Pharmaceutical and Biomedical Sciences Journal
Volume 8(1), June 2026, 10-20

Aktivitas Antioksidan Mikroenkapsulasi Daun Pala Menggunakan Maltodekstrin dan Gom Arab dengan Teknik *Spray Drying*

Sabrina Dahlizar[1], Della Irsalina[1], Nelly Suryani[1], Ofa Suzanti Betha[1], Estu Mahanani Dhilasari[1*], Sofa Fajriah[2], Maulina Handayani[3], Mutia Sari Wardana[4]
[1]Prodi Farmasi, Fakultas Ilmu Kesehatan, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, Jl. Kertamukti No. 5, Pisangan, Ciputat, Tangerang Selatan 15419, Indonesia
[2]Laboratorium Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (Puspiptek), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Jl. Raya Serpong, Tangerang Selatan 15314, Indonesia
[3]Prodi Keperawatan, Fakultas Ilmu Kesehatan, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, Jl. Kertamukti No. 5, Pisangan, Ciputat, Tangerang Selatan 15419, Indonesia
[4]Prodi Farmasi, Fakultas Ilmu Kesehatan dan Teknologi, Universitas Binawan, Jl. Kalibata Raya-Dewi Sartika No. 25-30, Jakarta Timur Jakarta 13630, Indonesia

**Corresponding author:* estu.maharani@uinjkt.ac.id

Received: 28 April 2025; Accepted: 9 June 2026

Abstract: Nutmeg leaves (*Myristica fragrans* H.) are a rich source of various types of phenolic compounds that have exhibited a strong correlation with antioxidant capacity. The inherent instability of phenolic compounds poses significant challenges for their application in the pharmaceutical sector. Spray–drying microencapsulation has emerged as a promising strategy to overcome these challenges. The research aims to evaluate the physicochemical properties and the antioxidant activity of the spray-dried microcapsule of nutmeg leaves. There are variations in extract: encapsulant concentration, including FM-1 (1:2), FM-2 (1:3), and FM-3 (1:4), with a 1:1 encapsulant ratio between maltodextrin and gum arabic. The spray-dried nutmeg leaves were evaluated for morphology, particle size distribution, yield, moisture content, flowability, angle of repose, and encapsulation efficiency. Additionally, antioxidant activity tests were conducted using the DPPH method. The research showed that microcapsules of each formula have spherical and wrinkled shapes. The characteristics of the microcapsules for each formula yield 29.63%, 33.23%, and 33.85%, with moisture content of 7.31%, 9.32%, and 10.01%. The particle sizes measured were 4.58 µm, 5.55 µm, and 7.16 µm; flow rates were 0.59 g/s, 0.75 g/s, and 1.04 g/s; angles of repose were 41.71 ˚, 37.7 ˚, and 36.72 ˚, respectively (FM-1, FM-2, FM-3). The encapsulation efficiencies were 46.63%, 34.32%, 25.66%, respectively. The nutmeg leaves extract exhibited very strong antioxidant activity, with an IC_{50} value of 36.1 ppm. In contrast, the antioxidant activity of the microcapsules was relatively weak, with IC_{50} values of 239.07 ppm, 555.29 ppm, and 755.84 ppm, respectively (FM-1, FM-2, FM-3). This study showed that the spray-dried microcapsules of nutmeg leaves from the three formulas have morphologies, particle size distribution, angle of repose, and moisture content that met the requirements. However, the yield, flow rate, and encapsulation efficiency have not met the requirements.

