

Evaluasi Formulasi Mikrokapsul Transfersom Ekstrak Etanol 96% Jahe Merah (*Zingiber officinale* var. *rubrum*)

*Evaluation of Transfersomal Microcapsule Formulation of 96% Ethanol Extract of Red Ginger (*Zingiber officinale* var. *rubrum*)*

Yulius Evan Christian^{1*} dan Riky Suhardin²

¹Program Studi Farmasi, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jakarta, Indonesia

²Program Studi Farmasi, Fakultas Farmasi Universitas Pancasila, Jakarta, Indonesia

*Corresponding author: yulius.christian@atmajaya.ac.id

Diterima: 10 Januari 2025; **Disetujui:** 21 Oktober 2025; **Dipublikasi:** 20 Desember 2025

Abstrak

Jahe merah merupakan salah satu jenis jahe dengan rasa dan aroma khas. Gingerol adalah metabolit utama dalam jahe merah (*Zingiber officinale* var. *rubrum*) yang memiliki aktivitas farmakologis. Namun, senyawa ini memiliki keterbatasan berupa stabilitas rendah dan kelarutan air yang terbatas. Mengatasi keterbatasannya, digunakan sistem penghantaran seperti mikrokapsul transfersom guna meningkatkan stabilitas dan bioavailabilitas. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi formula transfersom serta mikrokapsul transfersom ekstrak jahe merah guna meningkatkan stabilitas, bioavailabilitas, dan efisiensi penyerapan gingerol. Mikrokapsul transfersom memiliki vesikel fleksibel yang mampu meningkatkan stabilitas dan bioavailabilitas gingerol yang sensitif terhadap suhu dan pH. Dibandingkan metode penghantaran lain, transfersom lebih efektif mengatasi keterbatasan gingerol. Transfersom dibuat dengan metode hidrasi lapis tipis menggunakan variasi perbandingan fosfolipid dan Span 80 (6,5:3,5; 7,0:3,0; 9,0:1,0). Masing-masing formula diuji karakteristik fisikokimianya: ukuran partikel, indeks polidispersitas, zeta potensial, morfologi, dan efisiensi penyerapan. Formula terbaik dipilih berdasarkan kestabilan penyimpanan selama 7 hari dan parameter fisik sesuai standar nanopartikel, lalu dimikroenkapsulasi dengan metode *spray drying* menggunakan maltodekstrin (7,2%) dan gom arab (4,8%) sebagai bahan penyalut. *Spray drying* digunakan karena waktu paparan panas singkat dan suhu dapat dikendalikan agar tidak melebihi ambang stabilitas gingerol. Maltodekstrin dan gom arab melindungi gingerol dari degradasi panas sehingga tetap stabil. Karakteristik transfersom menunjukkan morfologi sferis, ukuran partikel 261,8 nm, indeks polidispersitas 0,470, zeta potensial -49,9 mV, dan efisiensi penyerapan 77,09%. Mikrokapsul memiliki morfologi sferis, ukuran partikel 433,76 nm, indeks polidispersitas 0,403, zeta potensial -32,2 mV, dan efisiensi penyerapan 93,85%. Penelitian ini menunjukkan bahwa ekstrak jahe merah dapat diformulasikan menjadi transfersom dan mikrokapsul transfersom yang memenuhi kriteria nanopartikel, yaitu ukuran <500 nm, indeks polidispersitas <0,5, zeta potensial <-30 mV, dan efisiensi penyerapan >70%.

Kata kunci : Gingerol; Jahe merah; Mikrokapsul; Nanopartikel; Transfersom

Abstract

*Red ginger is a type of ginger known for its distinctive flavor and aroma. Gingerol is the primary metabolite in red ginger (*Zingiber officinale* var. *rubrum*), possessing significant*

pharmacological activity. However, this compound has limitations, including poor stability and low water solubility. To overcome these issues, a drug delivery system such as transpersonal microcapsules enhanced stability and bioavailability. This study aims to develop and evaluate the formulation of transfersomes and transfersome microcapsules containing red ginger extract to enhance the stability, bioavailability, and entrapment efficiency of gingerol. Transpersonal microcapsules possess flexible vesicles capable of improving the stability and bioavailability of gingerol, which is sensitive to temperature and pH. Compared to other delivery systems, transfersomes are more effective in addressing the limitations of gingerol. Transfersomes were prepared using the thin-layer hydration method with varying ratios of phospholipids and Span 80 (6.5:3.5; 7.0:3.0; and 9.0:1.0). Each formulation was evaluated for its physicochemical characteristics, including particle size, polydispersity index (PDI), zeta potential, morphology, and entrapment efficiency. The best formulation was selected based on storage stability over 7 days and physical parameters that met nanoparticle standards, then further processed into microcapsules via spray drying using maltodextrin (7.2%) and gom arabic (4.8%) as coating agents. Spray drying was chosen due to its short heat exposure time and controllable temperature, preventing the degradation of gingerol. Maltodextrin and gom arabic acted as protective agents against heat-induced degradation, ensuring stability. The resulting transfersomes exhibited spherical morphology with a particle size of 261.8 nm, a PDI of 0.470, a zeta potential of -49.9 mV, and an entrapment efficiency of 77.09%. The microcapsules showed a spherical shape with a particle size of 433.76 nm, a PDI of 0.403, a zeta potential of -32.2 mV, and an entrapment efficiency of 93.85%. This study demonstrates that red ginger extract can be successfully formulated into transfersomes and transfersomal microcapsules that meet nanoparticle criteria: particle size <500 nm, PDI <0.5, zeta potential <-30 mV, and entrapment efficiency >70%.

Keywords: Gingerol; Microcapsule; Red ginger; Nanoparticle; Transfersome

1. PENDAHULUAN

Salah satu rempah yang paling umum digunakan dalam banyak resep makanan dan minuman adalah jahe. Semakin banyak area penanaman jahe di Indonesia dan munculnya berbagai produk jahe memicu peningkatan permintaan jahe di dalam negeri, yang merupakan salah satu produk ekspor Indonesia. (Sugiarti *et al.*, 2017; (Rukhayyah *et al.*, 2022)

Jahe merah, atau *Zingiber officinale* var. *rubrum*, adalah salah satu jenis jahe yang memiliki rasa dan bau yang paling tajam. Batangnya agak keras, berbentuk bulat, dan berwarna hijau kemerahan. Tanaman ini sangat populer karena kandungan kimianya yang tinggi. Jahe juga disebut *Zingiber officinale* var. *rubrum*, merupakan salah satu tanaman yang menghasilkan minyak atsiri dengan *yield* sekitar 1-3% dan mengandung oleoresin 4-7,5%. Sekitar 13% penelitian telah dilakukan pada tanaman ini dan menghasilkan sekitar 45 zat, termasuk shogaol dan zingerone. (Jayanudin *et al.*, 2021); (Jayanudin *et al.*, 2017).

Bahan utama yang memberikan rasa pedas jahe merah adalah shogaol dan gingerol. Gingerol tidak stabil dalam suhu tinggi dan akan terhidrolisis menjadi shogaol. Shogaol dan gingerol memiliki sifat antihepatotoksik terhadap CCl₄ dan galaktosamin, yang menyebabkan kerusakan hati pada tikus. Selain itu, diketahui senyawa 6-gingerol, 8-gingerol, dan 10-gingerol memiliki potensi mengurangi aktivitas kardio-tonik, sedangkan senyawa 6-shogaol memiliki sifat antitusif dan mengurangi kontraksi usus (Srikandi *et al.*, 2020; Jayanudin *et al.*, 2018).

Secara empiris, jahe merah digunakan mengobati batuk, radang, luka, dan alergi yang disebabkan oleh gigitan serangga serta meningkatkan daya tahan tubuh. Jahe merah mengandung flavonoid, tanin, saponin, alkaloid, dan terpenoid, ekstrak rimpang jahe merah memiliki nilai IC₅₀ antioksidan yang kuat sebesar 10,35 µg/mL (Fizriani *et al.*, 2021; Made *et al.*, 2022). Senyawa metabolit sekunder ini memiliki kemampuan mencegah perkembangan patogen berbahaya bagi manusia. Salah satunya adalah bakteri *Escherichia coli* dan *Bacillus subtilis* (Munadi, 2020; (Sholikhati *et al.*, 2023).

