

Nanoemulsion of Cardamom Fruit Extract (*Amomum compactum*) and its Characterization

Febi Rambu Ina^{1*} & Horasdia Saragih¹

¹Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Advent Indonesia, Jl. Kolonel Masturi No. 288 Parongpong, Bandung Barat, Jawa Barat 40559, Indonesia;

Article History

Received : April 02th, 2025

Revised : April 18th, 2025

Accepted : April 28th, 2025

*Corresponding Author: **Febi Rambu Ina**, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Advent Indonesia, Jl. Kolonel Masturi No. 288 Parongpong, Bandung Barat, Jawa Barat 40559, Indonesia
Email: febiina680@gmail.com

Abstract: The development of medicinal materials from bioactive compounds of plants continues to be carried out. Various problems that occur in it continue to be overcome. Bioactive compounds of plants are known to be hydrophobic, including bioactive compounds from cardamom fruit, so that these compounds are difficult to deliver into the organs of the body. To overcome this problem, nanoemulsion techniques have been carried out. The purpose of this study was to produce nanoemulsions of bioactive compounds of cardamom fruit and to study their characteristics. Nanoemulsions of bioactive compounds of cardamom fruit have been synthesized using a microtube equipment system by utilizing the characteristics of the flow pattern of its liquid segment which is circulative forming a vortex in a very small size. The nanoemulsions obtained have a diameter ranging from 15.2 nm to 19.7 nm. The diameter increases when the mass of the bioactive compound concentrate of cardamom fruit is increased. The polydispersity index ranges from 0.341 to 0.637; the average electrophoretic mobility ranges from $-0.000010 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ to $-0.000062 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ and the zeta potential from -1.3 mV to -8.1 mV . From the results obtained, it shows that the obtained nanoemulsions have a relatively very small average diameter, their size distribution is relatively heterogeneous and the surface charge surrounding the nanoemulsions is negative. However, the zeta potential is still relatively small so that it has the potential to be less stable. Therefore, an effort to increase the magnitude of the zeta potential in the future needs to be done.

Keywords: *Amomum compactum*, cardamom fruit extract, nanoemulsion.

Pendahuluan

Pengembangan bahan obat-obatan yang berasal dari tumbuh-tumbuhan akhir-akhir ini mendapat banyak perhatian. Indonesia sebagai salah satu negara tropis memiliki banyak sekali jenis tumbuhan yang mengandung senyawa bioaktif yang berkhasiat sebagai bahan obat-obatan. Pengembangan bahan obat-obatan dilakukan terutama untuk meningkatkan khasiatnya, menemukan khasiat barunya, meningkatkan efisiensi pemakaiannya, dan memperluas penggunaannya. Teknik nanoemulsi adalah salah satu yang mendapat perhatian khusus dalam pengembangan ini.

Senyawa-senyawa bioaktif yang

berkhasiat sebagai bahan obat-obatan yang diekstrak dari tumbuh-tumbuhan umumnya adalah bersifat hidrofobik, tidak dapat larut di dalam air. Oleh karena itu sulit sekali dihantarkan ke organ-organ tubuh karena medium penghantar di dalam tubuh utamanya adalah air. Untuk mengatasi hal ini satu-satunya teknik yang tepat dilakukan adalah dengan mengemulsinya sehingga dapat didispersi di dalam air. Agar hasil emulsi dapat terdispersi secara homogen dan tidak menimbulkan koagulasi, ukuran partikel hasil emulsi dibuat berukuran berorde nanometer (nanoemulsi). Selain untuk dapat mendispersinya di dalam medium air, pengecilan ukuran ke orde nanometer ini dapat

juga meningkatkan khasiatnya, berpeluang menghasilkan khasiat baru, meningkatkan efisiensi pemakaiannya, dan memperluas penggunaannya sebagaimana telah ditemukan pada karakteristik material berukuran nanometer yang lain.

Berbagai hasil penelitian ditemukan bahwa buah kapulaga mengandung senyawa bioaktif yang bermanfaat sebagai bahan obat-obatan. Senyawa bioaktif buah kapulaga telah diuji dapat mengatasi inflamasi dan bersifat antibiotik (Praditha *et al.*, 2020). Senyawa bioaktif buah kapulaga juga telah diuji memiliki sifat antikanker (Juwitaningsih *et al.*, 2020). Senyawa bioaktif buah kapulaga juga bersifat antibakteri (Darsih *et al.*, 2023). Buah kapulaga mengandung komponen bioaktif yang juga memiliki kualitas antioksidan (Nurcholis *et al.*, 2021). Mengingat banyaknya manfaat kesehatan yang dimilikinya, zat kimia bioaktif yang ditemukan dalam buah kapulaga memiliki banyak potensi untuk dikembangkan di masa mendatang sebagai zat terapeutik, menurut data dari hasil pengujian ini. Namun, seperti yang telah disebutkan sebelumnya, komponen bioaktif buah kapulaga bersifat hidrofobik (Sarkar dan Mackie, 2020).

Emulsi yang dibuat dalam ukuran nanometer (nanoemulsi) memiliki sejumlah kelebihan dibandingkan dengan emulsi konvensional (mikroemulsi atau makroemulsi). Emulsi berukuran nanometer dapat meningkatkan bioavailabilitas senyawa bioaktif yang diemulsi. Dapat meningkatkan absorpsinya di saluran cerna (untuk sediaan obat oral). Sangat cocok untuk menghantarkan obat lipofilik (tidak larut air) yang sulit diformulasikan dalam bentuk sediaan biasa. Selain itu, sangat efektif juga untuk menjaga stabilitas senyawa bioaktif yang diemulsi. Pengembangan senyawa obat yang berasal dari tanaman dengan memanfaatkan teknologi nanoemulsi memerlukan penelitian dan pengembangan karena banyaknya manfaat.

Penelitian ini senyawa bioaktif yang diekstrak dari buah kapulaga telah dinanoemulsi. Tween 80 digunakan sebagai surfaktan. Surfaktan ini digunakan karena sangat mudah larut di dalam air, tidak berbau, tidak beracun, tidak menimbulkan iritasi, tidak memiliki rasa, dan kemampuan emulsinya sangat baik (Amani *et al.*, 2011). Nanoemulsi

yang dihasilkan didispersi di dalam medium air dan karakteristiknya dipelajari. Dari hasil studi literatur yang kami lakukan, menanoemulsi ekstrak buah kapulaga dan studi karakteristiknya belum ada dilaporkan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghasilkan nanoemulsi senyawa bioaktif buah kapulaga dan mempelajari karakteristiknya.

Bahan dan Metode

Bahan penelitian

Bahan penelitian ini adalah: (1) buah kapulaga kering, diambil dari Desa Pasir Ukir, Kecamatan Pagelaran, Kabupaten Pringsewu, Provinsi Lampung; (2) etanol (*absolute for analysis*) (99,9%); (3) metanol (*absolute for analysis*) (99,9%); (4) air destilasi; dan (5) surfaktan tween 80 (99,9%). Etanol, metanol dan surfaktan tween 80 dibeli dari Merck KGaA Germany dan digunakan langsung tanpa ada perlakuan tambahan.

