

STABILITAS UKURAN NANOEMULSI PARFUM CAMPURAN MINYAK ATSIRI BLACK MUSK DAN LILI YANG DIENKAPSULASI DENGAN POLIMER TWEEN 80

E. S. L. Ginting^{1*} dan H. Saragih²

¹*Program Studi Farmasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Advent Indonesia, Bandung, Indonesia*

²*Departemen Farmasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Advent Indonesia, Bandung, Indonesia*

**Email: Saperlin.ginting123@gmail.com*

Article Received on: 17th September 2025

Revised on: 18th December 2025

Accepted on: 25th January 2026

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.

Kata kunci: Stabilitas ukuran nanoemulsi, parfum campuran minyak atsiri black musk dan lili, polimer tween 80, temperatur pemanasan, dan berbasis air.

ABSTRACT

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 coalition. 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.

Keywords: Nanoemulsion size stability, black musk and lily essential oil blend perfume, tween 80 polymer, heating temperature, and water based

PENDAHULUAN

Parfum telah menjadi bagian integral dari kehidupan manusia selama berabad-abad, menawarkan pengalaman sensorik yang menyenangkan dan meningkatkan daya tarik pribadi. Secara tradisional, parfum diformulasi dengan menggunakan pelarut berbasis alkohol, yang berfungsi sebagai pembawa utama untuk senyawa pewangi. Namun, penggunaan alkohol telah menimbulkan kekhawatiran terkait efek samping pada kulit, seperti kekeringan, iritasi, dan reaksi alergi pada individu yang memiliki kulit sensitif (Smith & Jones, 2023). Kekhawatiran ini telah mendorong eksplorasi alternatif formulasi parfum yang lebih aman dan ramah kulit. Pengembangan parfum berbasis air muncul sebagai solusi yang menjanjikan, menawarkan potensi untuk menghilangkan dampak negatif alkohol, sehingga meningkatkan kenyamanan dan keamanan bagi para pengguna (Miastkowska *et al.*, 2018).

Salah satu tantangan utama dalam mengembangkan parfum berbasis air adalah sifat hidrofobik dari sebagian besar bahan pewangi alami dan sintetis. Untuk mengatasi hal ini, teknik nanoemulsi menawarkan pendekatan inovatif untuk mendispersikan bahan pewangi hidrofobik tersebut secara stabil di dalam medium air. Nanoemulsi adalah dispersi termodinamika stabil dari dua cairan yang tidak dapat bercampur, distabilkan oleh lapisan antarmuka surfaktan, dengan ukuran tetesan berkisar antara 10 hingga 200 nm (Brown & Davis, 2024). Dengan mencapai ukuran tetesan di bawah 200 nm, nanoemulsi parfum dapat menunjukkan stabilitas dispersi yang sangat baik dan resisten terhadap pengendapan, memastikan penampilan yang jernih dan seragam selama periode penyimpanan yang lama. Ukuran partikel yang kecil juga dapat meningkatkan penyerapan pada kulit dan durasi aroma (Miastkowska *et al.*, 2018).

Pemilihan bahan pewangi adalah aspek krusial dalam formulasi parfum. Dalam penelitian ini, kombinasi minyak atsiri black musk dan minyak atsiri bunga lili dipilih karena menghasilkan profil aroma yang sangat disukai dan memiliki daya tarik yang luas di kalangan konsumen. Minyak atsiri black musk dikenal dengan aromanya yang kaya, hangat, dan sensual, sementara minyak atsiri bunga lili memberikan sentuhan floral yang lembut, manis, dan elegan. Sinergi antara kedua minyak ini menciptakan aroma yang kompleks dan harmonis, yang diharapkan dapat meningkatkan pengalaman olfaktori secara keseluruhan dan memenuhi preferensi konsumen yang beragam (Sharmeen *et al.*, 2021).

Untuk mencapai nanoemulsi yang stabil, pemilihan surfaktan sangat penting. Tween 80 dipilih sebagai surfaktan dalam penelitian ini karena beberapa keunggulannya. Tween 80 adalah surfaktan non-ionik yang banyak digunakan dalam industri farmasi, kosmetik, dan makanan karena biokompatibilitasnya yang tinggi, toksisitasnya yang rendah, dan kemampuannya untuk membentuk emulsi yang stabil. Sifat-sifat ini menjadikannya pilihan yang ideal untuk memformulasi parfum berbasis air, tidak hanya efektif tetapi juga aman dan lembut di kulit (Garcia & Lee, 2022).

Stabilitas ukuran partikel merupakan parameter kritis untuk menjamin kualitas dan umur simpan nanoemulsi. Dalam konteks ini, pengujian stabilitas ukuran nanoemulsi terhadap waktu penyimpanan yang lama menjadi sangat penting. Nanoemulsi diharapkan mempertahankan ukuran partikelnya yang kecil dan seragam selama periode penyimpanan yang lama untuk mencegah fenomena seperti creaming, 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 (Chen & Wang, 2021).

Selain stabilitas jangka panjang, ketahanan nanoemulsi terhadap fluktuasi temperatur juga perlu dievaluasi secara menyeluruh. Parfum, dalam penggunaan sehari-hari, sering kali terpapar berbagai kondisi temperatur, mulai dari temperatur ruang hingga temperatur yang lebih tinggi akibat penyimpanan yang tidak tepat atau paparan sinar matahari. Pengujian stabilitas ukuran nanoemulsi terhadap pemanasan juga menjadi hal yang sangat krusial terhadap ketahanan termal formulasi. Mengetahui ketahanan termal ini penting untuk memprediksi perilaku produk dalam kondisi lingkungan yang berbeda dan untuk memastikan bahwa kualitas nanoemulsi tetap terjaga di bawah stres termal sehingga menjamin kualitas produk yang konsisten bagi konsumen (Kim & Park, 2020).

Dilatarbelakangi oleh permasalahan di atas dan bentuk solusi yang dapat dilakukan sebagaimana telah diterangkan, penelitian sintesis dan pengujian stabilitas ukuran nanoemulsi parfum berbasis air campuran minyak atsiri black musk dan lili yang dienkapsulasi menggunakan polimer tween 80, telah dilakukan. Nanoemulsi campuran minyak atsiri black musk dan lili disintesis dengan menggunakan teknik atomisasi. Stabilitas ukuran nanoemulsi yang dihasilkan, telah diuji sebagai pengaruh dari lamanya penyimpanan dan pengaruh dari temperatur. Kestabilan nanoemulsi yang dihasilkan juga dikaitkan dengan besarnya potensial zeta nanoemulsi.

MATERI DAN METODE

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.

Metode

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, 3 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.