Mikroenkapsulasi merupakan salah satu metode yang digunakan dalam sistem pelepasan obat terkontrol dengan cara menyalut material padat, cair maupun gas menggunakan matriks. Ukuran mikrokapsul yang digunakan dalam sistem penghantaran obat terkontrol yakni antara 1-1000µm. Sistem enkapsulasi menjadikan obat terlindungi dari degradasi sehingga dapat meningkatkan stabilitas obat, menurunkan dosis dan toksisitas, menutupi karakter organoleptik obat yang dapat meningkatkan kenyamanan pasien, serta memperpanjang waktu pelepasan dari senyawa yang dienkapsulasi (Kusumasari, 2023) (Jayanudin *et al.*, 2019)

Mikroenkapsulasi digunakan untuk meningkatkan stabilitas zat aktif, menutupi rasa tidak enak, mengendalikan pelepasan, serta meningkatkan bioavailabilitas dan target pengantaran obat (Kusumasari, 2023) (Jayanudin *et al.*, 2019). Metode konvensional seperti granulasi basah atau teknik pencampuran biasa memiliki keterbatasan, seperti hasil partikel yang tidak seragam, bentuk yang tidak sferis, serta ketergantungan pada pelarut organik yang kurang ramah lingkungan. Oleh karena itu, pendekatan seperti teknik *spray drying* dan enkapsulasi lipid digunakan untuk menghasilkan partikel sferis yang lebih stabil dan dapat dikendalikan pelepasannya. teknik pengeringan cepat dengan menyemprotkan larutan atau suspensi bahan ke dalam aliran udara panas. Partikel kering terbentuk saat pelarut menguap dalam hitungan detik, menghasilkan serbuk halus yang stabil. Keunggulan metode ini adalah prosesnya cepat, suhu dapat dikendalikan, dan cocok untuk zat aktif yang sensitif. Dalam penelitian ini, metode *spray drying* digunakan untuk mengubah transfersom ekstrak jahe merah menjadi bentuk mikrokapsul dengan menambahkan maltodekstrin dan gom arab sebagai bahan penyalut. (Rahmat Santoso., *et al.*, 2019; Ariani *et al.*, 2023)

Salah satu pendekatan untuk meningkatkan stabilitas dan efisiensi penghantaran obat adalah melalui sistem nanopartikel berbasis lipid seperti transfersom. Transfersom merupakan vesikel lipid fleksibel turunan dari liposom, yang memiliki kemampuan mengenkapsulasi senyawa aktif dan melindunginya dari degradasi lingkungan. Fleksibilitasnya berasal dari adanya *edge activator* seperti surfaktan, yang membuat struktur lipid lebih elastis dan stabil. Meskipun awalnya digunakan untuk penghantaran transdermal, penggunaan transfersom kini meluas untuk rute lain seperti oral dan topikal, tergantung pada desain formula dan tujuan terapi. Dalam penelitian ini, sistem transfersom dikembangkan untuk meningkatkan stabilitas gingerol terhadap suhu dan pH, bukan untuk penghantaran transdermal. Surfaktan memiliki kemampuan untuk membuat lapisan lipid dalam vesikel, meningkatkan elastisitas dan fleksibilitas lapisan ganda lipid. Namun demikian, penelitian mengenai penerapan transfersom untuk meningkatkan stabilitas dan efisiensi penghantaran senyawa gingerol dari ekstrak jahe

merah masih terbatas. Sebagian besar studi sebelumnya berfokus pada penggunaan liposom konvensional atau formulasi emulsi, yang belum optimal dalam menjaga stabilitas gingerol terhadap perubahan suhu dan pH, serta masih memiliki efisiensi penyerapan yang rendah. Selain itu, informasi mengenai karakteristik fisikokimia transfersom yang dikembangkan khusus untuk gingerol dalam bentuk mikrokapsul juga belum banyak dilaporkan. Ini menyebabkan vesikel memiliki sifat yang sangat dapat diubah. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi formula transfersom serta mikrokapsul transfersom ekstrak jahe merah guna meningkatkan stabilitas, bioavailabilitas, dan efisiensi penyerapan gingerol. Transfersom dapat meningkatkan penetrasi obat dan menghasilkan efisiensi penyerapan obat yang tinggi dengan menggunakan vesikel yang utuh. Surfaktan yang merupakan bagian dari transfersom yang terdiri dari gugus hidrofobik dan hidrofilik, juga dapat mengubah molekul obat dengan tingkat kelarutan yang berbeda. (Pebrianti *et al.*, 2021; (Sadiah & Indarto, 2022).

Transfersom dibuat menggunakan metode hidrasi lapis tipis, yang dipilih karena efektif membentuk vesikel lipid berukuran kecil dengan efisiensi penyerapan tinggi, serta banyak digunakan dalam formulasi nanopartikel lipid. Surfaktan Span 80 digunakan sebagai *edge activator* karena memiliki nilai HLB rendah (4,3), yang sesuai untuk meningkatkan fleksibilitas membran lipid. Variasi rasio fosfolipid dan Span 80 (6,5:3,5; 7,0:3,0; 9,0:1,0) didasarkan pada penelitian sebelumnya (Ariani *et al.*, 2023) yang menunjukkan pengaruh rasio tersebut terhadap stabilitas dan ukuran vesikel. Ketiga formula disimpan pada suhu ruang (25 ± 2 °C) selama 7 hari, kemudian dievaluasi untuk kestabilan fisik (perubahan ukuran partikel dan indeks polidispersitas) guna menentukan formula terbaik secara kuantitatif dan obyektif.

2. BAHAN DAN METODE (Rostina Pohan, 2022)

2.1. Bahan dan alat

Ekstrak rimpang jahe merah (Herbarium Bogoriense, Indonesia), maltodekstrin (Merck; Darmstadt, Jerman), gom arab (Merck; Darmstadt, Jerman), fosfatidilkolin P60 (Sigma Aldrich; St. Louis, MO), phosphate buffer (Sigma Aldrich; St. Louis, MO) dan span 80 (Merck; Darmstadt, Jerman).

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah timbangan analitik (Fujitsu, Jepang), penguap putar (*rotary evaporator*), lemari pendingin (Panasonic, Jepang), transmission electron microscopy (TEM) (Jeol Jem-1010, Jepang), gelas ukur, particle size analyzer (Malvern, USA), spektrofotometri UV-Vis UV-1700 (Shimadzu, Jepang) dan alat-alat gelas (Pyrex, Indonesia), ultrasonik (Ultrasonic Cleaner Branson 2510, USA), homogenizer (IKA T18 Digital Ultra-Turrax, Jerman), spray dryer (Büchi Mini Spray Dryer B-290, Swiss).

2.2. Metode

2.2.1. Pengumpulan dan pemeriksaan bahan penelitian

Ekstrak rimpang jahe merah (*Zingiber officinale* var. *rubrum*) diperoleh dari Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Bogor, dalam bentuk serbuk kering yang telah melalui proses standardisasi awal. Ekstrak kemudian disimpan dalam wadah tertutup dan digunakan sesuai kebutuhan formulasi.

2.2.2. Determinasi tanaman asal

Determinasi tanaman dilakukan di Herbarium Bogoriense, Puslitbang, LIPI, Bogor

2.2.3. Pembuatan ekstrak rimpang jahe merah

Proses ekstraksi rimpang jahe merah kering melalui metode maserasi menggunakan pelarut etanol 96%. Sebanyak 500 gram bubuk jahe merah kering ditimbang dan diekstraksi dengan 5 liter etanol 96%, campuran digoyangkan selama enam jam dan didiamkan selama 24 jam (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2017). Maserat yang terbentuk dipisahkan, dan proses maserasi diulang dua kali dengan jenis pelarut yang sama. Setelah seluruh maserat dikumpulkan, pelarut diuapkan menggunakan *rotary evaporator* pada suhu 40 °C di bawah tekanan rendah (13,5 KgF/cm²) hingga diperoleh ekstrak kental (bidin A, 2017; A. D. N. Lestari, 2022)

2.3. Karakterisasi ekstrak

2.3.1. Organoleptik

Diamati warna bau dan bentuk ekstrak rimpang jahe merah.

2.3.2. Penetapan kadar air

Sebanyak ± 30 –50 mg ekstrak ditimbang dan dimasukkan ke dalam alat uji air *Karl Fischer* titrator. Penetapan kadar air menggunakan metode titrasi *Karl Fischer*. Kadar air ekstrak ditetapkan dengan batas tidak lebih dari 10% sesuai standar yang berlaku (Sadih & Indarto, 2022; Chuddin & Swasono, 2023).

2.4. Formulasi dan evaluasi transfersom ekstrak jahe merah

2.4.1. Pembuatan dapar fosfat pH 5,5

Sebanyak 27,22 g natrium dihidrogen fosfat ditimbang dan dilarutkan dalam 800 mL air bebas CO₂. Sebanyak 200 mL dari larutan tersebut diambil, kemudian dilarutkan kembali dengan air bebas CO₂ hingga mencapai volume 1 L. Nilai pH larutan diatur menggunakan natrium hidroksida 1 M (Nadia, 2023).

2.4.2. Pembuatan transfersom dengan ekstrak jahe merah

Transfersom dibuat menggunakan tiga variasi formula yang terdiri fosfatidilkolin P60 dan Span 80. Pembuatan melalui dua tahap, yaitu proses lapisan tipis dan proses hidrasi. Pada tahap lapisan tipis, fosfatidilkolin P60 dan Span 80 dilarutkan dalam pelarut organik terklorinasi berupa diklorometana (DCM), kemudian diuapkan pada suhu 39 °C menggunakan *rotary evaporator* dengan kecepatan awal 50 rpm yang secara bertahap ditingkatkan hingga 150 rpm sampai pelarut menguap sempurna dan terbentuk lapisan tipis yang merata pada dinding labu. Setelah itu, gas nitrogen dialirkan, dan labu disimpan dalam lemari es selama 24 jam untuk memastikan pembentukan lapisan lipid yang stabil (Damar Adi Prasetyo, 2022).