Metode

Pembuatan serbuk kering buah kapulaga

Buah kapulaga yang digunakan adalah buah yang sudah tua dengan warna kecoklat-coklatan. Buah dibersihkan dari kulitnya dan dicuci menggunakan air mengalir. Selanjutnya dikeringkan dengan menjemurnya di sinar matahari tak langsung. Buah yang sudah kering kemudian digiling sampai membentuk serbuk halus yang siap untuk diekstrak.

Mengekstrak senyawa bioaktif buah kapulaga

Ekstraksi dilakukan dengan teknik maserasi. Serbuk kering buah kapulaga direndam ke dalam pelarut. Tiga jenis pelarut, yaitu: etanol, metanol dan air, digunakan. Tujuan penggunaan ketiga jenis pelarut ini adalah mengekstrak sebanyak mungkin zat bioaktif dari buah kapulaga. Pelarut lain mungkin dapat mengekstrak komponen tertentu saat pelarut lain tidak mampu melakukannya.

Ekstraksi dilakukan dengan langkah-langkah seperti berikut. 200 mg serbuk kering buah kapulaga dilarutkan ke dalam 500 mL etanol. Campuran ini diaduk selama 1 jam menggunakan *magnetic stirrer* yang dioperasikan pada laju 150 rpm pada temperatur ruang. Setelah itu, campuran disimpan pada suhu kamar selama empat jam dalam lingkungan yang

gelap. Setelah itu, campuran diaduk sekali lagi selama satu jam dengan pengaturan yang sama. Setelah itu, campuran didiamkan selama empat jam sekali lagi. Ada delapan iterasi siklus ini. Selain itu, kertas saring (kertas saring Whatman No.1) digunakan untuk menyaring larutan yang dihasilkan. Saat mengekstraksi dengan pelarut metanol dan air, prosedur yang sama diikuti. Dengan demikian, dihasilkan tiga larutan yang disaring.

Penguap putar digunakan untuk memisahkan pelarut dari zat terlarut (komponen bioaktif buah kapulaga) dalam setiap larutan yang disebutkan di atas. Larutan pelarut etanol dan metanol diuapkan pada suhu 35°C dan tekanan 0,3 atm. Suhu 35°C dan tekanan 0,1 atm, larutan pelarut air diuapkan. Tiga konsentrasi dibuat setelah selesainya prosedur penguapan. Konsentrat ini adalah senyawa bioaktif buah kapulaga dari hasil ekstraksi.

Identifikasi senyawa bioaktif buah kapulaga

Senyawa-senyawa hasil ekstrak yang terkandung di dalam setiap konsentrat yang diperoleh di atas, selanjutnya diidentifikasi. Identifikasi dilakukan dengan teknik *gas chromatography mass spectroscopy* (GC-MS) dengan menggunakan peralatan Shimadzu GC-MS QP2010 Ultra (Japan).

1 ml konsentrat cair dimasukkan ke dalam lubang masuk tabung kapiler GC-MS. Untuk menguapkan cairan konsentrat, suhu tabung kapiler dinaikkan hingga 80°C, dan gas pembawa helium dipompa melaluinya. Laju aliran gas dan uap konsentrat yang stabil sebesar 0,74 ml/menit dihasilkan di kolom kapiler dengan mempertahankan tekanan di kepala tabung kapiler pada 42,3 kPa. Tabung kapiler kemudian dipanaskan sekali lagi hingga 250°C dengan kecepatan 280°C per menit. Setelah mencapai 250°C, dipanaskan sekali lagi hingga 300°C dengan kecepatan yang berbeda yaitu 270°C per menit. Setelah ditahan selama 24 menit, suhu dinaikkan sekali lagi hingga 320°C dengan kecepatan 260°C per menit. Molekul-molekul senyawa-senyawa penyusun konsentrat akan menguap, mengalir dan terpisah di dalam tabung kapiler, tapi tidak terdekomposisi.

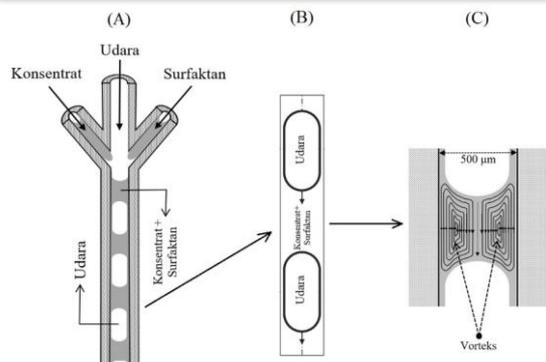
Molekul-molekul senyawa penyusun konsentrat akan sering kali bertemu dengan fase diam dan fase gerak saat melewati tabung kapiler. Molekul-molekul tersebut akan terpisah satu

sama lain karena setiap molekul memiliki massa yang unik dan mengalami siklus fase diam dan fase gerak secara berkala. Molekul yang lebih kecil (ringan) akan bergerak lebih cepat. Setiap molekul memerlukan waktu yang berbeda untuk menempuh jarak tertentu dalam tabung kapiler karena adanya variasi kecepatan, yang menyebabkan variasi dalam waktu retensi.

Molekul-molekul tersebut kemudian terionisasi setelah melewati tabung kapiler dan dipisahkan. Molekul-molekul tersebut terionisasi dan terfragmentasi sebagian sebagai hasil dari proses ionisasi ini. Massa dan muatan setiap molekul yang terionisasi kemudian ditentukan. Waktu retensi dan ratio massa (m) terhadap muatan (z) dari setiap molekul yang terionisasi mencirikan jenis senyawa dari molekul tersebut. Dua hasil pengukuran ini digunakan untuk mengidentifikasi jenis senyawanya dengan cara mencocokkannya dengan data yang ada pada data base *National Institut of Standards and Technology Mass Spectral Database* (NIST-MS). Hal yang sama seperti cara di atas dilakukan untuk mengidentifikasi senyawa-senyawa yang ada pada konsentrat yang diekstrak menggunakan pelarut metanol dan pelarut air.

Nanoemulsi ekstrak buah kapulaga

Ekstrak buah kapulaga di atas, yang senyawa-senyawa bioaktifnya telah diidentifikasi, selanjutnya dinanoemulsi. Ketiga konsentrat yang dihasilkan di atas disatukan dan diaduk sampai menjadi campuran yang homogen untuk selanjutnya dinanoemulsi. Nanoemulsi dilakukan dengan menggunakan sistem peralatan tabung mikro. Sistem peralatan ini dirancang dan dibangun sendiri oleh tim penulis dan telah digunakan oleh Saragih (2024) untuk mensintesis berbagai jenis emulsi nanopartikel. Skema sederhana sistem peralatannya ditunjukkan pada gambar 1. Keuntungan menggunakan sistem peralatan ini adalah memanfaatkan karakteristik pola alir segmen cairnya yang sirkulatif membentuk vorteks dalam ukuran yang sangat kecil. Dengan menggunakan pola alir seperti ini, emulsi berukuran nanometer dapat diperoleh dengan mudah.



Gambar 1. Skema sistim peralatan tabung mikro. Tabung terbuat dari bahan gelas berjari-jari 250 μm dan panjang 50 cm. (a) Terdiri dari tiga masukan untuk prekursor. Di dalam tabung, aliran akan membentuk modus alir cair-gas. (b) Bagian modus alir cair (konsentrat + surfaktan) dan gas (udara). (c) Perbesaran dari bagian segmen cairnya. Pada bagian segmen cair, pola alir molekul-molekul prekursor membentuk vorteks.