Prekursor Tween 80

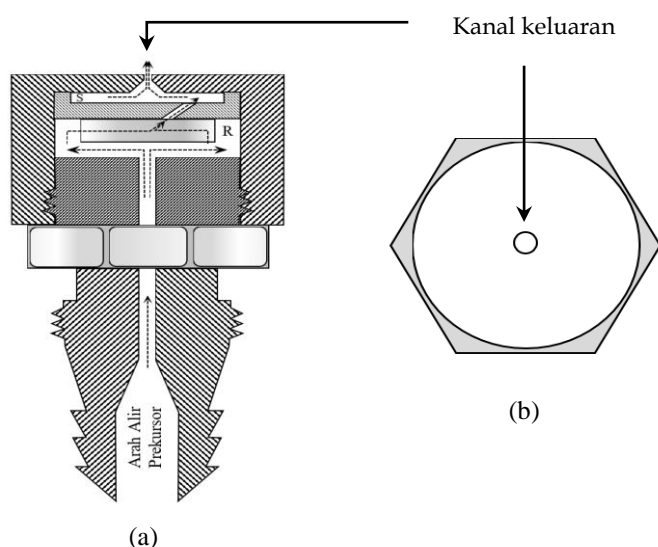
Prekursor tween 80 disiapkan sebagai surfaktan dan penstabil nanoemulsi. Tween 80 diencerkan dengan mencampurkannya ke dalam etanol dengan

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.

Sintesis Nanoemulsi Campuran Minyak Atsiri Black Musk dan Minyak Atsiri Lili

Sintesis nanoemulsi campuran minyak atsiri *black musk* dan minyak atsiri lili 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 *atomizer*, 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.

Dengan menggunakan nosel seperti ini, cairan campuran prekursor akan bersirkulasi 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 sirkulasi di dalam nosel ini cairan campuran prekursor akan menjadi homogen dan ketika disemburkan pada saat bersirkulasi, cairan prekursor akan dapat tersembur dengan ukuran butiran yang relatif sangat kecil.



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

Semburan butiran-butiran yang berdiameter sangat kecil yang keluar dari nosel selanjutnya mengalami tumbukan dan gesekan dengan partikel-partikel udara yang dilewatinya di luar nosel. Akibatnya, butiran-butiran tersebut terpecah menjadi butiran-butiran yang lebih kecil lagi. Hal ini akan terjadi terus menerus sampai ukuran kritis butiran tercapai (berorde nanometer). Ketika ukuran kritis butiran tercapai, molekul-molekul surfaktan tween 80 yang terdapat di dalamnya akan mengenkapsulasi seukuran kecil partikel-partikel campuran minyak atsiri black musk dan minyak atsiri lili tersebut. Hasil dari semburan butiran-butiran kecil ini selanjutnya ditampung dengan menggunakan suatu wadah kaca berbentuk bulat berdiameter 30 cm yang diisi dengan sejumlah air destilasi tempat dimana nanoemulsi campuran minyak atsiri black musk dan minyak atsiri lili akan didispersi. 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.

Ketiga replika prekursor campuran minyak atsiri black musk dan minyak atsiri lili yang telah disiapkan di atas, selanjutnya masing-masing dicampurkan ke dalam prekursor tween 80. Cara mencampurkannya adalah seperti berikut. Prekursor tween 80 diaduk secara kontinu di dalam suatu wadah kaca dengan menggunakan magnetic stirrer yang dioperasikan pada 100 rpm dan pada temperatur ruang. Ketika prekursor tween 80 diaduk, prekursor campuran minyak atsiri black musk dan minyak atsiri lili diteteskan ke dalamnya. Setelah prekursor campuran minyak atsiri black musk dan minyak atsiri lili selesai diteteskan, pengadukan terus dilakukan sampai selama 30 menit agar campuran kedua prekursor menjadi homogen. Selanjutnya campuran prekursor ini siap diatomisasi.

Selanjutnya, ketiga hasil campuran prekursor di atas, masing-masing diatomisasi. Pada saat atomisasi, debit keluaran campuran prekursor dari lubang keluaran nosel ditetapkan sebesar 25 mL/det. Ketika semburan terjadi dari kanal keluaran nosel, mulut wadah kaca penampung yang berbentuk bulat berdiameter 30 cm yang telah diisi air destilasi sebanyak 100 mL, diletakkan tepat di titik keluaran nosel untuk menampung seluruh butiran hasil semburan. Setelah atomisasi selesai dilakukan, seluruh butiran yang tersembur dari nosel akan bercampur dengan air destilasi di dalam wadah kaca. Nanoemulsi campuran minyak atsiri black musk dan minyak atsiri lili yang telah dienkapsulasi oleh molekul-molekul tween 80, akan terdispersi di

dalam air. Agar dispersi ini homogen, selanjutnya campuran ini diaduk kembali menggunakan magnetic stirrer yang dioperasikan pada 100 rpm dan pada temperatur ruang selama 20 menit.

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).