Buffer fosfat pH 5,5 digunakan pada tahap hidrasi untuk melarutkan ekstrak rimpang jahe merah. Larutan hasil pelarutan dimasukkan ke dalam labu berisi lapisan lipid, kemudian proses homogenisasi dilakukan menggunakan *vortex mixer* hingga terbentuk suspensi transfersom

yang homogen. Hidrasi dilakukan dengan *rotary evaporator* pada suhu 39 °C dan kecepatan 150 rpm tanpa vakum. Suspensi transfersom disonikasi selama 10 menit pada amplitudo 25, dan disentrifugasi selama 5 menit untuk memisahkan ekstrak yang terserap dan tidak terserap oleh transfersom (Kuncahyo *et al.*, 2021). Tabel 1 menunjukkan komposisi bahan dan fungsi masing-masing komponen dalam formula transfersom ekstrak jahe merah. (Kuncahyo *et al.*, 2021).

Tabel 1. Formula transfersom ekstrak jahe merah (*Zingiber officinale* var. *rubrum*).

Bahan	Formula (%)			Kegunaan
	I	II	III	
Ekstrak jahe merah	3,9	3,9	3,9	Bahan aktif
Fosfatidilkolin P60	6,5	7,0	9,0	Pembentuk vesikel lipid
Span 80	3,5	3,0	1,0	Edge activator
Phosphate buffer (PH 5,5)	ad 100	ad 100	ad 100	Fase akuosa untuk hidrasi vesikel

2.5. Evaluasi transfersom ekstrak jahe merah

2.5.1. Distribusi ukuran partikel

Pemeriksaan ukuran partikel dengan menggunakan alat *particle size Analyzer* (PSA) kemudian diukur diameternya (N. Lestari *et al.*, 2024)

2.5.2. Potensial zeta

Transfersom ekstrak jahe merah didispersikan dengan akuades kemudian diukur dengan alat *particle sizer* (Sari *et al.*, 2019)

2.5.3 Morfologi

Sampel transfersom ditetaskan pada grid tembaga (*copper grid*) yang dilapisi karbon, kemudian dikeringkan pada suhu kamar. Grid kemudian dimasukkan ke dalam alat TEM dan diamati pada tegangan akselerasi yang sesuai untuk memperoleh citra partikel dan bentuk morfologinya (TEM) (Ambarwati & Yulianita, 2022)

2.5.4 Efisiensi penjerapan (Syafanisa Alifia Rahma *et al.*, 2022)

Suspensi transfersom dipisahkan menjadi endapan dan supernatan. Sebanyak 0,5 mL suspensi dicampur dengan 1 mL dapar fosfat pH 5,5 kemudian disentrifugasi pada 14.000 rpm selama 1 jam. Endapan yang diperoleh dilarutkan dalam 10 mL larutan *buffer* fosfat pH 5,5. Selanjutnya, 1 mL larutan diencerkan hingga 10 mL dengan etanol 96% pro analysis dan digojoj selama 5 menit hingga homogen. Kemudian 3 mL larutan kembali diencerkan hingga 10 mL. Kadar ditentukan menggunakan spektrofotometri UV-VIS dan efisiensi penjerapan dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$\text{Efisiensi penjerapan (\%)} = \frac{\text{Jumlah obat dalam formulasi} - \text{jumlah obat bebas}}{\text{jumlah obat yang digunakan dalam formulasi}} \times 100\%$$

Persamaan 1. Perhitungan efisiensi penjerapan transfersom ekstrak jahe merah.

2.6. Pembuatan mikrokapsul dari formula transfersom ekstrak jahe merah

Formula transfersom ekstrak jahe merah yang telah dibuat dievaluasi untuk menentukan formula terbaik berdasarkan hasil uji morfologi, distribusi ukuran partikel, potensial zeta, dan efisiensi penyerapan. Formula mikrokapsul transfersom ekstrak jahe merah (*Zingiber officinale* var. *rubrum*) dengan karakteristik paling optimal kemudian digunakan dalam proses pembuatan mikrokapsul (Sitti Zubaydah *et al.*, 2022).

2.7. Formulasi dan evaluasi mikrokapsul ekstrak jahe merah

2.7.1. Pembuatan mikrokapsul (Kuncahyo *et al.*, 2021) (Santoso & Aliudin, 2020)

Proses pembuatan mikrokapsul dilakukan dengan cara melarutkan gom arab dan maltodekstrin ke dalam akuades dengan perbandingan 1:2,7 pada suhu 60–80 °C selama 1 jam menggunakan magnetic *stirrer* hingga larut sempurna. Campuran maltodekstrin dan gom arab dengan suspensi transfersom kemudian dihomogenkan dengan *homogenizer* dengan kecepatan 1500 rpm lalu dispersi dikeringkan dengan *spray dryer* dengan suhu 125 °C kemudian perlahan suhunya diturunkan hingga 60 °C, dengan kecepatan aliran adalah 5 mL/menit. Kemudian mikrokapsul ditempatkan wadah tertutup dan disimpan dalam desikator. Komposisi bahan yang digunakan dalam pembuatan mikrokapsul transfersom ekstrak jahe merah (Tabel 2). Satu formula transfersom terbaik dipilih dari ketiga formula transfersom yang telah dibuat berdasarkan hasil karakterisasi untuk diformulasikan menjadi mikrokapsul.

Tabel 2. Formula mikrokapsul transfersom ekstrak jahe merah.

Bahan	(%)
Transfersom ekstrak jahe merah	3,9
Maltodekstrin DE 10-15	7,2
Gom arab	4,8

2.8. Evaluasi mikrokapsul ekstrak jahe merah

2.8.1. Distribusi ukuran partikel (Sitti Zubaydah *et al.*, 2022)

Pemeriksaan ukuran partikel menggunakan alat *Particle Size Analyzer* (PSA) kemudian diukur diameternya. Sejumlah kurang lebih 2 mg mikrokapsul ekstrak jahe merah dilarutkan dengan air kemudian dimasukkan kedalam tabung dengan tinggi maksimal 15 mm. Umumnya mikrokapsul mempunyai 5-20 µm. Jika ukuran partikel yang dihasilkan semakin kecil, maka semakin baik.

2.8.2. Pengukuran potensial zeta (Ambarwati & Yulianita, 2022)

Transfersom ekstrak jahe merah didispersikan dengan *aquadest* kemudian diukur dengan alat *particle sizer*

2.8.3. Pengujian bentuk morfologi transfersom (N. Lestari *et al.*, 2024) Lianasari *et al.*, 2024)

Sampel transfersom ditetaskan grid tembaga (*copper grid*) dilapisi karbon dan dikeringkan pada suhu kamar. Grid dimasukkan ke alat TEM dan diamati tegangan akselerasi yang sesuai untuk memperoleh citra partikel dan bentuk morfologinya (TEM)

2.8.4 Efisiensi penjerapan

Sampel mikrokapsul sebanyak 200 mg ditimbang dengan hati-hati, lalu dimasukkan ke dalam tabung sentrifugasi 10 mL yang sudah dikalibrasi dan ditambahkan etanol 96% (*pro analysis*) hingga batasnya. Selanjutnya, dispersi tersebut disonikasi dengan kecepatan 4000 rpm selama dua puluh menit hingga terbentuk supernatan. Satu mililiter supernatan diambil, dimasukkan ke labu ukur 10 mililiter, dan satu mililiter lagi diambil, dimasukkan ke labu ukur 5 mililiter dan ditambahkan etanol sampai batas. Untuk mengukur jumlah total zat aktif, sampel 200 miligram ditimbang dengan hati-hati, kemudian dimasukkan ke labu ukur 10 mililiter dan ditambahkan etanol sampai batas. Kemudian disonikasi selama 20 menit. Satu mililiter dispersi dimasukkan ke dalam labu ukur 10 mililiter. Kemudian diambil satu mililiter larutan dan ditambahkan dua mililiter kloroform, dihomogenkan, dan kemudian ditambahkan tiga mililiter etanol. Kemudian diambil satu mililiter larutan dan dimasukkan ke dalam labu ukur 5 mililiter dan ditambahkan etanol sampai batas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemeriksaan organoleptik menunjukkan bahwa ekstrak kental etanol 96% jahe merah (*Zingiber officinale* var. *rubrum*) memiliki konsistensi kental, warna cokelat tua, dan aroma khas jahe. Karakteristik tersebut menggambarkan kandungan senyawa metabolit sekunder yang terdapat pada rimpang jahe merah sebagaimana dalam gambar 1. Pemeriksaan organoleptik dilakukan untuk memberikan informasi awal mengenai sifat fisik ekstrak, yang meliputi konsistensi, warna, dan aroma, sebagai langkah awal dalam identifikasi bahan aktif alami.



Gambar 1. Hasil ekstrak rimpang jahe merah (*Zingiber officinale* var. *rubrum*).

Penetapan kadar air dilakukan untuk mengetahui kadar air residu dalam ekstrak setelah proses penguapan pelarut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar air ekstrak etanol 96% jahe merah adalah sebesar 6,10%. Nilai tersebut tercantum pada Tabel 3, yang menunjukkan bahwa kadar air ekstrak masih berada dalam batas standar *Farmakope Indonesia* edisi VI, yaitu tidak lebih dari 10%.

Pemeriksaan organoleptik bertujuan untuk memberikan informasi sebagai pengenalan awal dan mengidentifikasi ekstrak dengan mendeskripsikan konsistensi, warna dan bau. Penetapan kadar air hasil evaluasi kadar air ekstrak etanol 96% jahe merah pada tabel 3.