Hasil penelitian ini, empat jenis nanoemulsi disintesis. Keempat jenis nanoemulsi yang disintesis ini dibedakan oleh massa konsentrat yang digunakan. Tujuannya adalah untuk melihat perbedaan karakteristik nanoemulsi yang dihasilkan. Empat variasi massa konsentrat hasil ekstrak yang digunakan adalah 10 mg, 12 mg, 14 mg, dan 16 mg. Konsentrat yang digunakan di sini adalah campuran tiga konsentrat hasil ekstraksi. Masing-masing massa konsentrat di atas diencerkan ke dalam 100 mL etanol. Surfaktan tween 80 juga demikian, yaitu sebanyak 50 mL tween 80 diencerkan ke dalam 150 mL etanol. Etanol digunakan sebagai zat pengencer karena etanol dapat sekaligus berperan mengurangi tegangan permukaan air dimana nanoemulsi akan didispersi sehingga proses dispersi menjadi lebih mudah (Zakaria *et al.*, 2020).

Prekursor konsentrat dan prekursor surfaktan yang telah diencerkan di atas, diinjeksikan ke dalam tabung. Debit injeksinya masing-masing adalah 0,85 mL/menit. Tabung dibuat miring (sudut 60° terhadap bidang datar) agar segmen-segmen cair di dalam tabung dapat mengalir. Pada bagian segmen cair, kedua prekursor akan bercampur dan molekul-molekul senyawa bioaktif buah kapulaga akan terenkapsulasi oleh molekul-molekul surfaktan dan membentuk partikel-partikel berukuran nanometer. Hasil enkapsulasi ini selanjutnya ditampung di dalam suatu wadah yang telah diisi

air destilasi bervolume 20 mL. Nanoemulsi yang dihasilkan akan terdispersi di dalam air destilasi tersebut. Cara yang sama dilakukan untuk menanoemulsi masing-masing massa prekursor konsentrat di atas.

Karakterisasi

Keempat jenis nanoemulsi yang dihasilkan di atas, yang telah didispersi di dalam medium air tersebut, selanjutnya dikarakterisasi untuk mempelajari karakteristiknya. Karakterisasi yang dilakukan mencakup: (1) pengukuran diameter rata-ratanya, (2) pengukuran indeks polidispersitasnya, (3) pengukuran mobilitas elektroporetiknya, dan (4) pengukuran potensial zetanya.

Diameter rata-rata (Z-average)

Diameter rata-rata ke empat nanoemulsi yang dihasilkan di atas, diukur. Pengukurannya dilakukan melalui teknik hamburan cahaya dinamik (*dynamic light scattering, DLS*) dengan menggunakan sistim peralatan *Particle Size Analyzer* (PSA) merek HORIBA SZ-100 (Japan). Pengukuran dilakukan pada temperatur $24,8^\circ\text{C}$ dan dengan sudut hambur 90° . Pada saat pengukuran, *count rate* (yaitu jumlah cahaya yang tersebar (*scattered light*)) yang terdeteksi oleh detektor per satuan waktu) adalah berada pada kisaran 200 sampai 346 kilo *counts per second* (kCPS).

Indeks polidispersitas (Polydispersity index, PI)

Indeks polidispersitas tiap-tiap nanoemulsi, juga diukur untuk melihat tingkat keragaman ukuran nanoemulsi yang dihasilkan. Pengukurannya juga dilakukan dengan teknik hamburan cahaya dinamik dengan menggunakan sistim peralatan *Particle Size Analyzer* (PSA) merek HORIBA SZ-100 (Japan). Nilai PI menunjukkan seberapa sempit atau lebar distribusi ukuran nanoemulsi yang dihasilkan. Jika nilai PI berada pada antara 0,0 – 0,1; distribusi ukuran nanoemulsi masuk pada kategori sempit atau ukuran nanoemulsi sangat seragam atau monodispers. Jika nilai PI berada pada antara 0,1 – 0,3; distribusi ukuran nanoemulsi disebut moderat atau relatif seragam. Jika nilai PI berada pada antara 0,3 – 0,5; distribusi ukuran nanoemulsi disebut lebar atau heterogen. Jika nilai PI berada pada antara $> 0,5$;

distribusi ukuran nanoemulsi disebut sangat heterogen atau polidispers.

Mobilitas elektroporetik (Electrophoretic mobility)

Mobilitas elektroforetik nanoemulsi adalah **kecepatan perpindahan nanoemulsi bermuatan ketika diletakkan di dalam medan listrik.** Mobilitas elektroforetik ini mencerminkan seberapa besar muatan listrik pada permukaan nanoemulsi (dalam bentuk rata-rata). Mobilitas elektroforetik nanoemulsi diukur juga dengan menggunakan peralatan *Particle Size Analyzer* (PSA) merek HORIBA SZ-100 (Japan). Pengukuran dilakukan dengan menggunakan tegangan 3,4 Volt pada temperatur ruang.

Potensial zeta

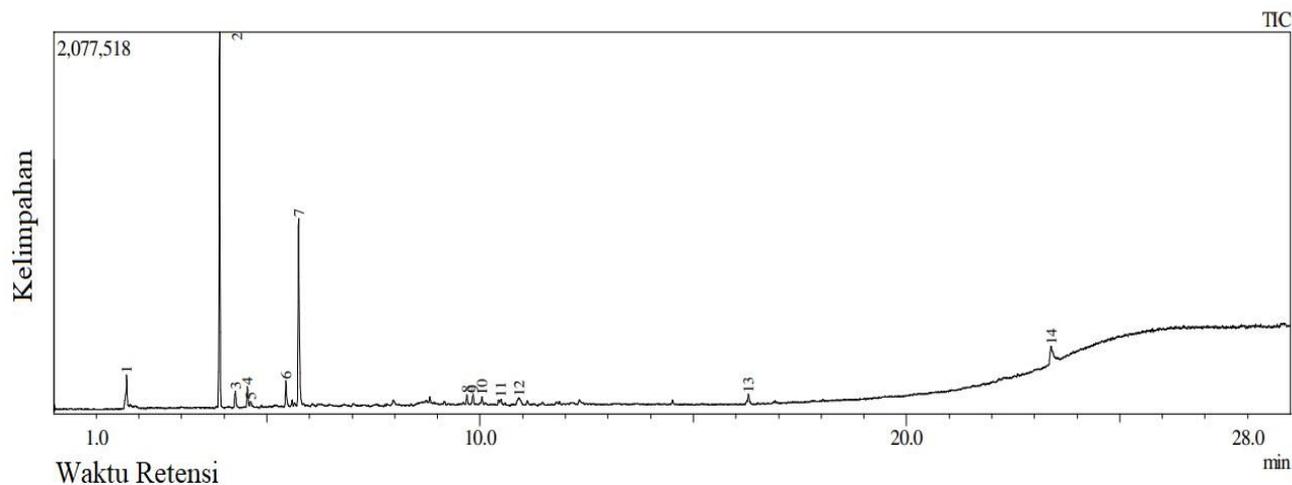
Potensial zeta adalah beda potensial listrik antara permukaan geser nanoemulsi (*slipping plane*) dan medium pendispersi di sekitarnya. Besar potensial zeta tidak hanya ditentukan oleh muatan permukaan murni yang terdapat pada permukaan nanoemulsi, akan tetapi ditentukan oleh muatan yang berinteraksi langsung dengan medan listrik saat partikel bergerak dalam

medium pendispersi. Nilai potensial zeta menentukan kestabilan dispersi nanoemulsi. Potensial zeta nanoemulsi yang relatif besar menghasilkan kestabilan yang lebih baik karena gaya tolak elektrostatis antar nanoemulsinya relatif besar sehingga terhindar dari koalisi atau flokulasi. Potensial zeta nanoemulsi juga diukur dengan sistem peralatan *Particle Size Analyzer* (PSA) merek HORIBA SZ-100 (Japan). Pengukuran dilakukan pada temperatur ruang.