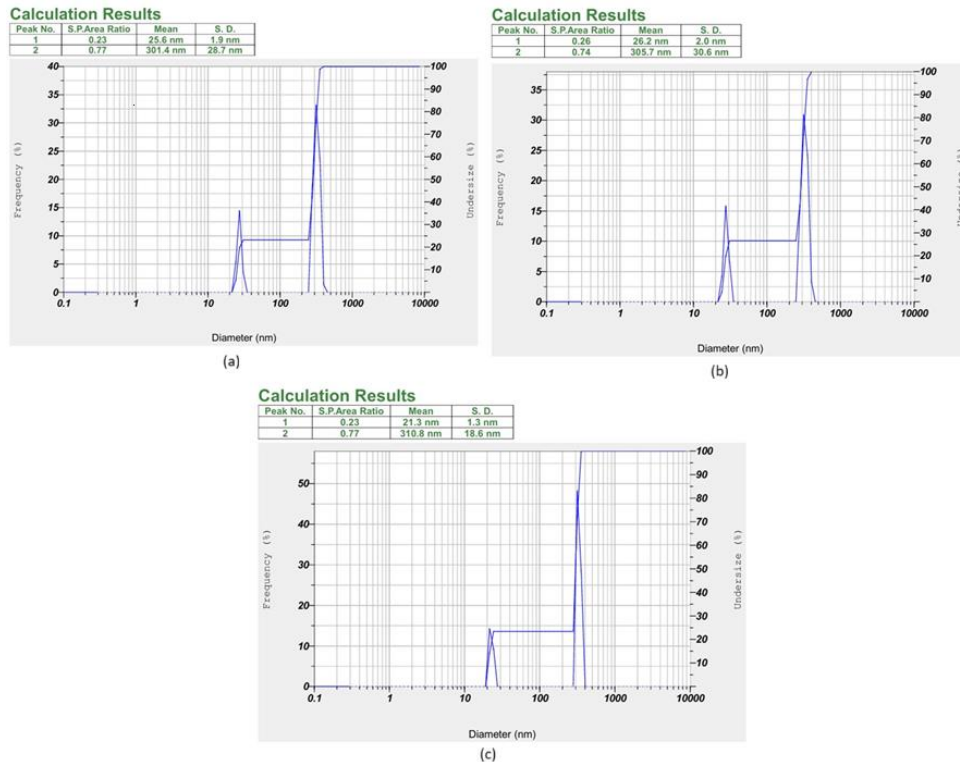
HASIL DAN PEMBAHASAN

Stabilitas Ukuran Nanoemulsi selama 120 hari Masa Penyimpanan

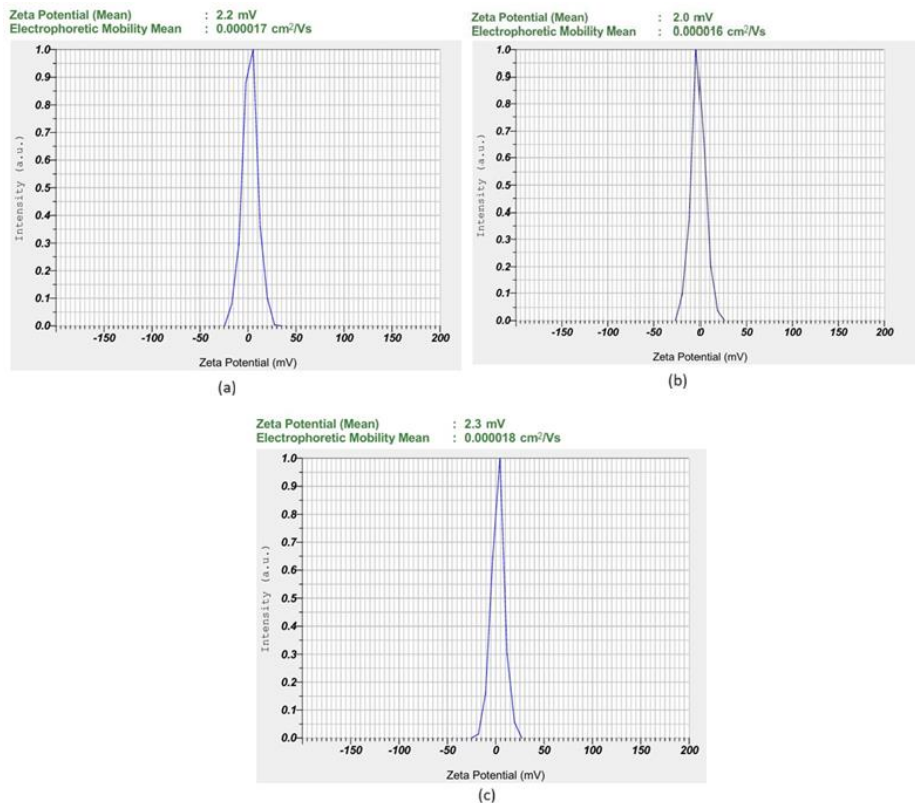
Hasil pengukuran distribusi diameter dan diameter rata-rata nanoemulsi dari tiga replika nanoemulsi campuran minyak atsiri black musk dan lili hasil sintesis, yang diukur tepat setelah sintesis selesai dilakukan (0 hari), ditunjukkan pada gambar 2. Diperoleh, masing-masing replika memiliki dua populasi ukuran nanoemulsi (dua puncak distribusi). Populasi pertama memiliki diameter rata-rata (mean) terentang dari 21,3 nm sampai 26,2 nm. Populasi kedua memiliki diameter rata-rata terentang dari 301,4 nm sampai 310,8 nm. Setiap puncak distribusi memiliki luas puncak masing-masing yang dinyatakan oleh S.P. Area Ratio. Besar S.P. Area Ratio menyatakan secara tidak langsung besar persentasi dari tiap-tiap populasi. Standar deviasi (S.D.) distribusi juga dihitung yang menyatakan seberapa tersebar (bervariasi) ukuran nanoemulsi dalam populasi, diukur dari nilai rata-ratanya (mean).

Hasil pengukuran potensial zeta dan mobilitas elektroporetik dari ketiga replika nanoemulsi di atas, yang juga diukur tepat setelah sintesis selesai dilakukan (0 hari), ditunjukkan pada gambar 3. Dari hasil pengukuran ini diperoleh, besar mobilitas elektroporetik masing-masing replika secara berurut: 0,000017 cm²/V.s; 0,000016 cm²/V.s; dan 0,000018 cm²/V.s. Besar potensial zetanya secara berurut: 2,2 mV; 2,0 mV; dan 2,3 mV. Hasil ini menunjukkan bahwa nanoemulsi campuran minyak atsiri black musk dan lili, yang dienkapsulasi dengan polimer tween 80 dan didispersi di dalam medium air, memiliki mobilitas elektroporetik dan potensial zeta, positif. Artinya, muatan permukaan efektif dari nanoemulsi adalah positif.

Stabilitas Ukuran Nanoemulsi Parfum Campuran Minyak Atsiri Black Musk dan Lili
Yang Dienkapsulasi Dengan Polimer Tween 80
(E. S. L. Ginting dan H. Saragih)



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



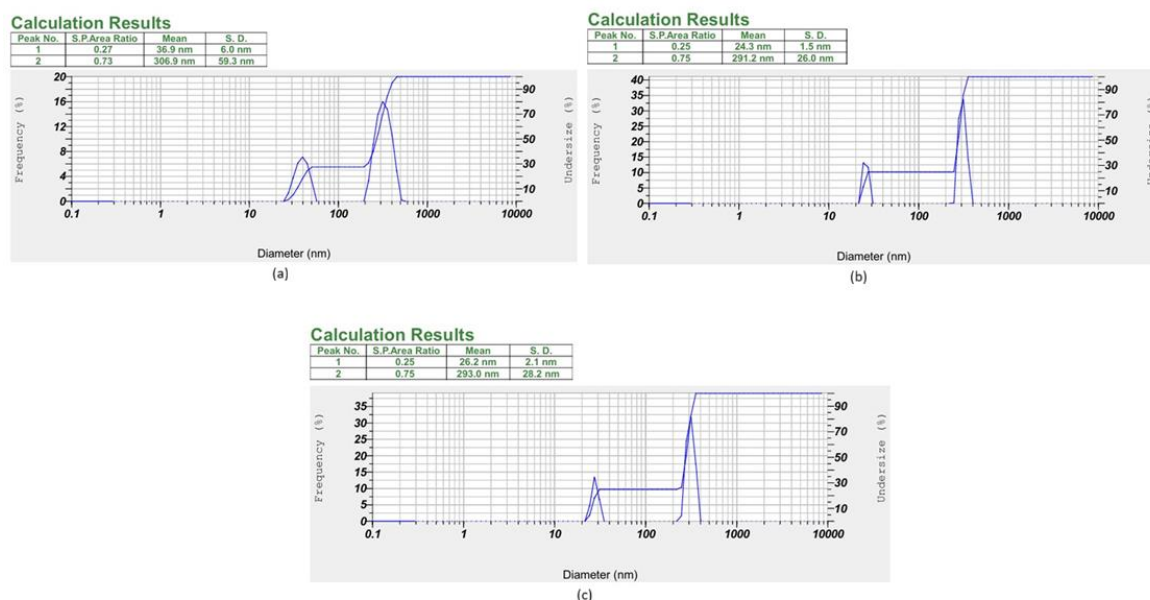
Gambar 3. Mobilitas elektroforetik dan Potensial Zeta nanoemulsi campuran minyak atsiri black musk dan lili yang dienkapsulasi dengan polimer tween 80 dari 3 replika: (a) replika #1, (b) replika #2, dan (c) replika #3. Pengukuran dilakukan tepat setelah selesai disintesis (0 hari).