Keywords: antioxidant; gum arabic; maltodextrin; microencapsulation; nutmeg leaves; spray drying

Abstrak: Senyawa fenolik pada daun pala (*Myristica fragrans* H.) diketahui berkontribusi dalam menghasilkan aktivitas antioksidan. Ketidakstabilan senyawa fenolik menimbulkan keterbatasan dalam pemanfaatan daun pala. Permasalahan tersebut dapat diatasi melalui proses mikroenkapsulasi dengan teknik pengeringan semprot (*spray drying*). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik fisik dan aktivitas antioksidan dari serbuk mikrokapsul daun pala yang dihasilkan melalui teknik *spray drying*. Terdapat 3 formula dengan variasi komposisi ekstrak:enkapsulan, yaitu FM-1 (1:2), FM-2 (1:3), dan FM-3 (1:4), serta menggunakan perbandingan enkapsulan 1:1 antara maltodekstrin dengan gom arab. Karakteristik fisik serbuk mikrokapsul yang dievaluasi meliputi, bentuk dan morfologi, distribusi ukuran partikel, rendemen mikrokapsul, kadar air, laju alir, sudut reposa, dan efisiensi enkapsulasi. Uji aktivitas antioksidan dilakukan menggunakan metode DPPH. Morfologi mikrokapsul seluruh formula menunjukkan bentuk sferis dan berkerut. Karakteristik dari mikrokapsul tiap formula, secara berturut–turut (FM-1, FM-2, FM-3), menghasilkan nilai rendemen mikrokapsul 29,63%, 33,23%, dan 33,85%; kadar air 7,31%, 9,32%, dan 10,01%. Ukuran partikel 4,58 μm, 5,55 μm, dan 7,16 μm; laju alir 0,59 g/det, 0,75 g/det, dan1,04 g/det; sudut reposa 41,71^o, 37,7^o, dan 36,72^o. Efisiensi enkapsulasi berturut- turut 46,63%, 34,32%,

dan 25,66%. Ekstrak daun pala menunjukan aktivitas antioksidan yang sangat kuat, dengan nilai IC_{50} sebesar 36,1 ppm. Sedangkan aktivitas antioksidan dari mikrokapsul ketiga formula tergolong lemah, dengan nilai IC_{50} secara berturut-turut (FM-1, FM-2, FM-3) adalah 239,07 ppm, 555,29 ppm, dan 755,84 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa serbuk mikrokapsul daun pala dari ketiga formula menghasilkan bentuk dan morfologi, distribusi ukuran partikel, sudut reposa, dan kadar air yang memenuhi persyaratan. Tetapi rendemen mikrokapsul, laju alir, dan efisiensi enkapsulasi belum memenuhi persyaratan.

Kata Kunci: antioksidan, daun pala; gom arab; maltodekstrin; mikroenkapsulasi; pengeringan semprot

DOI: https://doi.org/10.15408/pbsj.v8i1.46181

1. PENDAHULUAN

Penggunaan pala (*Myristica fragrans* H.) pada bidang Panjaitan tentunya peran dari komponen bioaktif yang terkandung di dalamnya. Dibandingkan dengan bagian lainnya, penelitian terkait aktivitas daun pala masih sangat terbatas karena terfokus pada bagian buah. Daun pala mengandung berbagai senyawa bioaktif, seperti senyawa alkaloid, triterpenoid, tanin, flavonoid, dan fenolik (Fawwaz *et al*., 2017; Putri *et al*., 2023). Senyawa fenolik berperan penting pada pengobatan serta pencegahan munculnya penyakit, termasuk sebagai antioksidan. Namun, senyawa fenolik bersifat tidak stabil, sensitif terhadap oksigen, dan mudah menguap pada suhu rendah (Yuan, 2021).