Berdasarkan hasil penetapan kadar air, diperoleh hasil 6,10%. Penetapan kadar air bertujuan untuk mengetahui kandungan air dalam ekstrak kental, dan dilakukan menggunakan metode *Karl Fischer*. Prinsip metode ini adalah titrasi dengan larutan methanol kering yang ditambahkan campuran *Karl Fischer* berupa 2-metoksietanol, iodin, dan piridin. Dibandingkan metode pengeringan atau *moisture analyzer*, metode *Karl Fischer* memiliki beberapa kelebihan, antara lain: mampu mendeteksi kadar air dengan presisi tinggi hingga level ppm (*part per million*), tidak merusak sampel karena tidak memerlukan pemanasan, dan lebih akurat untuk sampel dengan kandungan air rendah seperti ekstrak kental. Selain itu, metode ini tidak terganggu oleh keberadaan senyawa volatil lain seperti minyak atsiri, yang sering menyebabkan bias dalam metode pengeringan konvensional. Hasil penetapan kadar air tersebut memenuhi persyaratan Farmakope Indonesia edisi VI, yaitu tidak lebih dari 10%. Faktor yang mempengaruhi hasil kadar air ialah ekstrak jahe merah yang diketahui banyak mengandung minyak atsiri sehingga ekstrak tersebut terlihat berminyak dan basah (Wiraputra *et al.*, 2024).

Tabel 3. Hasil evaluasi organoleptik ekstrak rimpang jahe merah.

Parameter	Hasil pemeriksaan
Konsistensi	Massa kental
Warna	Coklat
Bau	Khas jahe merah
Kadar air	6,10%

Formulasi Transfersom Ekstrak Rimpang Jahe Merah (Syafanisa Alifia Rahma *et al.*, 2022). Formulasi transfersom ekstrak rimpang jahe merah dibuat dengan menggunakan fosfatidilkolin 60, span 80, dan ekstrak rimpang jahe merah. Fosfatidilkolin berfungsi sebagai bahan utama pada pembentukan vesikel. Fosfatidilkolin 60 memiliki gugus yang terdiri dari 2 yaitu gugus hidrofobik dan gugus hidrofilik. Dalam pembuatan formulasi ini digunakan surfaktan Span 80, yaitu sorbitan monooleat, yang tergolong surfaktan non-ionik dengan nilai HLB (*Hydrophilic-Lipophilic Balance*) sebesar 4.3. Nilai ini menunjukkan karakteristik lipofilik yang sesuai untuk membentuk vesikel transfersom bersama fosfolipid. Span 80 dipilih karena bersifat biodegradable, biokompatibel, dan memiliki toksisitas rendah. Selain itu, nilai HLB-nya ideal untuk meningkatkan fleksibilitas membran dan efisiensi penyerapan senyawa lipofilik seperti gingerol. Meski diketahui lebih mudah teroksidasi dibanding surfaktan lainnya, penggunaannya dalam sistem tertutup dan kondisi terkontrol dapat meminimalkan risiko degradasi dan reaksi tengik (Devi, 2019).

Transfersom diformulasikan dengan metode hidrasi lapis tipis. Metode ini digunakan karena proses yang mudah dan sederhana. Formula transfersom dibuat dengan tiga perbandingan konsentrasi antara fosfatidilkolin dengan span 80 yaitu 6,5:3,5, 7:1, dan 9:1 dengan konsentrasi ekstrak yang sama. Pembuatan lapis tipis dilakukan dengan mencampurkan fosfatidilkolin dan Span 80, yang kemudian dilarutkan dalam pelarut organik diklorometana (DCM). Pelarut ini dipilih karena mampu melarutkan lipid secara efisien dan mudah menguap, sehingga mempercepat proses evaporasi. Proses ini dilakukan pada suhu 40 °C menggunakan

rotary evaporator untuk menghasilkan lapisan tipis lipid pada dinding labu. Meskipun menggunakan pelarut organik, formulasi akhir dirancang untuk penggunaan topikal, bukan oral atau sistemik, sehingga paparan sistemik dapat diminimalkan. Selain itu, pelarut diklorometana sepenuhnya diuapkan selama proses evaporasi dan tidak digunakan dalam tahap akhir formulasi mikrokapsul. Oleh karena itu, residu pelarut dipastikan hilang sebelum produk diaplikasikan, dan keamanan tetap terjaga sesuai dengan batas residu pelarut. Lapis tipis yang terbentuk didekan dalam labu alas dan disimpan di lemari pendingin untuk memastikan pelarut menguap dengan sempurna.

Proses selanjutnya yaitu hidrasi dengan mencampurkan ekstrak jahe merah yang telah dilarutkan dalam buffer fosfat pH 5,5 ke dalam labu alas bulat. Buffer pH 5,5 digunakan untuk menjaga kestabilan senyawa gingerol yang bersifat tidak stabil dalam kondisi basa. Suspensi transfersom yang terbentuk kemudian diultrasonikasi dengan amplitudo 25 selama 10 menit untuk memperkecil ukuran partikel menjadi nanosistem. Waktu dan amplitudo ultrasonikasi dipilih berdasarkan referensi yang menunjukkan bahwa parameter tersebut optimal untuk pembentukan vesikel stabil tanpa menyebabkan kerusakan lipid akibat oksidasi (Syafanisa Alifia Rahma *et al.*, 2022). Suspensi transfersom yang telah terbentuk disimpan dalam lemari pendingin pada suhu 4 ± 2 °C untuk menjaga kestabilan fisik dan kimia sistem lipid, sesuai dengan standar penyimpanan sediaan nanopartikel lipid. (Sitti Zubaydah *et al.*, 2022)



Gambar 2. Transfersom ekstrak rimpang jahe merah formula I,II, dan III dengan perbedaan tiap formula pada fosfatidilkolin P60 dan span 80.

3.1. Hasil karakterisasi transfersom ekstrak jahe merah

3.1.1. Particle Size Analyzer

Pengukuran *particle size analyzer* didasarkan pada prinsip bahwa partikel kecil dalam suspensi transfersom memiliki pola pergerakan Brownian yang acak, dan pengukuran dilakukan melalui hamburan cahaya yang ditransmisikan dalam larutan. Indeks Polidispersitas (*Polydispersity Index*) menunjukkan seberapa seragam ukuran partikel dalam sistem. Nilai PDI berada dalam rentang 0–1, di mana nilai $PDI < 0,3$ menunjukkan sistem monodispers (homogen), sedangkan nilai $PDI > 0,7$ mengindikasikan sistem polidispers (heterogen) dengan

distribusi ukuran partikel yang tidak merata. Semakin kecil nilai PDI, maka semakin seragam ukuran partikel dalam sistem (Danaei, 2018). Hasil pengukuran distribusi ukuran partikel dan indeks polidispersitas transfersom ekstrak rimpang jahe merah pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian ukuran partikel dan indeks polidispersitas transfersom ekstrak jahe merah.

Formula	Distribusi ukuran partikel (nm)	Rata-rata $\pm$ SD	Indeks polidispersitas	Rata-rata $\pm$ SD
I	339,3	$337,3 \pm 3,61$	0,372	$0,469 \pm 0,15$
	333,2		0,383	
	339,6		0,654	
	271,3		0,534	
II	279,8	$274,7 \pm 4,46$	0,457	$0,491 \pm 0,03$
	273,2		0,484	
	258,0		0,464	
	263,0		0,515	
III	264,5	$261,8 \pm 3,40$	0,431	$0,470 \pm 0,04$

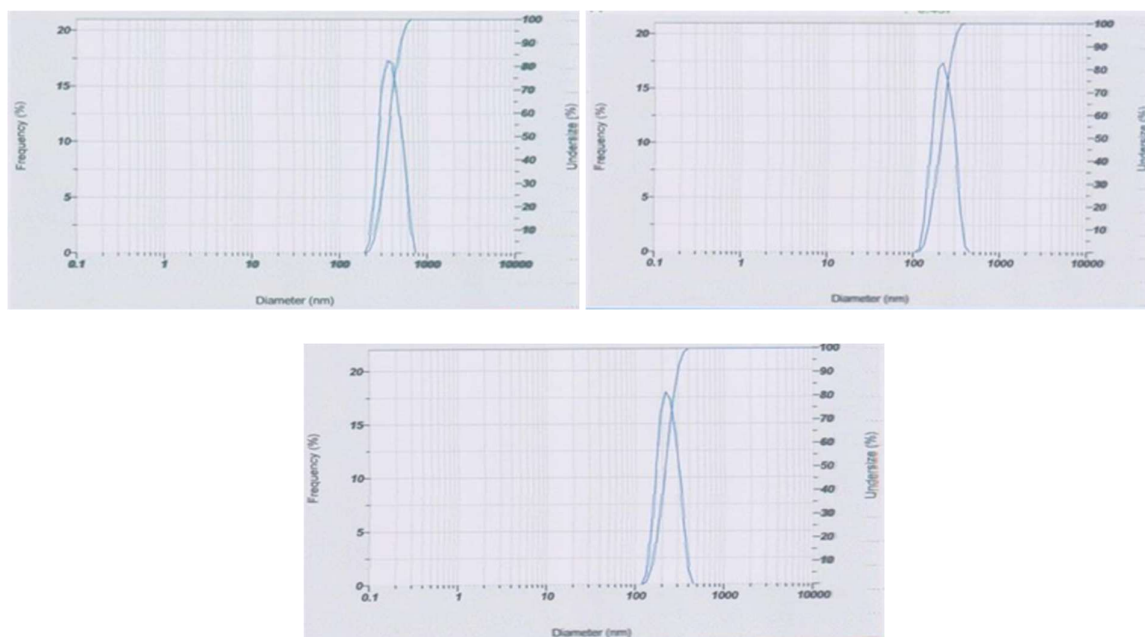
Hasil pengujian ukuran partikel dan indeks polidispersitas transfersom ekstrak jahe merah menunjukkan bahwa indeks polidispersitas (PDI) formula I sebesar $0,469 \pm 0,15$; formula II sebesar $0,491 \pm 0,03$; dan formula III sebesar $0,470 \pm 0,04$. Secara umum, nilai PDI berkisar antara 0 dan 1, di mana nilai $<0,3$ mengindikasikan sistem monodispers (homogen), sedangkan nilai $>0,7$ menunjukkan sistem polidispers (heterogen). Ketiga formula memiliki nilai PDI mendekati 0,5, yang menunjukkan sistem memiliki distribusi ukuran partikel yang relatif seragam, meskipun belum termasuk kategori monodispers sempurna. Formula I memiliki nilai PDI terendah di antara ketiga formula, menandakan sistem dengan distribusi ukuran partikel paling homogen, sedangkan formula II menunjukkan nilai PDI sedikit lebih tinggi, menandakan variasi ukuran partikel yang lebih besar dalam sistem.