Besar mobilitas elektroporetik dan potensial zeta yang dimiliki oleh nanoemulsi campuran minyak atsiri black musk dan lili di atas masuk dalam kategori, sangat rendah. Oleh karena itu secara elektrostatis nanoemulsi ini rentan mengalami agregasi atau koalisi. Nanoemulsi yang memiliki potensial zeta yang besarnya: (0-10) mV; (10-20) mV; (20-30) mV dan di atas 30 mV, masing-masing memiliki karakteristik: sangat tidak stabil, relatif stabil, kestabilannya moderat, dan sangat stabil (Safaya & Rotliwala, 2020). Dengan demikian merujuk pada besar potensial zeta tiga replika nanoemulsi di atas, secara elektrostatis nanoemulsi tersebut masuk ke dalam kategori sangat tidak stabil.

Diameter rata-rata dan standar deviasi dari ketiga replika nanoemulsi di atas kembali diukur setelah dilakukan penyimpanan selama 120 hari. Hal ini dilakukan untuk melihat stabilitas ukuran dari nanoemulsi tersebut. Hasil pengukuran kedua parameter ini, setelah masa penyimpanan selesai dilakukan selama 120, ditunjukkan pada gambar 4. Diperoleh masing-masing replika masih tetap memiliki dua populasi ukuran nanoemulsi (dua puncak distribusi). Populasi pertama, untuk ketiga replika, memiliki diameter rata-rata masing-masing: 36,9 nm; 24,3 nm; dan 26,2 nm. Populasi kedua, untuk ketiga replika, memiliki diameter rata-rata

masing-masing: 306,9 nm; 291,2 nm; dan 293,0 nm. Sementara standar deviasi dari masing-masing diameter di atas, untuk populasi pertama, masing-masing: 6,0 nm; 1,5 nm; dan 2,1 nm, untuk populasi kedua masing-masing: 59,3 nm; 26,0 nm; dan 28,2 nm.

Pada Tabel 1 semua hasil pengukuran di atas dirangkumkan untuk memudahkan analisis stabilitas ukuran nanoemulsi setelah penyimpanan. Memperhatikan besar diameter rata-rata dan standar deviasi nanoemulsi untuk semua replika sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1, terjadi perubahan yang signifikan. Persentase masing-masing perubahan bervariasi. Sebagian perubahan bernilai negatif dan sebagian lainnya bernilai positif. Secara elektrostatis, perubahan ini sangat erat kaitannya dengan potensial zeta nanoemulsi. Besar potensial zeta menunjukkan besarnya muatan listrik permukaan nanoemulsi. Jika potensial zeta nanoemulsi tinggi, baik positif maupun negatif, gaya tolak elektrostatis antar nanoemulsi, tinggi, dan sebaliknya. Gaya tolak ini mencegah nanoemulsi saling menempel (berkoalisi) atau menggumpal (flokulasi) sehingga menjaga stabilitas ukuran nanoemulsi (Ding *et al.*, 2023). Secara umum, nanoemulsi dengan potensial zeta absolut lebih besar dari 30 mV dianggap stabil secara fisik (Goswami *et al.*, 2023).



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

Tabel 1. Potensial zeta, diameter rata-rata, dan standar deviasi 3 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) 0 hari	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

Semua nanoemulsi, sebagaimana ditunjukkan pada tabel 1, memiliki potensial zeta yang sangat rendah, yaitu 2,0 sampai 2,3 mV, yang mengindikasikan kurangnya gaya tolakan elektrostatis yang signifikan. Potensial zeta yang rendah ini membuat nanoemulsi rentan terhadap ketidakstabilan, sehingga mengalami perubahan diameter rata-rata dan standar deviasi yang signifikan selama penyimpanan. Perubahan ini dapat dijelaskan melalui dua mekanisme, yaitu: mekanisme Ostwald ripening dan mekanisme koalisi. Nanoemulsi yang memiliki ukuran kecil mudah berdifusi di dalam medium pendispersi (air) menuju nanoemulsi yang berukuran lebih besar, dan akhirnya menyatu baik secara menyeluruh maupun secara parsial. Proses ini mudah terjadi jika potensial zeta nanoemulsi tidak cukup menghasilkan gaya tolak antar nanoemulsi. Kelarutan nanoemulsi yang berukuran kecil lebih tinggi dibandingkan dengan kelarutan nanoemulsi yang berukuran lebih besar. Oleh karena peristiwa ini, nanoemulsi yang besar menjadi lebih besar dan nanoemulsi yang kecil menjadi lebih kecil. Diameter rata-rata nanoemulsi menjadi berubah, demikian pula standar deviasinya. Mekanisme ini disebut sebagai Ostwald ripening. Proses ini didorong oleh tekanan Laplace (ΔP). Tekanan Laplace (ΔP) adalah perbedaan tekanan yang terjadi di antara dua sisi antarmuka melengkung nanoemulsi, yaitu perbedaan tekanan antara bagian dalam nanoemulsi (fase minyak) dan bagian luarnya (fase air) atau sebaliknya. Besar tekanan Laplace ini dinyatakan oleh persamaan Young-Laplace. Rumus kimia atau matematika dituliskan pada Persamaan (1).

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

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.