Mikroenkapsulasi merupakan metode yang mampu melindungi senyawa fenolik dari degradasi eksternal dan telah terbukti dapat meningkatkan stabilitas dan bioaktivitasnya. Prinsip mikroenkapsulasi adalah membungkus senyawa bioaktif dalam cangkang yang terbuat dari lapisan enkapsulan membentuk mikrokapsul (Mao *et al*., 2018; Osorio-Tobón *et al*., 2016). Mikrokapsul telah banyak digunakan sebagai sistem penghantaran obat karena obat dalam bentuk mikrokapsul mempunyai ukuran partikel yang kecil sehingga distribusi obat dalam saluran percernaan lebih luas serta dapat meningkatkan potensi absorbsi obat (Lachman *et al*., 1994). Selain itu, mikrokapsul dapat meningkatkan kelarutan obat yang sukar larut sehingga mudah terdispersi dalam air. Umumnya, obat dalam bentuk mikrokapsul mempunyai bioavailabilitas yang baik dengan efek samping yang minimal (Kumar *et al*., 2011). Salah satu teknik mikroenkapsulasi yang umum diterapkan dalam industri farmasi adalah pengeringan semprot (*spray drying*).

Spray drying adalah proses pengeringan bahan cair menjadi partikel halus berbentuk serbuk dengan cara mendispersikan bahan tersebut ke dalam udara panas dalam bentuk *droplet*. Teknik ini umum digunakan karena prosesnya sederhana, kualitas bubuk konsisten sepanjang proses pengeringan, pemrosesan berkelanjutan yang dapat dikontrol, serta berlaku untuk material yang sensitif terhadap panas. Pemilihan enkapsulan yang sesuai berperan penting dalam menentukan keberhasilan proses *spray drying*. Enkapsulan mengacu kepada material pelapis atau cangkang yang menyelubungi bahan inti (Mao *et al*., 2018) yang terbukti dapat melindungi senyawa bioaktif dari oksidasi dan penguapan (Aretzy *et al*., 2018). Maltodekstrin termasuk salah satu enkapsulan yang telah banyak digunakan dalam enkapsulasi senyawa bioaktif karena kelarutan dalam air yang tinggi, viskositas dan sifat higroskopis yang rendah, serta daya ikat yang kuat (Avaltroni *et al*., 2004). Selain maltodekstrin, gom arab juga termasuk biopolimer alami yang banyak dimanfaatkan sebagai enkapsulan (Cvitanovi´c *et al*., 2015; Souza *et al*., 2015) karena mampu membentuk matriks pelindung yang kuat sehingga mampu mempertahankan dan melindungi bahan inti dari proses perubahan destruktif (Idham *et al*., 2012; Kang *et al*., 2019).

Beberapa studi melaporkan bahwa penggunaan maltodekstrin sebagai enkapsulan tunggal tidak cukup efektif dalam memberikan perlindungan terhadap degradasi senyawa yang sensitif (seperti senyawa fenolik) serta senyawa hidrofobik (seperti senyawa eugenol, myristicin, dan asam lemak yang banyak terkandung dalam daun pala) (Akdeniz *et al*., 2018; Nguyen *et al*., 2022) sehingga penggunaan maltodekstrin seringkali dikombinasikan dengan enkapsulan lainnya, seperti gom arab, guna membentuk kapsul yang stabil. Kombinasi tersebut dilaporkan telah berhasil mengenkapsulasi minyak kapulaga, *procyanidins* dari biji anggur, dan *betalains* dari ekstrak bit (Mangope, K. et al., 2024) dengan