Grafik distribusi ukuran partikel transfersom ekstrak jahe merah dari formula I, II dan III (Gambar 3) menunjukkan hasil pengukuran ukuran partikel transfersom menunjukkan formula I memiliki rata-rata ukuran partikel sebesar $337,3 \pm 3,61$ nm, formula II sebesar $274,7 \pm 4,46$ nm, dan formula III sebesar $261,8 \pm 3,40$ nm. Seluruh formula memenuhi kriteria ukuran nanopartikel, yaitu berada dalam rentang 1–1000 nm. Formula III menghasilkan ukuran partikel terkecil, yang secara teoritis dapat meningkatkan luas permukaan dan potensi penetrasi zat aktif. Namun, dari aspek kestabilan distribusi ukuran, formula I menunjukkan keunggulan karena memiliki distribusi ukuran partikel yang lebih homogen. Hal ini mengindikasikan bahwa pemilihan formula perlu mempertimbangkan keseimbangan antara ukuran partikel dan homogenitas sistem untuk memperoleh karakteristik transfersom yang optimal.

3.1.2. Potensial zeta

Pengukuran potensial zeta merupakan karakterisasi yang berkaitan dengan besar muatan listrik pada permukaan partikel dalam sistem nanopartikel. Tujuan dari pengukuran ini adalah

untuk mengevaluasi stabilitas sistem koloid dan menentukan apakah partikel dalam suspensi cenderung mengalami agregasi atau tetap terdispersi secara stabil.



Gambar 3. Grafik distribusi ukuran partikel transfersom ekstrak jahe merah dari formula I,II dan III.

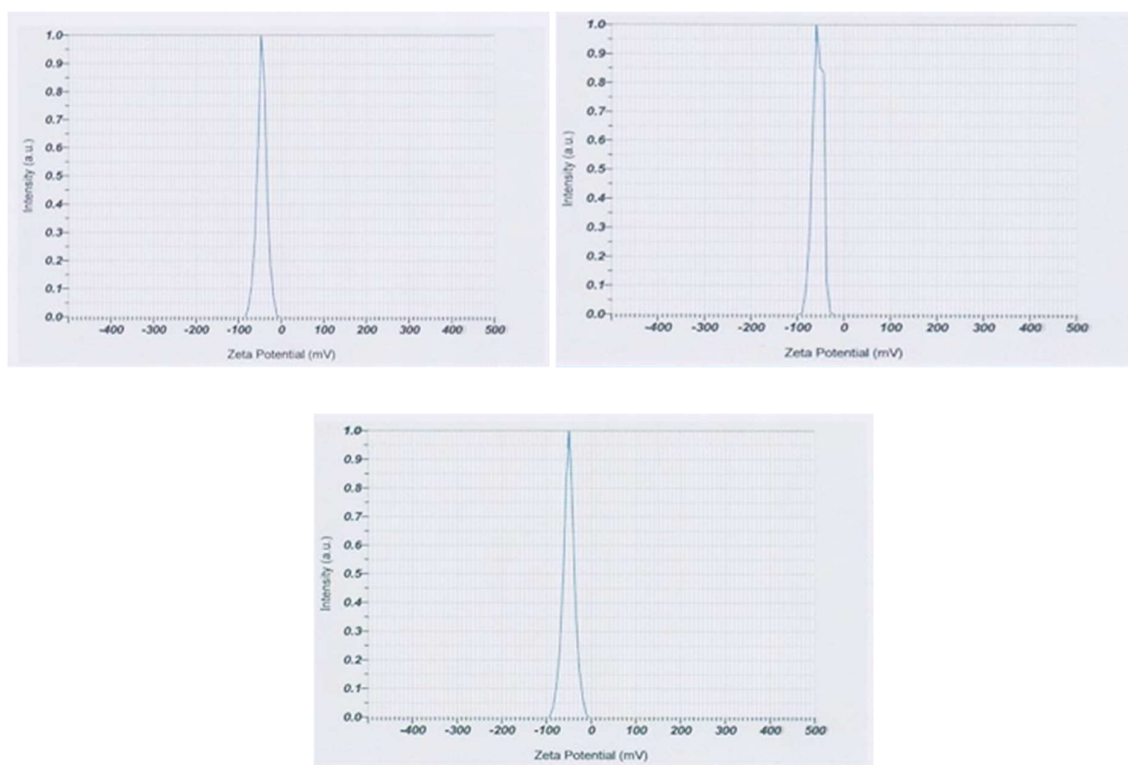
Suatu sistem dikatakan stabil apabila memiliki nilai zeta potensial lebih dari +30 mV atau kurang dari -30 mV. Nilai tersebut menunjukkan bahwa gaya tolak antar partikel bermuatan cukup besar untuk mencegah terjadinya agregasi. Hasil pengukuran potensial zeta dari ketiga formula transfersom ekstrak jahe merah (Tabel 5). Semakin tinggi (positif atau negatif) nilai zeta potensial, semakin besar kecenderungan partikel untuk tetap terdispersi, dan semakin kecil kemungkinan terjadinya penggumpalan atau agregasi dalam suspensi.

Tabel 5. Hasil pengukuran potensial zeta transfersom ekstrak jahe merah dari formula I,II dan III.

Formula	Potensial zeta (mV)
1	-45,4 ± 0,62
2	-48,6 ± 0,75
3	-49,9 ± 0,91

Hasil pengukuran zeta potensial menunjukkan bahwa formula I memiliki nilai -45,4 ± 0,62 mV; formula II sebesar -48,6 ± 0,75 mV; dan formula III sebesar -49,9 ± 0,91 mV. Nilai-nilai tersebut berada di bawah ambang stabilitas sistem koloid, yaitu ±30 mV, yang menunjukkan bahwa semua formula memiliki potensi tolak antartpartikel yang cukup besar untuk mencegah agregasi. Antara ketiganya, formula III menunjukkan nilai zeta potensial paling besar secara absolut, mengindikasikan kestabilan sistem yang lebih tinggi dibandingkan

formula lainnya. Nilai negatif pada zeta potensial diperoleh dari gugus fosfat pada fosfatidilkolin, komponen utama lipid dalam sistem transfersom. Gugus ini memberikan muatan negatif yang berkontribusi terhadap kestabilan elektrostatis partikel. Semakin besar konsentrasi lipid (dalam hal ini fosfatidilkolin), maka semakin besar pula nilai negatif zeta potensial yang terbentuk. Penggunaan fosfolipid dalam rentang konsentrasi 5%–10% w/v telah terbukti mampu menghasilkan nilai zeta potensial -30 mV, yang tergolong sistem stabil. Formula III, dengan kandungan fosfatidilkolin tertinggi sebesar 9%, sesuai dengan batas atas konsentrasi tersebut. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa formula III memiliki kestabilan koloid paling baik berdasarkan parameter zeta potensial, sesuai dengan batas literatur dan prinsip sistem nanopartikel stabil (Danaei, 2018; Bozzuto & Molinari, 2015).

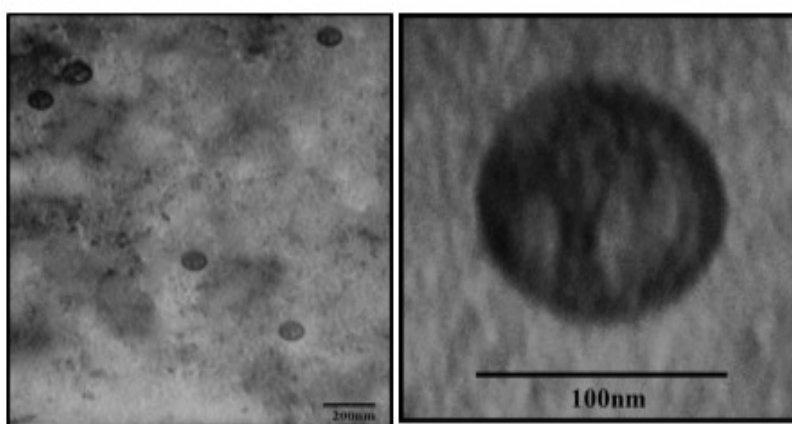


Gambar 3. Grafik potensial zeta transfersom ekstrak jahe merah formula I, II dan III.