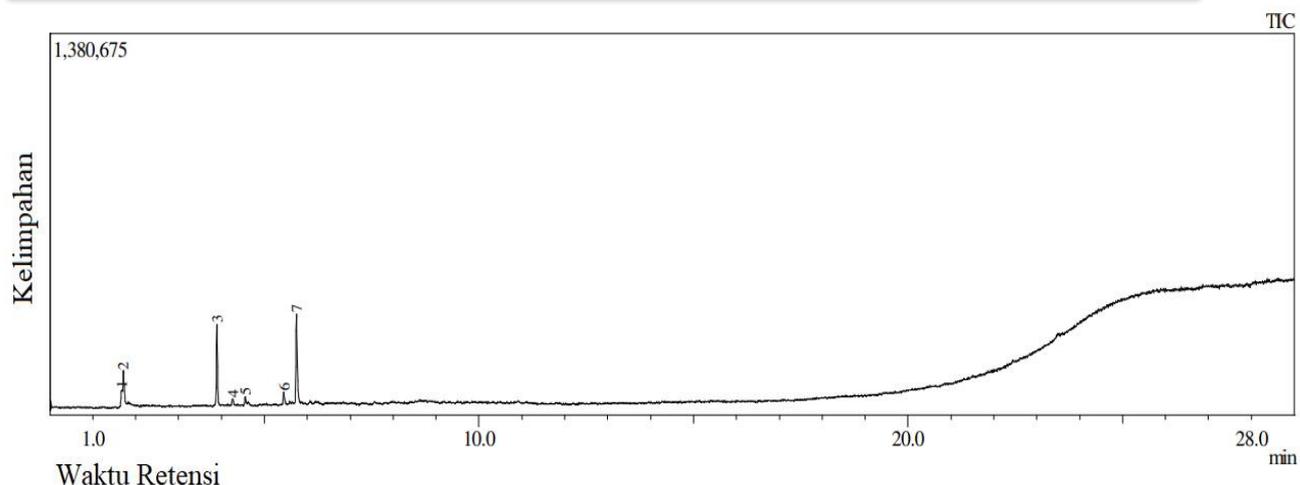
Hasil dan Pembahasan

Senyawa bioaktif hasil ekstraksi

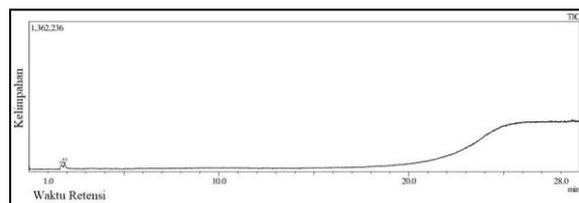
Semua bahan bioaktif dari konsentrat yang diekstraksi telah berhasil diidentifikasi. Seperti yang terlihat pada Gambar 2, 3, dan 4, setiap kromatogram hasil pengukuran menampilkan waktu retensi setiap molekul zat yang menyusun setiap konsentrat yang diekstraksi. Setiap molekul yang menghasilkan kelimpahan ion total seperti yang ditampilkan dalam setiap kromatogram ini juga telah memperoleh spektrum rasio massa (m) terhadap muatan (z) (tidak ditampilkan).



Gambar 2. Kromatogram kelimpahan total ion (*total ion chromatogram*, TIC) molekul senyawa-senyawa penyusun konsentrat hasil ekstrak buah kapulaga menggunakan pelarut etanol dan masing-masing waktu retensinya.



Gambar 3. Kromatogram kelimpahan total ion (*total ion chromatogram*, TIC) molekul senyawa-senyawa penyusun konsentrat hasil ekstrak buah kapulaga menggunakan pelarut metanol dan masing-masing waktu retensinya.



Gambar 4. Kromatogram kelimpahan total ion (*total ion chromatogram*, TIC) molekul senyawa-senyawa penyusun konsentrat hasil ekstrak buah kapulaga menggunakan pelarut air dan masing-masing waktu retensinya

Hasil penelitian pada gambar 2 diperlihatkan, ada sebanyak 14 puncak kelimpahan total ion yang terukur. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrat yang diekstraksi dengan pelarut etanol memiliki maksimal 14 jenis bahan kimia yang berbeda. Hingga tujuh puncak kelimpahan ion total telah diamati, seperti yang terlihat pada Gambar 3. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrat yang diekstraksi dengan pelarut metanol mengandung tidak lebih dari tujuh jenis bahan kimia yang berbeda.

Gambar 4 diperlihatkan, ada sebanyak 2 puncak kelimpahan total ion yang terukur. Ini

menunjukkan bahwa ada paling banyak 2 jenis senyawa penyusun konsentrat yang diekstrak menggunakan pelarut etanol. Untuk memperjelas jumlah dan jenis senyawa penyusun tersebut, parameter spektrum rasio massa terhadap muatan dari masing-masing molekul penghasil puncak-puncak kelimpahan total ion tersebut, digunakan. Dengan menggunakan dua besaran ini, sebagaimana telah diperoleh dari hasil pengukuran di atas, jenis senyawa penyusun setiap konsentrat hasil ekstrak di atas telah diidentifikasi dan hasilnya ditunjukkan pada tabel 1, tabel 2, dan tabel 3.