kualitas, stabilitas, dan efisiensi enkapsulasi yang baik. Ketika gom arab digabungkan dengan maltodekstrin, akan terbentuk ikatan hidrogen dan membentuk lapisan pelindung yang kuat yang dapat melindungi zat aktif dari kerusakan pada saat pemanasan (Priyambodo *et al*., 2023). Maltodekstrin dan gom arab juga termasuk enkapsulan yang paling umum digunakan untuk enkapsulasi senyawa polar *intermediate*, seperti senyawa fenolik (Robert dan Fredes 2015; Robert *et al*., 2010; Saikia *et al*., 2015). Tan *et al.* (2015) mengemukakan bahwa rasio 1:1 antara maltodekstrin/gom arab sebagai enkapsulan merupakan rasio yang paling optimal berdasarkan hasil rendemen, kadar fenolik total, efisiensi enkapsulasi, dan aktivitas antioksidan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik fisik dan aktivitas antioksidan dari mikrokapsul ekstrak daun pala yang dihasilkan melalui metode mikroenkapsulasi dengan teknik pengeringan semprot (*spray drying*) serta penggunaan kombinasi maltodekstrin dan gom arab sebagai enkapsulan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Alat: spray dryer (EYELA SD-1000), *flow tester* (LAS-70091-01190), *moisture balance* (WIGGEN), *centrifuge*, *overhead stirrer* (IKA® RW 20 digital), timbangan analitik (Sartorius), vortex, spektrofotometer UV-Vis (Hitachi), *hot plate* (IKA® C-MAG HS 7), lemari pendingin (Sanyo), viskometer (Brookfield LV), mikropipet, aluminium foil, serta berbagai alat gelas laboratorium.
Bahan: ekstrak etanol 70% daun pala (*Myristica fragrans* H.), reagen dragendorff, reagen Liebermann-Buchard, magnesium, HCl pekat, H_2SO_4 pekat, $FeCl_3$ 5%, gelatin, maltodekstrin, gom arab, etanol p.a., DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil), reagen Folin-Ciocalteu, Na_2CO_3, asam galat, metanol p.a, asam asetat, dan akuades.

2.2 Mikroenkapsulasi Ekstrak Daun Pala dengan Teknik *Spray Drying*

a. Formulasi Mikrokapsul Ekstrak Daun Pala

Terdapat 3 formula yang dibedakan berdasarkan komposisi zat aktif (ekstrak daun pala):enkapsulan (maltodekstrin dan gom arab), yaitu FM-1 (1:2), FM-2 (1:3), dan FM-3 (1:4) sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 1. sebagai berikut.

Tabel 1. Rancangan Formula Mikroenkapsulasi Ekstrak Daun Pala

Bahan	Konsentrasi			Fungsi
	FM-1	FM-2	FM-3	
Ekstrak daun pala (g)	5	5	5	Zat inti
Maltodekstrin (g)	5	7,5	10	Enkapsulan
Gom arab (g)	5	7,5	10	
Etanol (mL)	100	100	100	Pelarut
Akuades (mL)	ad 250	ad 250	ad 250	

Keterangan:
FM-1: formula mikrokapsul 1
FM-2: formula mikrokapsul 2
FM-3: formula mikrokapsul 3

b. Proses Mikroenkapsulasi Ekstrak Daun Pala dengan Teknik Spray Drying

Proses diawali dengan pembuatan larutan zat inti (ekstrak daun pala) dan larutan enkapsulan (maltodekstrin dan gom arab) secara terpisah dengan cara melarutkan masing–masing bahan dalam pelarut yang sesuai. Campuran larutan ekstrak daun pala dan enkapsulan selanjutnya dihomogenisasi menggunakan *homogenizer* selama ±30 menit dengan kecepatan ±1000 rpm. Cairan umpan disemprotkan ke dalam alat *spray dryer* dengan suhu *inlet* 145–150^{o}C, suhu *outlet* 75^{o}C, *blower* 0,43

m^3/min, *atomizing* 3 x 10 kPa, aspirator 100%, *pump* 35%, dan *flow rate* 40 mm (Paini *et al*., 2015). Serbuk yang diperoleh dikumpulkan untuk kebutuhan karakterisasi dan pengujian aktivitas antioksidan. Serbuk mikrokapsul daun pala disimpan pada suhu ±4ºC di dalam wadah yang rapat dan terlindung dari cahaya (Cam *et al*., 2014).