Mekanisme lain adalah koalisi, di mana dua nanoemulsi atau lebih bertabrakan dan bergabung (berkoalisi) menjadi satu nanoemulsi baru yang ukurannya lebih besar. Proses ini juga mudah terjadi jika potensial zeta nanoemulsi rendah, sehingga tidak mampu menghasilkan gaya tolak yang cukup untuk mencegah kontak antar nanoemulsi. Polimer tween 80, sebagai surfaktan non-ionik, berfungsi untuk mengurangi tegangan antarmuka nanoemulsi-air, serta membentuk lapisan pelindung di sekitar nanoemulsi. Lapisan ini dapat memberikan stabilitas sterik, mencegah koalisi. Namun, jika konsentrasi tween 80 tidak memadai atau jika lapisan polimer ini tidak cukup padat, stabilitas sterik dapat gagal, sehingga memungkinkan terjadinya koalisi (Luz *et al.*, 2023). Peningkatan diameter rata-rata dan standar deviasi yang terjadi pada replika #1 dan replika #3, serta pada populasi kedua replika #2, kemungkinan besar merupakan hasil gabungan dari kedua mekanisme di atas, yang dipercepat oleh potensial zeta sangat rendah.

Pada replika #1, populasi pertama (populasi #1) mengalami peningkatan diameter rata-rata sebesar 44,1% (dari 25,6 nm menjadi 36,9 nm) dan peningkatan standar deviasi sebesar 215,7% (dari 1,9 nm menjadi 6,0 nm). Sebaliknya, populasi kedua (populasi #2) menunjukkan peningkatan diameter rata-rata yang lebih kecil, yaitu 1,8% (dari 301,4 nm menjadi 306,9 nm), dan peningkatan standar deviasi yang besar sebesar 106,6% (dari 28,7 nm menjadi 59,3 nm). Perbedaan ini menunjukkan bahwa populasi pertama yang lebih kecil lebih rentan

terhadap ketidakstabilan, kemungkinan besar melalui proses Ostwald ripening. Molekul nanoemulsi dari populasi kecil berdifusi ke nanoemulsi yang lebih besar, yang mungkin termasuk populasi kedua.

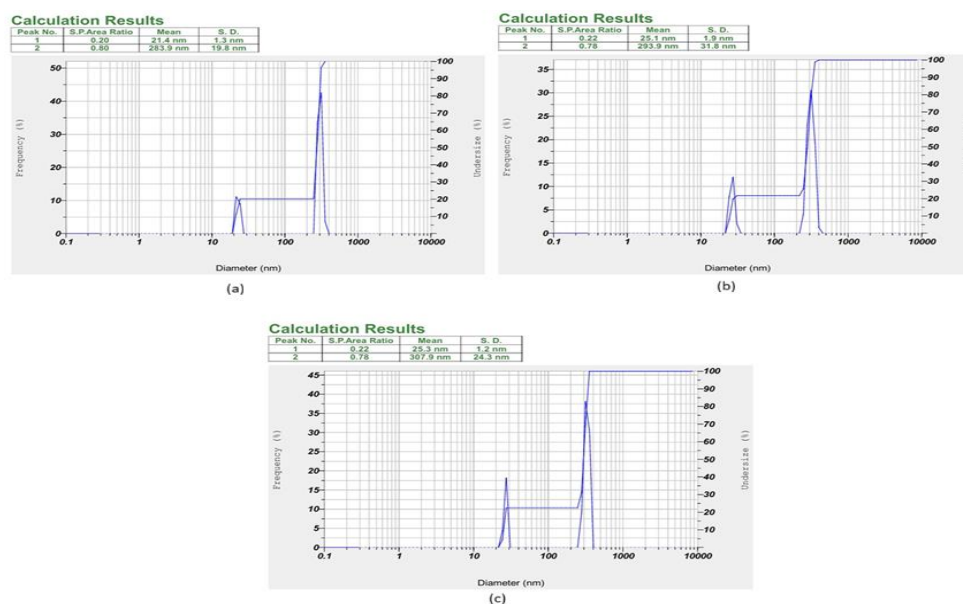
Pada replika #2, populasi pertama menunjukkan stabilitas yang sangat baik, dengan penurunan diameter rata-rata sebesar 7,2% dan penurunan standar deviasi sebesar 25,0%. Hal ini mengindikasikan bahwa populasi nanoemulsi ini tidak mengalami pembesaran atau koalesi, bahkan mungkin mengalami sedikit perbaikan atau pemadatan struktur selama penyimpanan. Sementara itu, populasi kedua menunjukkan penurunan diameter rata-rata sebesar 4,7% dan penurunan standar deviasi sebesar 15,0%. Penurunan ukuran pada kedua populasi ini disebabkan oleh perubahan konformasi tween 80 atau reorganisasi molekul pada nanoemulsi dan/atau antarmuka nanoemulsi.

Pada replika #3, populasi pertama mengalami peningkatan diameter rata-rata sebesar 23,0% dan standar deviasi sebesar 61,5%. Di sisi lain, populasi kedua menunjukkan penurunan diameter rata-rata sebesar 5,7% dan penurunan standar deviasi sebesar 51,6%. Perilaku yang berlawanan antara kedua populasi ini menunjukkan adanya interaksi antar kedua populasi. Peningkatan ukuran pada populasi pertama dapat dikaitkan dengan Ostwald *ripening*, di mana nanoemulsi berukuran kecil berubah menjadi besar. Sementara penurunan ukuran pada populasi kedua adalah proses reorganisasi struktural nanoemulsi dan/atau antarmuka nanoemulsi.

Jadi secara keseluruhan dari hasil di atas, perubahan ukuran nanoemulsi campuran minyak atsiri black musk dan lili yang terjadi selama masa penyimpanan, menunjukkan bahwa nanoemulsi tersebut (untuk semua replika) memiliki stabilitas fisik yang rendah. Hal ini disebabkan oleh potensial zetanya yang sangat rendah sehingga tidak mampu menghalangi perubahan ukuran nanoemulsi yang disebabkan oleh Ostwald ripening dan koalesi. Ketidakstabilan ini menyebabkan perubahan signifikan pada diameter rata-rata dan standar deviasi setelah 120 hari penyimpanan. Peran tween 80 sebagai stabilisator sterik dan besar potensial zeta, tidak cukup efektif mencegah Ostwald ripening dan koalesi.