3.1.3. Morfologi transfersom

Morfologi transfersom dapat dilihat secara makroskopis dengan menggunakan alat *Transmission Electron Microscopy* (TEM). Pengukuran menggunakan TEM diharapkan *nano vesikel* memiliki bentuk sferis dan tidak berpori, sehingga memperkecil kontak antar partikel karena dapat menyebabkan pengendapan. Pengendapan tersebut disebabkan karena adanya agregasi yang bisa menyebabkan *nano vesikel* tidak stabil. Pada penelitian kali ini diperoleh hasil yang sferis dengan perbesaran 30.000 kali pada tegangan 80 Kv. Hasil *nano vesikel* yang berbentuk sferis dan tidak berpori diharapkan stabil dan tidak terjadi agregasi antar partikel (Gambar 4).

Ketiga formula transfersom yang telah dikarakterisasi dipilih salah satu yang terbaik untuk di lihat bentuk morfologi transfersomnya. Formula III dipilih karena memiliki karakteristik paling baik berdasarkan nilai distribusi ukuran partikel dan zeta potensial. Hasil pengamatan bentuk morfologi menggunakan *transmission electron microscopy* didapatkan bentuk partikel yang sferis dan jarak antara partikel sangat jauh. Hal ini sesuai dengan nilai potensial zeta yaitu jika semakin negatif atau semakin positif maka jarak antara partikel akan semakin jauh. Pengujian ini diharapkan menghasilkan nanovesikel yang stabil dan tidak ada agregasi yang terjadi antar partikel. Konsentrasi fosfatidilkolin yang lebih tinggi dalam formula III berperan penting dalam pembentukan bentuk vesikel yang utuh dan sferis. Fosfatidilkolin adalah komponen utama pembentuk bilayer lipid, sehingga konsentrasi tinggi menghasilkan struktur vesikel yang lebih stabil dan simetris. Sebaliknya, penurunan konsentrasi Span 80, yang berfungsi sebagai surfaktan non-ionik (*edge activator*), mencegah kelebihan fleksibilitas yang bisa menyebabkan deformasi bentuk. Kombinasi ini menghasilkan morfologi partikel yang optimal dengan distribusi seragam. Oleh karena itu, formula III tidak hanya unggul secara ukuran dan kestabilan, tetapi juga menghasilkan morfologi partikel yang baik.



Gambar 4. Morfologi transfersom formula III yang diamati menggunakan *Transmission Electron Microscope* (TEM).

3.1.4. Efisiensi penjerapan

Perhitungan efisiensi penjerapan dilakukan untuk mengetahui berapa banyak ekstrak yang terjepap didalam *nano vesikel*. Data efisiensi penjerapan transfersom ekstrak jahe merah formula I sebesar 62,29%, formula II sebesar 69,94%, dan formula III sebesar 97,57% pada tiga variasi formula Fosfatidilkolin dan Span 80 (Tabel 6). Formula III menunjukkan efisiensi penjerapan tertinggi. Peningkatan efisiensi penjerapan ini diduga disebabkan oleh konsentrasi fosfolipid yang lebih tinggi dalam formula III, yaitu sebesar 9% dibandingkan formula I (6,5%) dan formula II (7%). Fosfolipid berperan sebagai pembentuk vesikel dan tempat terjadinya enkapsulasi senyawa aktif seperti gingerol, sehingga semakin tinggi jumlah fosfolipid, semakin besar pula kapasitas ruang yang tersedia untuk menjerap gingerol. Selain itu, nilai efisiensi penjerapan juga dipengaruhi oleh jumlah surfaktan Span 80 sebagai *edge activator*. Formula

III mengandung Span 80 paling sedikit (1%) dibandingkan formula I (3,5%) dan formula II (3%). Semakin sedikit konsentrasi surfaktan, maka integritas membran lipid akan lebih kuat dan stabil, sehingga mencegah kebocoran senyawa aktif dan meningkatkan efisiensi penyerapan.

Tabel 6. Hasil efisiensi penyerapan transfersom ekstrak jahe merah pada tiga variasi formula Fosfatidilkolin dan Span 80.

Formula	Efisiensi penyerapan (%)
1	62,29
2	69,94
3	97,57

Tiga formula dibuat untuk mengevaluasi pengaruh variasi rasio fosfolipid terhadap karakteristik transfersom secara menyeluruh, termasuk ukuran partikel, indeks polidispersitas, zeta potensial, dan efisiensi penyerapan. Konsentrasi fosfolipid dan surfaktan secara bertahap dapat memengaruhi stabilitas dan kemampuan enkapsulasi sistem lipid. Belum ada formula baku untuk ekstrak gingerol dalam sistem transfersom, maka diperlukan tahapan optimasi awal dengan membandingkan tiga variasi untuk mendapatkan formula terbaik. Formula III dipilih berdasarkan hasil uji karakterisasi karena menunjukkan nilai terbaik pada hampir seluruh parameter yang ditetapkan (Danaei, 2018; Bozzuto & Molinari, 2015).

3.2. Hasil formulasi mikrokapsul transfersom ekstrak jahe merah

Metode *spray drying* merupakan salah satu teknik enkapsulasi yang digunakan untuk membuat mikrokapsul kering. Dalam metode ini, bahan aktif didispersikan dalam larutan penyulut (*wall material*), kemudian disemprotkan ke dalam aliran udara panas, sehingga membentuk partikel kering. Mikrokapsul transfersom ekstrak rimpang jahe merah dalam penelitian ini diformulasikan dari formula terbaik, yaitu formula III, yang memiliki karakteristik unggul pada hampir seluruh parameter: ukuran partikel terkecil, distribusi ukuran partikel homogen (PDI rendah), nilai zeta potensial tinggi (negatif stabil), morfologi sferis, dan efisiensi penyerapan tertinggi. Suspensi transfersom formula III kemudian dicampur dengan larutan maltodekstrin (7,2%) dan gom arab (4,8%) sebagai bahan penyalut, lalu dikeringkan menggunakan alat *spray dryer* dengan suhu udara panas yang dikendalikan untuk menjaga stabilitas gingerol selama proses berlangsung.

Maltodekstrin dipilih karena bersifat larut air, memiliki viskositas rendah, dan mampu membentuk matriks semprot kering yang baik. Sementara itu, gom arab berfungsi sebagai penstabil dan agen pengemulsi, serta umum digunakan dalam teknologi enkapsulasi karena sifat film-forming-nya yang baik. Gambar 5 menunjukkan serbuk mikrokapsul hasil proses *spray drying* dari formula transfersom terbaik (Formula III). Kombinasi kedua bahan ini mendukung pembentukan mikrokapsul stabil yang dapat melindungi senyawa aktif dari degradasi panas dan memperpanjang stabilitas penyimpanan. Metode *spray drying* dipilih karena relatif efisien,

mudah dioperasikan, serta lebih hemat energi dan waktu dibanding metode pengeringan lainnya.



Gambar 5. Serbuk mikrokapsul hasil spray drying dari formula transfersom terbaik (Formula III) menggunakan maltodekstrin dan gom arab sebagai penyalut.

3.3. Hasil karakterisasi mikrokapsul transfersom ekstrak jahe merah

3.3.1. Particle Size Analyzer

Pengukuran ukuran partikel, indeks polidispersitas (PDI), dan zeta potensial dilakukan menggunakan alat *particle size analyzer* yang bekerja berdasarkan prinsip hamburan cahaya akibat pergerakan acak (*Brownian motion*) partikel dalam suspensi. Partikel berukuran lebih kecil bergerak lebih cepat, sehingga menyebabkan fluktuasi hamburan cahaya yang lebih tinggi. Ukuran partikel formula III di peroleh hasil $433,76 \pm 2,91$ dan indeks polidispersitas $0,403 \pm 0,09$. Nilai PDI digunakan untuk menggambarkan tingkat keseragaman distribusi ukuran partikel dalam sistem. PDI berkisar antara 0–1; sistem dikatakan homogen jika nilai PDI $<0,3$ dan heterogen jika PDI $>0,7$. Semakin kecil nilai PDI, semakin seragam distribusi ukuran partikel dalam sistem.