Tabel 1. Senyawa-senyawa penyusun konsentrat hasil ekstrak buah kapulaga menggunakan pelarut etanol. Setiap puncak dan waktu retensi yang ditunjukkan di sini merujuk pada kromatogram gambar 2

Puncak #	Waktu Retensi (Menit)	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Berat Molekul (g/mol)
1	1,709	3-Pentanol	C ₅ H ₁₂ O	88
2	3,889	1,8-Cineole	C ₁₀ H ₁₈ O	154
3	4,259	Cis-Sabinene hydrate	C ₁₀ H ₁₈ O	154
4	4,543	L-Linalool	C ₁₀ H ₁₈ O	154
5	4,620	Trans Sabinene hydrate	C ₁₀ H ₁₈ O	154
6	5,450	Alpha-Terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	154
7	5,747	Alpha-Terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	154

8	9,693	Beta-Selinene	C ₁₅ H ₂₄	204
9	9,834	Beta-Bisabolene	C ₁₅ H ₂₄	204
10	10,044	Beta-Sesquiphellandrene	C ₁₅ H ₂₄	204
11	10,490	Nerolidol B (Cis or Trans)	C ₁₅ H ₂₆ O	222
12	10,911	d-Ledol	C ₁₅ H ₂₆ O	222
13	16,294	Oleic acid methyl ester	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	296
14	23,391	1-Piperoylpiperidine	C ₁₇ H ₁₉ NO ₃	285

Tabel 2. Senyawa-senyawa penyusun konsentrat hasil ekstrak buah kapulaga menggunakan pelarut metanol. Setiap puncak dan waktu retensi yang ditunjukkan di sini merujuk pada kromatogram gambar 3

Puncak #	Waktu Retensi (Menit)	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Berat Molekul (g/mol)
1	1,675	4-Cyclooctenone	C ₈ H ₁₂ O	124
2	1,712	3-Pentanol	C ₅ H ₁₂ O	88
3	3,892	1,8-Cineole	C ₁₀ H ₁₈ O	154
4	4,260	Cis-Sabinene hydrate	C ₁₀ H ₁₈ O	154
5	4,550	L-Linalool	C ₁₀ H ₁₈ O	154
6	5,454	Alpha-Terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	154
7	5,750	Alpha-Terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	154

Tabel 3. Senyawa-senyawa penyusun konsentrat hasil ekstrak buah kapulaga menggunakan pelarut air. Setiap puncak dan waktu retensi yang ditunjukkan di sini merujuk pada kromatogram gambar 4

Puncak #	Waktu Retensi (Menit)	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Berat Molekul (g/mol)
1	1.717	1-Methyl-3-cyclohexenol	C ₇ H ₁₂ O	112
2	1.875	Methyl methanoate	C ₂ H ₄ O ₂	60

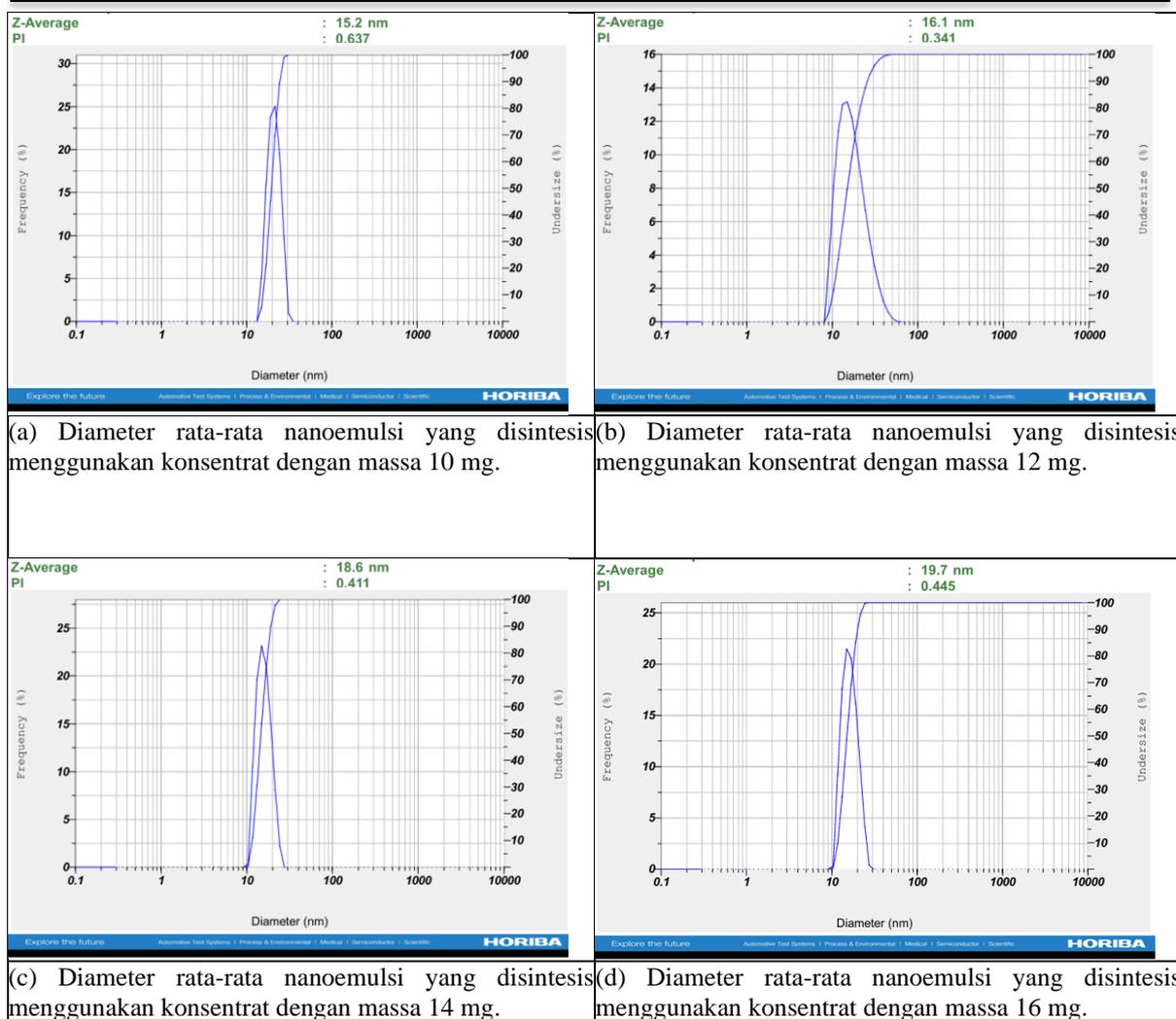
Hasil di atas menunjukkan bahwa 13 jenis senyawa yang berbeda berhasil diekstraksi dari buah kapulaga menggunakan pelarut etanol: alfa-terpineol; beta-selinena; beta-bisabolena; beta-sesquiphellandrene; nerolidol B (cis atau trans); d-ledol; metil ester asam oleat; 1-piperoylpiperidina; 3-pentanol; 1,8-sineol; hidrat cis-sabinena; l-linalool; hidrat trans sabinena; dan alfa-terpineol. Enam jenis zat kimia yang berbeda diekstraksi menggunakan pelarut metanol: alfa-terpineol, hidrat cis-sabinena, 1,8-sineol, 3-pentanol, 4-siklooktenon, dan l-linalool. Ketika pelarut air digunakan untuk ekstraksi, dua jenis zat kimia diproduksi: metil metanoat dan 1-metil-3-sikloheksenol. Hasilnya, 16 jenis zat kimia berhasil diekstraksi dari buah kapulaga menggunakan tiga jenis pelarut yang disebutkan di atas. Selain itu, semua zat ini digabungkan untuk membuat nanoemulsi.