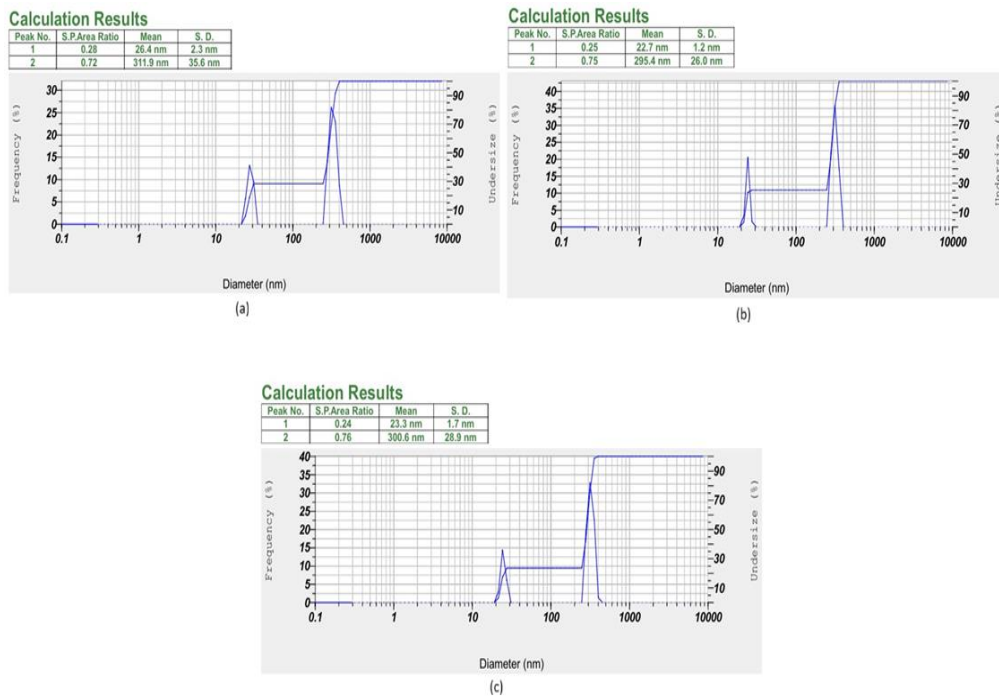
Pengaruh Pemanasan terhadap Stabilitas Ukuran Nanoemulsi

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 berurut ditunjukkan pada Gambar 5, 6, dan 7.

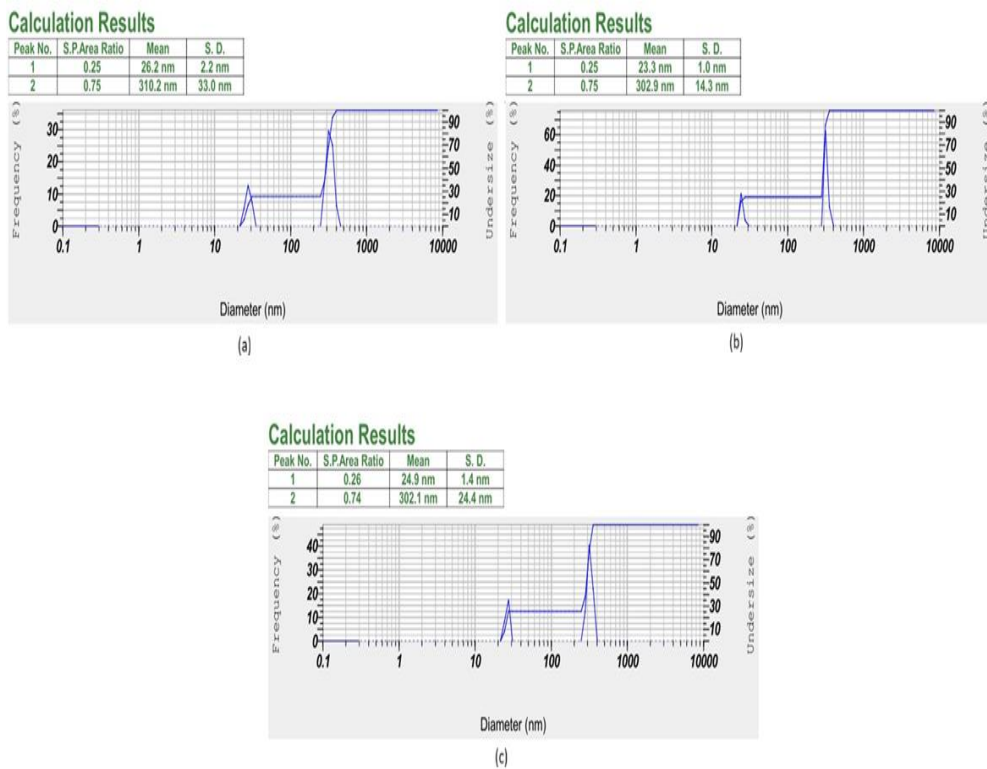


Gambar 5. Puncak distribusi ukuran 3 replika nanoemulsi campuran minyak atsiri black musk dan lili yang dienkapsulasi dengan polimer tween 80 dari setelah dipanaskan pada temperatur 35°C selama 15 menit: (a) replika #1, (b) replika #2, dan (c) replika #3.

Stabilitas Ukuran Nanoemulsi Parfum Campuran Minyak Atsiri Black Musk dan Lili
Yang Dienkapsulasi Dengan Polimer Tween 80
(E. S. L. Ginting dan H. Saragih)



Gambar 6. Puncak distribusi ukuran 3 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.



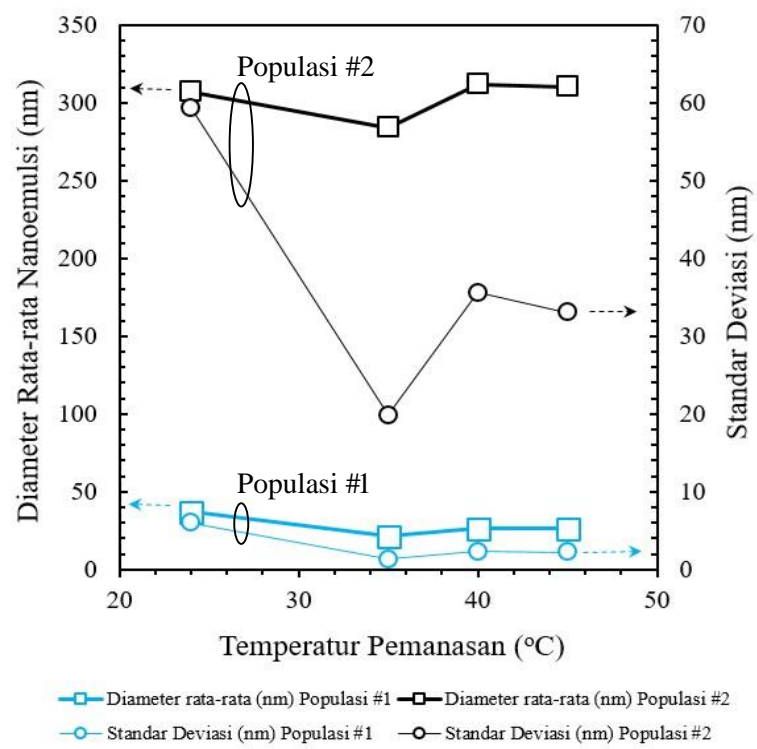
Gambar 7. Puncak distribusi ukuran 3 replika nanoemulsi campuran minyak atsiri black musk dan lili yang dienkapsulasi dengan polimer tween 80 dari setelah dipanaskan pada temperatur 45°C selama 15 menit: (a) replika #1, (b) replika #2, dan (c) replika #3.