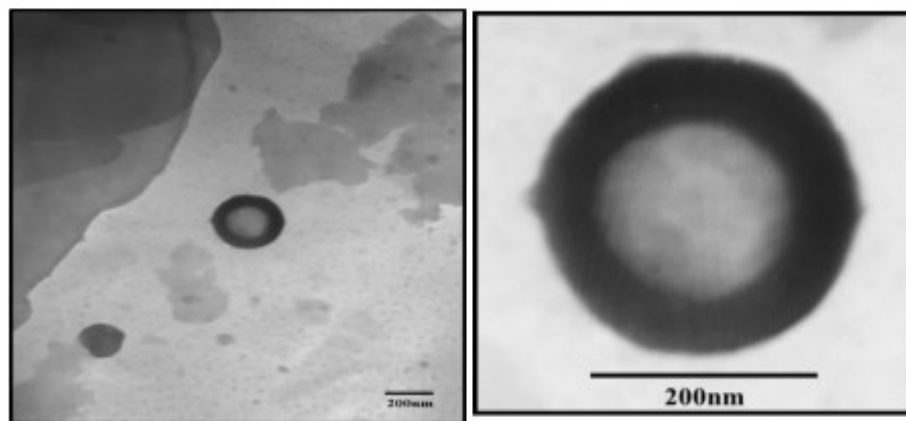
Hasil pengujian menunjukkan bahwa mikrokapsul transfersom ekstrak jahe merah memenuhi persyaratan ukuran partikel, yaitu berada dalam rentang 5 – 5000 nm (Ariani *et al.*, 2023). Nilai PDI sebesar $0,403 \pm 0,09$ menunjukkan distribusi ukuran partikel yang relatif seragam dan mengindikasikan kestabilan sistem yang baik, karena tidak mudah beragregasi atau terdegradasi. Dibandingkan dengan ukuran partikel sebelum mikroenkapsulasi, terjadi peningkatan ukuran setelah proses mikroenkapsulasi, yang disebabkan oleh penambahan bahan penyalut berupa gom arab dan maltodekstrin yang memebentuk matriks pelindung di sekitar partikel. Selain itu, proses penyimpana juga dapat memengaruhi ukuran partikel, karena sifat higroskopis gom arab memungkinkan terjadinya penyerapan air yang memicu agregasi partikel. Ukuran partikel mikrokapsul yang dihasilkan melalui metode *spray dryer* juga dipengaruhi oleh viskositas larutan, laju penyemprotan dan ukuran *nozzle* pada alat. Peningkatan laju penyemprotan dan viskositas larutan cenderung menghasilakn ukuran ukuran partikel mikrokapsul yang lebih besar.

3.3.2. Zeta potensial mikrokapsul transfersom

Pengukuran zeta potensial merupakan metode karakterisasi untuk mengetahui stabilitas mikrokapsul berdasarkan muatan permukaan partikel. Suatu sistem dikatakan stabil apabila nilai zeta potensialnya lebih besar dari +30 mV atau lebih kecil dari -30 mV. Nilai ini menunjukkan adanya gaya tolak-menolak antar partikel yang cukup kuat untuk mencegah terjadinya agregasi. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa zeta potensial formula I sebesar $-32,2 \pm 1,44$ mV. Nilai ini memenuhi batas stabilitas koloid karena berada di bawah -30 mV, yang berarti partikel cenderung stabil dalam suspensi. Penurunan nilai zeta potensial dibandingkan formula awal kemungkinan disebabkan oleh proses penyimpanan mikrokapsul yang terlalu lama, menyebabkan jarak antar partikel menjadi lebih sempit akibat penyusutan ruang partikel (Kosasih *et al.*, 2021).

3.3.3. Morfologi mikrokapsul transfersom

Morfologi transfersom dapat dilihat secara makroskopis dengan menggunakan alat *Transmission Electron Microscopy* (TEM). Dalam pengukuran menggunakan TEM diharapkan mikrokapsul memiliki bentuk sferis, sehingga memperkecil kontak antar partikel karena dapat menyebabkan pengendapan. Pengendapan tersebut disebabkan karena adanya agregasi yang bisa menyebabkan mikrokapsul transfersom tidak stabil. Pada penelitian kali ini diperoleh hasil yang sferis dengan perbesaran 30.000 kali pada tegangan 80 Kv. Hasil tersebut dilihat bahwa inti terlapis dengan baik oleh polimer. Dengan hasil nano vesikel yang berbentuk sferis diharapkan stabil dan tidak terjadi agregasi antar partikel. (Christian & Rahmat, 2022)



Gambar 6. Morfologi mikrokapsul transfersom formula III hasil pengamatan menggunakan *Transmission Electron Microscopy* (TEM) pada perbesaran 30.000 kali dan tegangan 80 kV.

3.3.4. Efisiensi penyerapan mikrokapsul transfersom

Tujuan pengujian efisiensi penyerapan adalah untuk mengetahui seberapa banyak zat aktif (gingerol) yang berhasil terjerap ke dalam sistem mikrokapsul. Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 9, nilai efisiensi penyerapan formula III setelah proses mikrokapsulasi adalah sebesar 96,95%, sedikit menurun dibanding nilai penyerapan awal sebelum mikrokapsulasi sebesar 97,57%. Penurunan ini diduga terjadi akibat proses spray drying yang melibatkan

pemanasan dan penguapan pelarut, yang dapat menyebabkan sebagian kecil zat aktif menguap atau tertinggal di luar matriks penyalut, sehingga tidak terjerap sepenuhnya.

Meski demikian, nilai efisiensi penjerapan tetap tinggi karena formula yang digunakan berasal dari formula transfersom terbaik dengan struktur vesikel yang stabil. Penambahan maltodekstrin dan gom arab sebagai bahan penyalut berperan penting dalam mempertahankan kestabilan zat aktif selama proses pengeringan. Maltodekstrin memiliki viskositas rendah dan mudah membentuk matriks, sementara gom arab berfungsi sebagai pengemulsi alami dan memperkuat daya lekat matriks terhadap permukaan vesikel, sehingga tetap mampu menjerap zat aktif dengan efisien. Dengan demikian, meskipun terjadi sedikit penurunan, nilai efisiensi penjerapan setelah mikrokapsulasi masih berada dalam kategori sangat baik dan layak untuk dikembangkan lebih lanjut.

4. KESIMPULAN

Ekstrak jahe merah (*Zingiber officinale* var. *rubrum*) berhasil diformulasikan dalam sistem transfersom dengan karakteristik terbaik pada formula III, yang ditunjukkan oleh ukuran partikel 261,8 nm, PDI 0,470, zeta potensial -49,9 mV, dan efisiensi penjerapan 97,57%. Proses mikrokapsulasi menggunakan maltodekstrin dan gom arab menghasilkan mikrokapsul yang stabil secara fisikokimia dengan efisiensi penjerapan sebesar 96,95%. Temuan ini menunjukkan bahwa sistem transfersom dan mikrokapsul berpotensi meningkatkan stabilitas serta efektivitas penghantaran gingerol.

DEKLARASI KONFLIK KEPENTINGAN

Tidak ada konflik kepentingan pada penulisan dan publikasi artikel ini

DAFTAR PUSTAKA

- Ambarwati, R., & Yulianita. (2022). Formulasi transfersom ekstrak daun pandan wangi (*Pandanus amaryllifolius*. R) dengan variasi konsentrasi fosfolipid dan tween 80 sebagai pembentuk vesikel. *Jurnal Ilmu Kefarmasian*, 3(2), 261–267. <https://journal.ummat.ac.id/index.php/farmasi/article/view/7630/pdf>
- Ariani, L., Kartiningsih, K., & Purwaningrum, S. Y. (2023). Penggunaan Etil Selulosa dan Metil Selulosa dalam Preparasi Mikrokapsul Metformin Hidroklorida. *Jurnal Farmamedika (Pharmamedica Journal)*, 8(2), 192–199. <https://doi.org/10.47219/ath.v8i2.267>
- Bozzuto, G., & Molinari, A. (2015). Liposomes as nanomedical devices. *International Journal of Nanomedicine*, 10, 975–999. <https://doi.org/10.2147/IJN.S68861>
- Christian, Y. E., & Rahmat, D. (2022). Formulation of Nanoemulgel of Cantigi Leaf Extract (*Vaccinium varingiaefolium* Miq.) as an Antioxidant. *Majalah Farmasetika*, 7(5), 478–493. <https://doi.org/https://doi.org/10.24198/mfarmasetika.v7i5.39789>
- Chuddin, M., & Swasono, M. A. H. (2023). Optimasi ampas jahe merah (*Zingiber officinale* var *rubrum*) sebagai essential oils terintegrasi metode eae (enzyme – assisted extraction) dan destilasi fraksinasi. *Teknologi Pangan : Media Informasi Dan Komunikasi Ilmiah Teknologi Pertanian*, 14(2), 3214. <https://doi.org/10.35891/tp.v14i2.3214>
- Damar Adi Prasetyo. (2022). Pengaruh Metode Ekstraksi Terhadap Kadar Flavonoid Total Ekstrak Jahe Merah (*Zingiber Officinale* Var *Rubrum*). *Journal of Holistics and Healths Scienece*, 4(1), 192–201. <https://doi.org/https://doi.org/10.35473/jhhs.v4i1.143>