2.3 Karakterisasi Serbuk Mikrokapsul Ekstrak Daun Pala

a. Uji Bentuk dan Morfologi Mikrokapsul

Sampel mikrokapsul sebanyak ±3 g diletakkan pada *sample holder*, lalu permukaannya disalut dengan partikel emas menggunakan *fine coater*. Morfologi mikrokapsul dianalisa menggunakan SEM (*scanning electron morphology*), yang sudah terhubung dengan perangkat komputer, pada intensitas 20 kV menggunakan perbesaran yang telah disesuaikan berdasarkan visualisasi terbaik (Wulandari *et al*., 2019).

b. Uji Distribusi Ukuran Partikel

Pengukuran distribusi ukuran partikel ditentukan dengan menganalisis ukuran setiap partikel, dari mikrograf hasil analisa SEM, menggunakan *software* ImageJ sehingga dihasilkan sejumlah n data ukuran partikel. Data ukuran partikel yang diperoleh diolah lebih lanjut menggunakan *software* Origin-8 untuk mendapatkan distribusi ukuran partikel dari mikrokapsul daun pala dalam bentuk diagram batang. Diagram dianalisis menggunakan pendekatan Gaussian sehingga dihasilkan nilai ukuran partikel rata-rata (Anggraeni, *et al*., 2024).

c. Uji Rendemen Mikrokapsul (%)

Uji rendemen mikrokapsul ditentukan dengan cara menghitung rasio antara bobot mikrokapsul yang dihasilkan terhadap bobot total bahan padat mikrokapsul. Perhitungan dilakukan dengan rumus berikut (Nizori *et al*., 2020).

$$\% \text{ rendemen} = \frac{\text{Wt}}{\text{Wo}} \times 100\ \%$$

dimana, Wt: bobot mikrokapsul yang diperoleh; Wo: bobot total bahan padat

d. Uji Kadar Air

Uji kadar air dilakukan menggunakan *moisture balance*. Alat dipanaskan selama ±15 menit, lalu dilakukan pengaturan suhu menjadi 105ºC. sejumlah 1 g mikrokapsul diletakkan merata di atas wadah alumunium. Nilai kadar air akan terbaca setelah kadar air yang konstan tercapai (Sugindro, 2008).

e. Uji Sifat Alir

Uji laju alir dilakukan menggunakan alat *flow tester*. Sebanyak ± 3 g mikrokapsul dimasukkan ke dalam corong. Secara perlahan, penutup bagian bawah corong dibuka lalu dihitung waktu yang diperlukan mikrokapsul untuk keluar dengan *stopwatch*. Laju alir serbuk dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Laju alir serbuk} = \frac{bobot\ (g)}{waktu\ (detik)}$$

Penentuan sudut reposa dilakukan dengan melakukan pengukuran terhadap ketinggian dan diameter mikrokapsul yang mengalir dengan persamaan sebagai berikut (Anindhita, M. A. et al., 2022).

$$\text{Sudut reposa} = \tan\alpha = \frac{\text{tinggi kerucut}}{\text{jari-jari kerucut}}$$

f. Uji Efisiensi Enkapsulasi

Efisiensi enkapsulasi (%) dihitung dengan rumus sebagai berikut (Cilek *et al*., 2012):

$$\text{EE (\%)} = \frac{(\text{KFT} - \text{KFP})}{\text{KFT}} \times 100$$

dimana, EE: efisiensi enkapsulasi; KFT: kadar fenolik total; KFP: kadar fenolik permukaan.

Kadar fenolik total dan kadar fenolik permukaan dari mikrokapsul daun pala ditentukan menggunakan metode Folin–Ciocalteau (Cilek et al., 2012) dengan beberapa modifikasi.

Penentuan Panjang Gelombang Maksimum (λ_{maks}) dan Penentuan Kurva Kalibrasi Asam Galat