Diameter rata-rata (Z-average) nanoemulsi

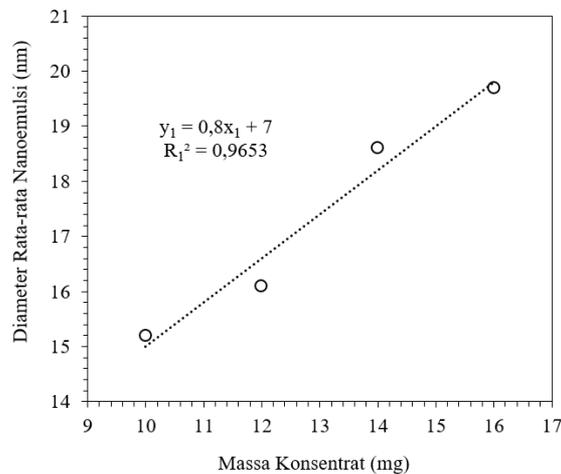
Setelah diukur dengan peralatan *Particle Size Analyzer* (PSA), diameter rata-rata

nanoemulsi, diperoleh. Empat jenis nanoemulsi yang telah disintesis, yang menggunakan massa prekursor konsentrat yang berbeda-beda, yaitu: 10 mg, 12 mg, 14 mg, dan 16 mg, menghasilkan diameter rata-rata masing-masing: 15,2 nm; 16,1 nm; 18,6 nm; dan 19,7 nm, seperti ditunjukkan pada gambar 5. Diameter rata-rata nanoemulsi yang dihasilkan berbeda-beda. Terlihat ada pengaruh massa konsentrat yang digunakan terhadap besar diameter rata-rata nanoemulsi yang dihasilkan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa diameter rata-rata nanoemulsi akhir meningkat seiring dengan bertambahnya massa prekursor konsentrat ekstrak yang digunakan. Ketika massa konsentrat yang digunakan ditambahkan, diameter rata-rata meningkat secara signifikan. Hal ini dapat dijelaskan oleh fakta bahwa konsentrasi konsentrat yang dienkapsulasi oleh molekul surfaktan tween 80 meningkat, sehingga meningkatkan diameter nanoemulsi yang dienkapsulasi.



Gambar 5. Diameter rata-rata (*Z-average*) nanoemulsi senyawa bioaktif buah kapulaga dan indeks polidispersitasnya (*polydispersity index*, PI). (a) disintesis dengan menggunakan konsentrat dengan massa 10 mg. (b) disintesis dengan menggunakan konsentrat dengan massa 12 mg. (c) disintesis dengan menggunakan konsentrat dengan massa 14 mg. (d) disintesis dengan menggunakan konsentrat dengan massa 16 mg.



Gambar 6. Hubungan massa konsentrat ekstrak buah kapulaga yang digunakan saat mensintesis nanoemulsi, dengan diameter rata-rata nanoemulsi yang dihasilkan

Hubungan massa konsentrat yang digunakan pada saat sintesis (x_1) dengan besar diameter rata-rata nanoemulsi yang dihasilkan (y_1), bersifat linier sebagaimana ditunjukkan pada gambar 6. Linieritas hubungannya dapat didekati dengan persamaan $y_1 = 0,8x_1 + 7$ dengan kekuatan determinasi sebesar $R_1^2 = 0,9653$. Artinya, perubahan massa konsentrat yang digunakan (dalam hal ini pertambahannya) memberikan kontribusi menghasilkan laju perubahan pertambahan diameter rata-rata nanoemulsi sebesar 0,8. Kekuatan determinasi perubahan massa konsentrat yang digunakan tersebut, dalam hal mengubah besar diameter rata-rata nanoemulsi, sebesar 0,9653 atau 96,53%. Persentasi determinasi ini sangat besar, yang menunjukkan bahwa perubahan massa konsentrat yang digunakan saat mensintesis nanoemulsi sangat mempengaruhi besar diameter rata-rata nanoemulsi yang dihasilkan. Persentasi sisanya, yaitu sebesar 3,47%, ditentukan oleh parameter lain.

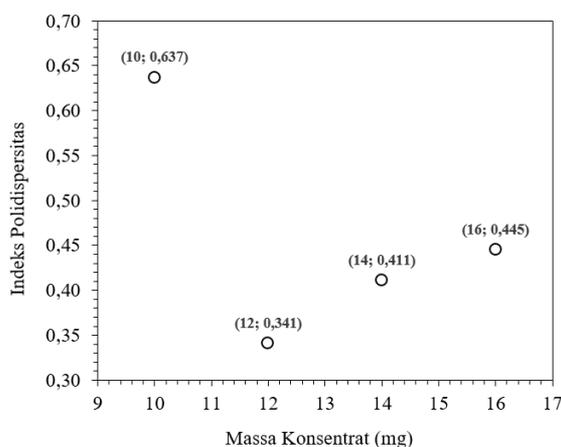
Indeks polidispersitas (Polydispersity index, PI) nanoemulsi

Diameter nanoemulsi yang dihasilkan tidak tunggal, melainkan beragam dengan distribusi sebagaimana ditunjukkan pada gambar 5. Keragaman ukuran ini ditunjukkan oleh besar indeks polidispersitasnya masing-masing. Nilai

indeks polidispersitas (PI) masing-masing nanoemulsi yang dihasilkan ditunjukkan pada gambar 5. Indeks polidispersitas ke empat nanoemulsi hasil sintesis masing-masing adalah 0,637; 0,341; 0,411; dan 0,445. Dari ke empat nilai indeks polidispersitas ini menunjukkan bahwa ukuran diameter nanoemulsi yang disintesis seluruhnya masuk kategori sangat heterogen.

Keheterogenan ukuran nanoemulsi hasil sintesis di atas terjadi karena beragamnya jenis senyawa hasil ekstrak yang harus dienkapsulasi oleh molekul-molekul surfaktan. Setiap senyawa hasil ekstrak tersebut memiliki karakteristik masing-masing dalam hal berikatan dengan molekul tween 80 ketika terjadi proses enkapsulasi. Keberagaman karakteristik berikatan ini menyebabkan ukuran nanoemulsi yang dihasilkan sangat variatif.

Sebaran data indeks polidispersitas nanoemulsi, dihubungkan dengan massa konsentrat ekstrak yang digunakan, ditunjukkan pada gambar 7. Terlihat bahwa tidak ada hubungan linier antara keduanya. Ini menunjukkan bahwa proses enkapsulasi untuk membentuk nanoemulsi oleh molekul-molekul surfaktan sangatlah kompleks, dan penambahan massa konsentrat tidak memberikan pola determinasi yang teratur terhadap keragaman ukuran nanoemulsi.



