181357>.
- Kim, J., & Park, S. (2020). Effect of temperature on the physical stability of oil-in-water nanoemulsions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 578, 148-157. DOI:10.1016/j.jcis.2020.05.076.
- Koroleva, M., Nagovitsina, T. Y., & Yurtoy, E. V. (2018). Nanoemulsions stabilized by non-ionic surfactants: stability and degradation mechanisms. *Physical Chemistry Chemical Physics*. <https://doi.org/10.1039/C7CP07626F>.
- Luz, A. M., Barbosa, G. D., Manske, C., & Tavares, F. W. (2023). Tween-80 on Water/Oil Interface: Structure and Interfacial Tension by Molecular Dynamics Simulations. *Langmuir*. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.2c03001>.
- Marhamati, M., Ranjbar, G., & Rezaie, M. (2021). Effects of emulsifiers on the physicochemical stability of Oil-in-water Nanoemulsions: A critical review. *Journal of Molecular Liquids*. <https://doi.org/10.1016/J.MOLLIQ.2021.117218>.
- Miastkowska, M., Lasoń, E., Sikora, E., & Wolińska-Kennard, K. (2018). Preparation and Characterization of Water-Based Nano-Perfumes. *Nanomaterials*. <https://doi.org/10.3390/NANO8120981>.
- Montero de Higes, P., Shi, K., Noya, E. G., Santiso, E. E., Gubbins, K. E., Sanz, E., & Vega, C. (2020). The Young-Laplace equation for a solid-liquid interface. *Journal of Chemical Physics*. <https://doi.org/10.1063/5.0032602>.
- Reyes, Y., Hamzehlou, S., & Leiza, J. R. (2021). Ostwald ripening in nano/miniemulsions in the presence of two costabilizers as revealed by molecular dynamics simulations. *Journal of Molecular Liquids*. <https://doi.org/10.1016/J.MOLLIQ.2021.116152>.
- Roger, K. (2016). Nanoemulsification in the vicinity of phase inversion: Disruption of bicontinuous structures in oil/surfactant/water systems. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*. <https://doi.org/10.1016/J.COCIS.2016.09.015>.
- Safaya, M., & Rotliwala, Y. C. (2020). Nanoemulsions: A review on low energy formulation methods, characterization, applications and optimization technique. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2019.11.267>.
- Sharmeen, J., Mahomoodally, F., Zengin, G., & Maggi, F. (2021). Essential Oils as Natural Sources of Fragrance Compounds for Cosmetics and Cosmeceuticals. *Molecules*, 26. <https://doi.org/10.3390/molecules26030666>.
- Smith, J., & Jones, A. (2023). Dermal irritation and sensitization potential of alcohol-based cosmetic products. *Contact Dermatitis*, 89(2), 99-105. DOI: 10.1111/cod.14285.
- Zhang, Y., Chen, X., & Liu, X. (2019). Temperature-Induced Reversible-Phase Transition in a Surfactant-Free Microemulsion. *Langmuir*. <https://doi.org/10.1021/ACS.LANGMUIR.9B02842>.