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

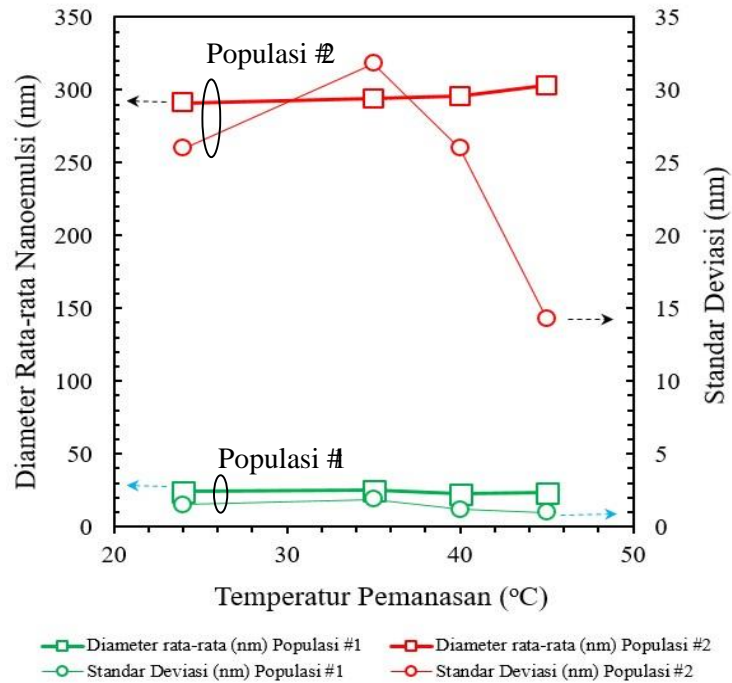
replika. Perubahan ukuran nanoemulsi terjadi melalui salah satu atau lebih mekanisme berikut: Ostwald ripening, koalisi atau reorganisasi/pemadatan struktur penyusun nanoemulsi dan/atau reorganisasi/pemadatan struktur polimer pembalut nanoemulsi yang berada diantarmuka nanoemulsi-medium pendispersi.

Tabel 2. Diameter rata-rata dan standar deviasi 3 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

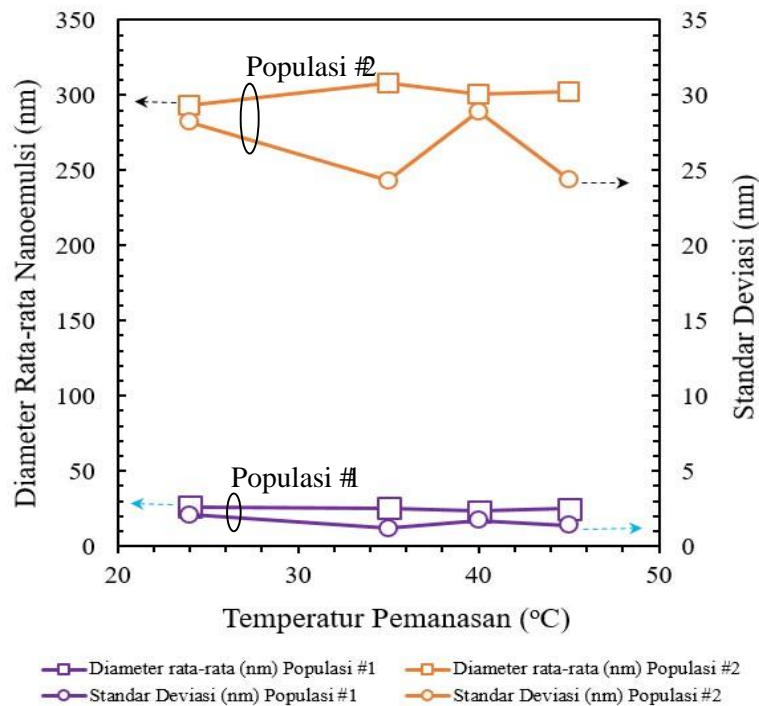
Replika	Populasi	Diameter Rata-rata (nm)				Standar Deviasi (nm)			
		Sebelum dipanaskan (24°C)	Dipanaskan (selama 15 menit)			Sebelum dipanaskan (24°C)	Dipanaskan (selama 15 menit)		
			35°C	40°C	45°C		35°C	40°C	45°C
#1	#1	36,9	21,4	26,4	26,2	6,0	1,3	2,3	2,2
	#2	306,9	283,9	311,9	310,2	59,3	19,8	35,6	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



(a)



(b)



(c)

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.

Pemanasan dapat mempengaruhi stabilitas ukuran nanoemulsi karena ketika energi termal diberikan, energi kinetik molekul-molekul dalam sistem nanoemulsi menjadi meningkat. Peningkatan energi ini dapat mempengaruhi molekul-molekul penyusun nanoemulsi dan molekul-molekul penyusun lapisan antarmuka. Pada suhu yang lebih tinggi, molekul-molekul polimer tween 80 pada permukaan nanoemulsi dapat mengalami pergerakan yang lebih cepat sehingga berpotensi mengubah tegangan antarmuka dan ketebalan lapisan polimer (Marhamati *et al.*, 2021).

Peningkatan energi kinetik juga meningkatkan probabilitas tumbukan antara nanoemulsi. Tumbukan ini dapat memicu fenomena ketidakstabilan fisik seperti koalisi dan Ostwald ripening (Reyes *et al.*, 2021). Kedua mekanisme ini menyebabkan peningkatan diameter rata-rata nanoemulsi dan juga meningkatkan polidispersitas. Pemanasan juga dapat menyebabkan reorganisasi atau pemadatan struktur polimer tween 80 pada permukaan nanoemulsi sehingga berpotensi mengurangi ukuran partikel jika nanoemulsi-nanoemulsi tersebut mengalami kontraksi (Koroleva *et al.*, 2018). Potensial zeta nanoemulsi juga dapat dipengaruhi oleh temperatur. Peningkatan temperatur dapat mengurangi nilai absolut potensial zeta karena peningkatan konduktivitas ionik, yang pada gilirannya dapat mengurangi tolakan elektrostatis antar nanopartikel dan meningkatkan kecenderungan koalisi (Zhang *et al.*, 2019).