- Danaei, M. (2018). Impact of particle size and polydispersity index on the clinical applications of lipidic nanocarrier systems. *Pharmaceutics*, 10(2), 1–17. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics10020057>
- Devi, I. G. (2019). Pengaruh Nilai Hydrophile-Liphophile Balance (HLB) dan Jenis Ekstrak terhadap Karakteristik Krim Kunyit-Lidah Buaya (*Curcuma domestica* val.-Aloe Vera). *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian Agrotechno*, 4(2), 54–61. <https://doi.org/10.24843/jitpa.2019.v04.i02.p01>
- Fizriani, R., Nurlathifah, L., Milena, W. O., Rahayu, I., & Nur, T. (2021). Formulasi Minuman Herbal Antioksidan Jahe Merah. *Jurnal Ilmiah Farmasi Farmasyifah*, 4(2), 79–86. <https://journal.ummat.ac.id/index.php/index/oai>
- Jayanudin, Fahrurrozi, M., Wirawan, S. K., & Rochmadi. (2019). Preparation of Chitosan Microcapsules Containing Red Ginger Oleoresin Using Emulsion Crosslinking Method. *Journal of Applied Biomaterials and Functional Materials*, 17(1). <https://doi.org/10.1177/2280800018809917>
- Jayanudin, J., Lestari, R. S. D., Fathurohman, A., & Dewo, S. (2021). Microencapsulation of red ginger oleoresin in maltodextrin and carrageenan using spray drying. *Teknika: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 17(2), 217. <https://doi.org/10.36055/tjst.v17i2.12704>
- Jayanudin, J., Rochmadi, R., Fahrurrozi, M., & Wirawan, S. K. (2018). Persamaan Empiris Sederhana untuk Memprediksikan Ukuran Partikel dari Enkapsulasi Oleoresin Jahe Merah. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 14(2), 178. <https://doi.org/10.20961/alchemy.14.2.17076.178-192>
- Jayanudin, J., Rochmadi, R., Yulvianti, M., Imanudin, A., & Rina Sari, T. (2017). Kinetika Release Mikrokapsul Oleoresin Jahe Merah. *Reaktor*, 16(3), 128. <https://doi.org/10.14710/reaktor.16.3.128--140>
- Kosasih, K., Sumaryono, W., Mudhakir, D., Supriyono, A., Christian, Y. E., & Debora, R. (2021). Effects of Gelatin and Glutaraldehyde Concentrations on Characteristics of Cantigi (*Vaccinium Varingiaefolium* Miq.) Extract Loaded Gelatin Nanoparticles As Antioxidant. *Journal of Halal Product and Research*, 4(1), 1–7. <https://doi.org/10.20473/jhpr.vol.4-issue.1.1-7>
- Kuncahyo, I., Resmi, J. K., & Muchalal, M. (2021). Pengaruh Perbandingan Tween 80 dan Fosfatidilkolin Pada Formulasi Transfersom Naringenin dan Kajian Permeasi Berbasis Hidrogel. *JPSCR: Journal of Pharmaceutical Science and Clinical Research*, 6(3), 327. <https://doi.org/10.20961/jpscr.v6i3.50738>
- Kusumasari, F. C. (2023). Pengaruh Perbandingan Obat-Polimer terhadap Karakteristik Fisik Mikrokapsul Simvastatin. *Jurnal Mandala Pharmacon Indonesia*, 9(1), 111–118. <https://doi.org/10.35311/jmpi.v9i1.316>
- Lestari, A. D. N. (2022). Kelarutan dan Swelling Power Mikrokapsul β -Karoten Terenkapsulasi dalam Matriks Pati-Kitosan Terikat Silang Ion Tripolifosfat. *Jurnal Natural*, 18(2), 75–83. <https://doi.org/10.30862/jn.v18i2.184>
- Lestari, N., Iskandarsyah, I., & Jusuf, A. A. (2024). Formulasi dan Karakterisasi Capsaicin Konsentrasi Tinggi dalam Pembawa Transfersom pada Sediaan Gel. *Al Qalam: Jurnal Ilmiah Keagamaan Dan Kemasyarakatan*, 18(1), 765. <https://doi.org/10.35931/aq.v18i1.3025>
- Lianasari, I. Y., Panggabean, A. S., & Yusuf, B. (2024). Kinerja Analitik Mikrokapsul Magnetit - Alginat (MNP-ALG) untuk Analisis Ion Logam Cu (II) dan Aplikasinya pada Sampel Alam. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 10(1), 20–29. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2024.v10.i1.20022>
- Made, N., Widyandari, A. S., Made, I., Mahardika, R., Keberawatan, I., Panca, S., & Jaya, A. (2022). Kompres Hangat Jahe Merah Sebagai Terapi Komplementer Dalam Mengelola Nyeri Gout Arthritis. *Prosiding Simposium Kesehatan Nasional*, 276–282.

- <https://prosiding.poltekkes-denpasar.ac.id/index.php/pskn/article/view/361>
- Munadi, R. (2020). Analisis Komponen Kimia dan Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Rimpang Jahe Meran (*Zingiber officinale* Rosc. Var rubrum). *Cokroaminoto Journal of Chemical Science*, 2(1), 1–6. <https://doi.org/10.30605/cjcs.v2i1.889>
- Nadia, T. D. R. (2023). Potensi Ekstrak Cair dan Mikrokapsul Tanaman Adam Hawa (*Tradescantia spathacea*) Sebagai Indikator Titrasi Asam Basa. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 8(02), 86–97. <https://doi.org/10.23960/aec.v8i02.267>
- Pebrianti, A. S., Halimah, E., & Chaerunisaa, A. Y. (2021). Review Artikel: Metode Pembuatan Transfersom Sebagai Nanocarrier. *Farmaka*, 19(2), 29–35. <https://doi.org/10.24198/farmaka.v19i2.34969>
- Rahmat Santoso, Rahma Ziska, A. D. P. (2019). Formulasi dan Evaluasi Mikrokapsul Salut Enterik Asetosal Menggunakan Penyalut Acryl- Eze®930 dengan Metode Ekstrusi dan Sferonisasi. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 53(1), 1689–1699. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v8i1.44193>
- Rostina Pohan. (2022). Pengaruh Minuman Jahe Merah Terhadap Perubahan Nyeri Disminorhea. *Jurnal Ilmiah PANNMED (Pharmacist, Analyst, Nurse, Nutrition, Midwifery, Environment, Dentist)*, 17(3), 581–585. <https://doi.org/10.36911/pannmed.v17i3.1510>
- Rukhayyah, K. K., Kawareng, A. T., & Sastyarina, Y. (2022). Studi Literatur: Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Jahe Merah (*Zingiber officinale* var. Rubrum) Menggunakan Metode 2,2- diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH). *Proceeding of Mulawarman Pharmaceuticals Conferences*, 15, 242–245. <https://doi.org/10.25026/mpc.v15i1.648>
- Sadih, I., & Indianto, R. (2022). Karakteristik dan Senyawa Fenolik Mikrokapsul Ekstrak Daun Kelor (*Moringa Oleifera*) Dengan Kombinasi Maltodekstrin Dan Whey Protein Isolat. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 32(3), 273–282. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2022.32.3.273>
- Santoso, R., & Aliudin, F. (2020). Kajian Pustaka Formulasi Dan Evaluasi Mikrokapsul Salut Enterik Menggunakan Acryl-Eze® & Sureteric Dengan Metode Penggabungan Mikroenkapsulasi Dengan Ekstrusi-Sferonisasi. *Jurnal Riset Kefarmasian Indonesia*, 2(3), 122–136. <https://doi.org/10.33759/jrki.v2i3.89>
- Sari, W. P., Tamara, S., Permatasari, S., & Andini, S. (2019). Formulasi Gel Transfersom Limbah Kulit Bawang Merah (*Allium cepa*. L) Menggunakan Perbandingan Fosfolipid dan Surfaktan (Formulation of Transfersome Gel Preparation of Waste Red Onion (*Allium cepa*. L) Tunic Using Phosfolipid and Surfactant). *Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 18(1), 88–95. <https://doi.org/10.22435/jifi.v18i1.980>
- Sholikhati, A., Kurnia, S. D., & Farikhah, L. (2023). Senyawa fitokimia dan aktivitas farmakologis pada jahe merah (*Zingiber officinale* var. rubrum): Review. *Prosiding University Research Colloquium*, 16(1), 82–94. <http://repository.urecol.org/index.php/proceeding/article/view/2422>
- Sitti Zubaydah, W. O., Suryani, S., & Kurniawati, N. J. (2022). Optimasi Fosfatidilkolin dan Span 80 sebagai Penyusun Vesikel Transfersom Natrium Diklofenak menggunakan Design-Expert. *Journal of Food and Pharmaceutical Sciences*, 10(3), 709–720. <https://doi.org/10.22146/jfps.5581>
- Srikandi, S., Humaeroh, M., & Sutamihardja, R. (2020). Kandungan Gingerol Dan Shogaol Dari Ekstrak Jahe Merah (*Zingiber Officinale* Roscoe) Dengan Metode Maserasi Bertingkat. *Al-Kimiya*, 7(2), 75–81. <https://doi.org/10.15575/ak.v7i2.6545>
- Sugiarti, L., & Suwandi. (2017). Gingerol Pada Rimpang Jahe Merah (*Zingiber Officinale*, Roscoe) Dengan Metode Perkolasi Termodifikasi Basa. *Jurnal Sains Natural*, 1(2), 156. <https://doi.org/10.31938/jsn.v1i2.25>

- Syafanisa Alifia Rahma, Aulia Fikri Hidayat, & Fitrianti Darusman. (2022). Formulasi dan Karakterisasi Transfersom Andrografolid. *Bandung Conference Series: Pharmacy*, 2(2), 154–161. <https://doi.org/10.29313/bcsp.v2i2.3751>
- Wiraputra, M. D., Nurchayati, Y., Hastuti, E. D., & Setiari, N. (2024). Rendemen Minyak Atsiri Rimpang Jahe Merah (*Zingiber officinale* var. *rubrum*) dengan Metode Pengeringan yang Dikombinasi dengan Kain Penutup. *Buletin Anatomi Dan Fisiologi*, 9(1), 66–74. <https://doi.org/10.14710/baf.9.1.2024.66-74>