Gambar 7. Sebaran indeks polidispersitas nanoemulsi yang dihasilkan dihubungkan dengan massa konsentrat ekstrak buah kapulaga yang digunakan saat sintesis

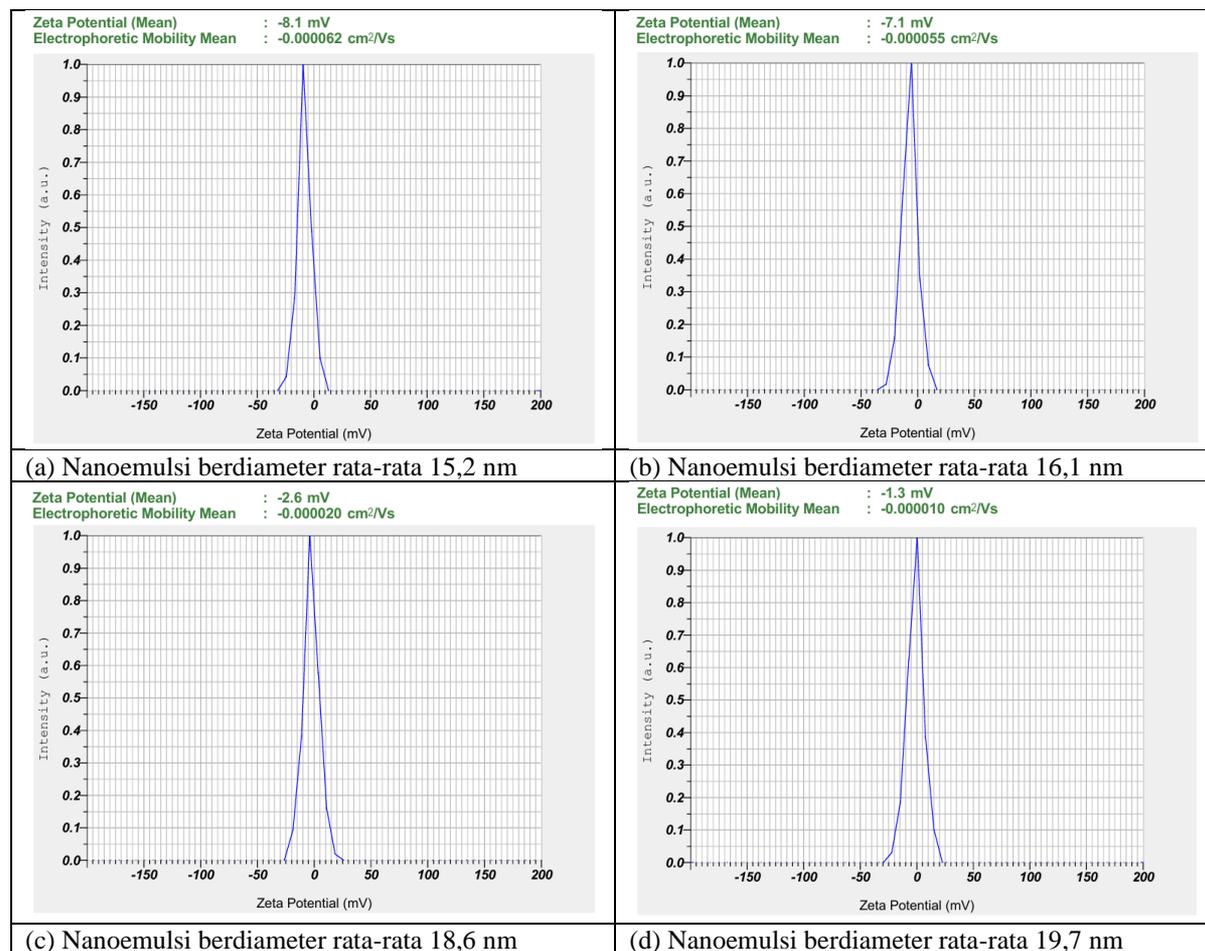
Mobilitas elektroporetik (electrophoretic mobility) nanoemulsi

Mobilitas elektroporetik rata-rata nanoemulsi ditunjukkan pada gambar 8 dan

dirangkumkan pada tabel 4. **Mobilitas elektroporetik** ini adalah parameter yang menggambarkan seberapa cepat nanoemulsi tersebut dapat bergerak ketika berada di dalam

medan listrik. Oleh karena itu ditentukan oleh seberapa besar muatan listrik yang terdapat pada permukaan nanoemulsi. Muatan permukaan mempengaruhi mobilitas elektroporetik karena ia menciptakan medan listrik lokal di sekitar nanoemulsi, yang kemudian menentukan

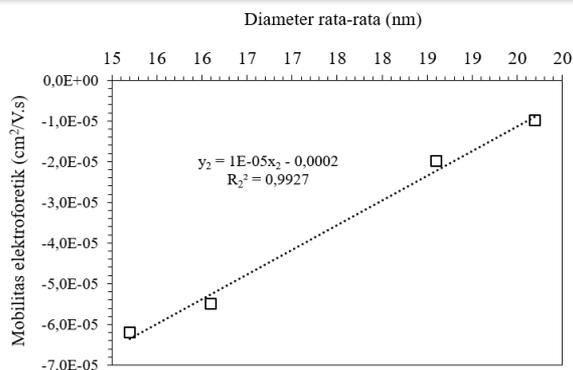
seberapa kuat gaya elektrostatis yang mendorong nanoemulsi tersebut saat berada di dalam medan listrik eksternal. Ketika muatan permukaannya besar, mobilitas elektroporetiknya juga besar, dan jika muatan permukaannya negatif, mobilitas elektroporetiknya juga negatif.



Gambar 8. Mobilitas elektroporetik dan potensial zeta nanoemulsi ekstrak buah kapulaga yang dienkapsulasi menggunakan surfaktan tween 80 dan didispersi di dalam medium air. (a) nanoemulsi berdiameter rata-rata 15,2 nm; (b) nanoemulsi berdiameter rata-rata 16,1 nm; (c) nanoemulsi berdiameter rata-rata 18,6 nm; dan (d) nanoemulsi berdiameter rata-rata 19,7 nm.

Tabel 4. Diameter rata-rata, indeks polidispersitas, mobilitas elektroporetik dan potensial zeta nanoemulsi ekstrak buah kapulaga yang disintesis menggunakan surfaktan tween 80 dan didispersi di dalam medium air

No.	Diameter Rata-rata (nm)	Indeks Polidispersitas	Mobilitas Elektroporetik (cm ² /V.s)	Potensial Zeta (mV)
1.	15,2	0,637	-0.000062	-8.1
2.	16,1	0,341	-0.000055	-7.1
3.	18,6	0,411	-0.000020	-2.6
4.	19,7	0,445	-0.000010	-1.3



Gambar 9. Hubungan diameter rata-rata dengan mobilitas elektroforetik nanoemulsi ekstrak buah kapulaga yang disintesis menggunakan surfaktan tween 80 dan didispersi di dalam medium air.

Hasil pengukuran di atas, diperoleh mobilitas elektroforetik rata-rata nanoemulsi yang dihasilkan adalah terentang dari $-0.000010 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ sampai $-0.000062 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ dan bertanda negatif. Ini menunjukkan bahwa nanoemulsi yang dihasilkan memiliki muatan permukaan negatif. Sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4, terlihat ada hubungan linier antara diameter rata-rata nanoemulsi dengan mobilitas elektroforetik rata-ratanya. Semakin besar diameter rata-rata nanoemulsi (x_2), semakin kecil nilai absolut mobilitas elektroforetiknya (y_2). Lebih jelasnya hubungan ini ditunjukkan pada gambar 9. Linieritas hubungannya dapat didekati dengan persamaan $y_2 = -10^{-5}x_2 + 0,0002$ dengan kekuatan determinasi sebesar $R_2^2 = 0,9927$. Artinya, perubahan diameter rata-rata (dalam hal ini pertambahannya) memberikan kontribusi menghasilkan laju perubahan pengurangan nilai absolut mobilitas elektroforetiknya sebesar -10^{-5} . Kekuatan determinasi (R_2^2) perubahan diameter rata-rata ini terhadap pengurangan nilai absolut mobilitas elektroforetiknya, sebesar 99,27%.