Hasil pengukuran sebagaimana dirangkumkan pada tabel 2, menunjukkan bahwa pemanasan pada temperatur 35°C, 40°C, dan 45°C selama 15 menit menyebabkan perubahan yang signifikan pada diameter rata-rata dan standar deviasi untuk kedua populasi pada setiap replika. Pemanasan menyebabkan penurunan diameter rata-rata pada populasi #1 untuk sebagian besar kasus. Pada replika #1, diameter rata-rata populasi #1 turun dari 36,9 nm menjadi 21,4 nm (35°C), 26,4 nm (40°C), dan 26,2 nm (45°C). Hal serupa juga terjadi pada populasi #1 replika #3. Penurunan ukuran ini tidak konsisten dengan teori koalisi atau Ostwald ripening yang biasanya menyebabkan peningkatan ukuran jika nanoemulsi mengalami kenaikan temperatur. Itu artinya bahwa penurunan ukuran yang terjadi pada populasi #1 replika #1, tidak disebabkan oleh dua mekanisme tersebut.

Penurunan diameter rata-rata pada populasi #1 replika #1 dapat dijelaskan melalui mekanisme reorganisasi/pemadatan struktur penyusun nanoemulsi dan/atau reorganisasi/pemadatan struktur polimer tween 80 yang membalut nanoemulsi. Pemanasan dapat meningkatkan energi internal nanoemulsi, yang menyebabkan kontraksi

termal atau pemadatan lapisan polimer pada permukaan nanoemulsi. Pemanasan nanoemulsi dapat menyebabkan reorganisasi lapisan surfaktan yang menghasilkan struktur yang lebih kompak dan ukuran partikel yang lebih kecil (Roger, 2016). Penurunan ini juga disertai dengan penurunan standar deviasi pada populasi tersebut, yang menunjukkan bahwa distribusi ukuran nanoemulsi menjadi lebih homogen. Hal ini menyatakan bahwa pada populasi #1 replika #1, efek reorganisasi struktural mendominasi destabilisasi.

Sebaliknya, populasi #2 menunjukkan respons yang berbeda terhadap pemanasan. Pada temperatur 35°C, diameter rata-rata mengalami sedikit penurunan atau peningkatan yang tidak signifikan. Namun, pada suhu 40°C dan 45°C, terjadi peningkatan diameter rata-rata yang lebih jelas. Contohnya pada replika #1, diameter rata-rata meningkat populasi #2 meningkat dari 306,9 nm menjadi 311,9 nm (40°C) dan 310,2 nm (45°C). Peningkatan ukuran ini dapat dijelaskan oleh mekanisme Ostwald ripening dan/atau koalisi. Nanoemulsi populasi #2 menyatu dengan molekul-molekul nanoemulsi yang berukuran kecil yang bersumber dari populasi #1 yang berdifusi mendekatinya (Ostwald ripening). Selain itu, peningkatan energi kinetik pada temperatur yang lebih tinggi meningkatkan frekuensi tumbukan, sehingga menyebabkan koalisi antar nanoemulsi pada populasi #2, meskipun lapisan polimer tween 80 memberikan perlindungan sterik. Peningkatan diameter rata-rata ini juga disertai dengan perubahan standar deviasi yang bervariasi, menunjukkan bahwa stabilitas populasi #2 pada setiap replika lebih rentan terhadap temperatur tinggi. Fenomena yang hampir sama pada nanoemulsi kurkumin (nanokurkumin). Ditemukan bahwa ketika temperatur nanokurkumin dinaikkan, diameter rata-ratanya bertambah dan pertambahan tersebut disebabkan oleh Ostwald ripening (Chang & Chou, 2023).

Hubungan antara perubahan diameter nanoemulsi pada populasi #1 dan populasi #2 adalah kunci untuk memahami stabilitas sistem bimodal ini. Penurunan ukuran pada populasi #1 dan peningkatan ukuran pada populasi #2 pada temperatur yang lebih tinggi menjadi bukti adanya Ostwald ripening. Nanoemulsi yang berukuran lebih kecil pada populasi #1, secara termodinamika kurang stabil dan memiliki tekanan kelarutan yang lebih tinggi sehingga terdorong berdifusi menuju populasi #2 yang lebih stabil. Mekanisme ini dapat menjelaskan mengapa ukuran populasi #1 mengecil dan ukuran populasi #2 membesar. Perubahan pada standar deviasi juga mendukung hipotesis ini. Penurunan standar deviasi pada populasi #1

menunjukkan bahwa nanoemulsi pada populasi ini menjadi lebih homogen karena sebahagian nanoemulsinya yang berukuran kecil berpindah. Sementara perubahan yang lebih besar pada standar deviasi di populasi #2 menunjukkan adanya proses yang lebih acak seperti koalisi dan Ostwald ripening.

Didasarkan pada hasil yang diperoleh di atas menunjukkan bahwa pemanasan nanoemulsi memicu mekanisme yang berbeda pada setiap populasi. Populasi #1, yang disusun oleh nanoemulsi berukuran yang lebih kecil, cenderung mengalami reorganisasi struktural yang menyebabkan pengurangan ukuran dan peningkatan homogenitas. Sebaliknya, populasi #2, yang disusun oleh nanoemulsi berukuran lebih besar, cenderung mengalami Ostwald ripening dan/atau koalisi. Potensial zeta dan lapisan polimer tween 80 yang berperan menghambat proses tersebut tidak memberikan arti yang signifikan.

SIMPULAN

Dari hasil yang diperoleh di atas menunjukkan bahwa stabilitas ukuran nanoemulsi parfum campuran minyak atsiri black musk dan lili yang dienkapsulasi dengan polimer tween 80, sangat dipengaruhi oleh waktu penyimpanan dan temperatur. Diameter rata-rata dan standar deviasinya berubah setelah disimpan selama 120 hari dan ketika dipanasi sampai temperatur 45°C. Perubahan ukuran selama masa penyimpanan utamanya disebabkan oleh potensial zeta nanoemulsinya yang kecil (nilai absolutnya), sehingga tidak cukup untuk menghasilkan gaya tolak menolak elektrostatis yang memadai antar nanoemulsi untuk menghindari Ostwald ripening dan koalisi antar nanoemulsi. Sementara perubahan ukuran akibat pemanasan, selain oleh karena potensial zetanya yang kecil, juga ditambah lagi oleh faktor meningkatnya energi kinetik molekul-molekul dalam sistem nanoemulsi (molekul-molekul penyusun nanoemulsi, molekul media pendispersi dan molekul-molekul penyusun lapisan antarmuka). Peningkatan energi kinetik ini meningkatkan probabilitas tumbukan antar nanoemulsi yang memicu Ostwald ripening dan koalisi antar nanoemulsi. Selain itu, pada proses pemanasan ini, reorganisasi atau pemadatan struktur polimer tween 80 di antarmuka nanoemulsi-air juga terjadi karena energi kinetik molekul-molekul tween 80 di antarmuka juga meningkat. Ostwald ripening, koalisi dan pemadatan struktur polimer di antarmuka menyebabkan diameter rata-rata dan standar deviasi nanoemulsi berubah.

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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.05.076)
- Koroleva, M., Nagovitsina, T. Y., & Yurtov, 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 Hijes, 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>.