Potensial zeta nanoemulsi

Besar potensial zeta nanoemulsi juga telah diukur. Hasilnya diuraikan pada tabel 4. Potensial zeta ke empat nanoemulsi diperoleh tersebar dari $-1,3 \text{ mV}$ sampai $-8,1 \text{ mV}$. Nilainya negatif. Diketahui bahwa besar potensial zeta ditentukan oleh muatan permukaan nanoemulsi, karakteristik listrik molekul surfaktan, dan muatan molekul-molekul medium pendispersi. Pada penelitian ini, surfaktan yang digunakan adalah tween 80 (non-ionik) dan nanoemulsi yang dihasilkan didispersi ke dalam medium air (medium polar). Dengan kondisi seperti itu, potensial zeta yang dihasilkan diperoleh seperti

yang diuraikan pada tabel 4.

Terlihat pada tabel 4 bahwa ada hubungan linier antara besar diameter rata-rata nanoemulsi dengan besar potensial zetanya, dimana semakin besar diameter rata-rata nanoemulsi, semakin kecil nilai absolut potensial zetanya. Hal ini dapat difahami karena nanoemulsi yang memiliki volume yang lebih besar memiliki rasio permukaan terhadap volume yang lebih kecil sehingga kerapatan muatan permukaan per unit luasnya lebih rendah oleh karena itu mengurangi potensial zetanya. Nanoemulsi yang ukurannya lebih kecil memiliki lapisan ganda listrik yang relatif lebih padat muatannya, sehingga potensial zetanya lebih tinggi.

Mengetahui besar potensial zeta suatu nanoemulsi sangat penting karena besaran ini menentukan kestabilan dispersi nanoemulsi tersebut. Potensial zeta nanoemulsi yang relatif besar menghasilkan gaya tolak elektrostatis antar nanoemulsi yang relatif besar, sehingga menghindarkan nanoemulsi berkoalisi atau berfloklulasi, dengan demikian nanoemulsinya dapat terdispersi tetap stabil. Potensial zeta nanoemulsi yang diperoleh di atas semuanya di bawah $\pm 10 \text{ mV}$, sehingga masuk dalam kategori tidak stabil. Potensial zeta suatu nanoemulsi agar dapat terdispersi secara stabil di dalam suatu medium harus minimum sebesar $\pm 30 \text{ mV}$. Untuk meningkatkan potensial zeta nanoemulsi yang diperoleh di atas suatu perlakuan penambahan pH dapat dilakukan.

Kesimpulan

Ekstrak buah kapulaga telah berhasil dinanoemulsi dengan menggunakan surfaktan

tween 80 dan didispersi di dalam medium air. Diameter rata-ratanya diperoleh sebesar 15,2 nm sampai 19,7 nm. Besar diameter rata-rata nanoemulsi hasil sintesis sangat dipengaruhi oleh besar konsentrasi konzentrat hasil ekstrak yang digunakan. Determinasinya diperoleh sebesar 96,53%. Indeks polidispersitas nanoemulsi diperoleh sebesar 0,341 sampai 0,637. Dengan demikian ukuran nanoemulsi yang disintesis ini sangat heterogen. Muatan permukaan nanoemulsinya adalah negatif. Mobilitas elektroforetik rata-ratanya terentang dari $-0.000010 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ sampai $-0.000062 \text{ cm}^2/\text{V.s}$. Besar mobilitas elektroforetik rata-ratanya dipengaruhi oleh besar diameter rata-rata nanoemulsinya. Determinasinya sebesar 99,27%. Potensial zeta nanoemulsinya terentang dari -1,3 mV sampai -8,1 mV, sehingga sangat berpeluang tidak stabil. Diperoleh bahwa diameter rata-rata nanoemulsi sangat mempengaruhi oleh besar potensial zetanya. Semakin besar diameter rata-rata nanoemulsi, semakin kecil nilai absolut potensial zetanya. Dari hasil yang diperoleh ini menunjukkan bahwa tujuan penelitian ini telah tercapai, yaitu menghasilkan nanoemulsi senyawa bioaktif ekstrak buah kapulaga dan mempelajari karakteristiknya.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih peneliti ucapkan kepada Program Studi Biologi, Universitas Advent Indonesia yang telah membantu peneliti dalam menyelesaikan penelitian ini, baik secara moral maupun materil.

Referensi

- Amani, A., York, P., Waard, H.D. dan Anwar, J. (2011). Molecular dynamics simulation of a polysorbate 80 micelle in water. *Soft Matter*, 7: 2900-2908. <https://doi.org/10.1039/C0SM00965B>
- Danaei, M., Dehghankhold, M., Ataei, S., Davarani, F.H., Javanmard, R., Dokhani, A., Khorasani, S. dan Mozafari, M.R. (2018). Impact of particle size and polydispersity index on the clinical applications of lipidic nanocarrier systems. *Pharmaceutics*, 10(57): 2-17. doi:10.3390/pharmaceutics10020057
- Darsih, C., Windarsih, A., Damayanti, E., Amiru,

- V.A., Indrianingsih, A.W., Marfu'ah, S. dan Sujarwo, W. (2023). Antibacterial and angiotensin i-converting enzyme (ACE) inhibition activities of essential oil from Java Cardamon (*Amomum compactum*) fruit. *Indian Journal of Microbiology*, 63: 263-271. <https://doi.org/10.1007/s12088-023-01080-x>
- Juwitaningsih, T., Jahro, I.S. dan Sari, S.A. (2020). Evaluation of North Sumatera Cardamom seed (*Amomum compactum*) Extract as Antibacterial and Anticancer. *Journal of Physics: Conference Series*, 1485(012019). DOI 10.1088/1742-6596/1485/1/012019
- Nurcholis, W., Putri, D.N.S., Husnawati, Aisyah, S.I. dan Priosoeryanto, B.P. (2021). Total flavonoid content and antioxidant activity of ethanol and ethyl acetate extracts from accessions of *Amomum compactum* fruits. *Annals of Agricultural Sciences*, 66(1): 58-62. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2021.04.001>
- Praditha, A.N., Hartady, T. dan Atik, N. (2020). The using of Java cardamom (*Amomum compactum*) seeds as anti - inflammatory and antibiotic growth promoter alternative for production animals: A literature study. *Indonesia Medicus Veterinus*, 9(6): 956-966. DOI: 10.19087/imv.2020.9.6.956
- Saragih, H. (2024). Sintesa Nanopartikel Senyawa Bioaktif Daun Pegagan (*Centella asiatica*) dan Uji Pengaruh Pemanasan dan Tekanan Terhadap Diameter dan Indeks Polidispersitasnya. *JPSCR: Journal of Pharmaceutical Science and Clinical Research*, 9(1):81-97. DOI: 10.20961/jpscr.v9i1.74982
- Sarkar, A. dan Mackie, A.R. (2020). Engineering oral delivery of hydrophobic bioactives in real-world scenarios. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 48: 40-52. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2020.03.009>
- Zakaria, M. M., Zaidan, U. H., Shamsi, S., & Gani, S. S. A. (2020). Chemical composition of essential oils from leaf extract of pandan, *Pandanus amaryllifolius* ROXB. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 24(1), 87-96.