Penentuan λ_{maks} asam galat dilakukan dengan mengukur larutan asam galat 25 ppm pada range λ 600–850 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Andriani dan Murtisiwi, 2018; Cilek et al., 2012).
Kurva kalibrasi asam galat dalam campuran etanol: asam asetat: aquades (50:8:42 v/v) ditentukan pada konsentrasi 20, 40, 60, 80, dan 100 μg/mL, sedangkan kurva kalibrasi asam galat dalam campuran etanol: metanol (50:50 v/v) ditentukan pada konsentrasi 10, 20, 30, 40, dan 50 μg/mL. Ke dalam masing–masing labu yang berisi larutan asam galat dari tiap seri konsentrasi, ditambahkan 2,5 mL Folin Ciocalteu (1:10) dan 2 mL larutan Na_2CO_3 7,5%. Serapan diukur pada λ_{maks} asam galat, lalu dibuat kurva kalibrasi yang menunjukkan kaitan antara absorbansi dengan konsentrasi asam galat (μg/mL) (Andriani dan Murtisiwi, 2018; Cilek *et al*., 2012).

Penentuan Kadar Fenolik Ekstrak Daun Pala dan Mikrokapsul Daun Pala

Dibuat larutan stok ekstrak kental daun pala dengan konsentrasi 1000 μg/mL. Di sisi lain, sebanyak 100 mg mikrokapsul daun pala dicampur dengan 1 mL campuran larutan etanol, asam asetat, dan aquades (50:8:42 v/v) [KFT] serta campuran larutan etanol dan metanol (50:50 v/v) [KFP], kemudian di-vortex dan disentrifugasi. Supernatan diambil dan disaring. Sebanyak 0,5 mL larutan sampel uji dipipet, lalu ditambahkan 2,5 mL Folin Ciocalteu dan 2 mL larutan Na_2CO_3 7,5%. Serapan diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada λ_{maks} asam galat (Andriani dan Murtisiwi, 2018; Cilek et al., 2012).

Rumus perhitungan kadar fenolik (KF), baik total maupun permukaan, adalah sebagai berikut.

$$\text{KF} = \frac{\text{X (µg/mL)} \times \text{faktor pengenceran} \times \text{volume (mL)}}{\text{berat sampel yang digunakan (g)}}$$

2.4 Pengujian Aktivitas Antioksidan Ekstrak dan Mikrokapsul Daun Pala

a. Penentuan Absorbansi DPPH

Larutan stok DPPH 0,4 mM diambil sejumlah 5 mL, lalu di-vortex dan diinkubasi selama $\pm$30 menit pada suhu 37^{o}C di ruangan gelap. Serapan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada λ 400–600 nm sampai diperoleh λ_{maks} (Hasanah *et al*., 2017).

b. Pembuatan dan Pengukuran Larutan Uji Ekstrak dan Mikrokapsul Daun Pala

Dibuat larutan induk ekstrak daun pala 1000 ppm. Di sisi lain, sejumlah 10 mg mikrokapsul digerus di dalam lumpang, lalu dicampur dalam 10 mL metanol p.a. Campuran di-vortex dan disentrifugasi. Supernatan disaring. Larutan induk sampel uji dipipet dan dibuat seri konsentrasi 20, 40, 60, 80, dan 100 ppm. Tiap seri konsentrasi dipipet sejumlah 2 mL, lalu ditambah 2 mL larutan DPPH 0,4 mM diinkubasi area gelap dan terbebas cahaya ±30 menit. Serapan diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada λ_{maks} yang diperoleh dengan vitamin C sebagai kontrol positif (Hasanah *et al*., 2017).

c. Penentuan Persentase Aktivitas Antioksidan dan Nilai IC_{50}

Nilai persentase inhibisi terhadap radikal DPPH dari setiap konsentrasi larutan uji dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\%\text{inhibisi} = \frac{\text{A} - \text{B}}{\text{A}} \times 100\%$$

dimana, A: absorbansi kontrol (DPPH); B: absorbansi sampel
Hasil %inhibisi dari tiap konsentrasi dibuat dalam bentuk kurva hingga diperoleh persamaan y=bx+a, dimana sumbu x menyatakan konsentrasi (ppm) dan sumbu y menyatakan %inhibisi (Angelia, 2022).

d. Penentuan Nilai AAI

AAI (*Antioxidant Activity Index*) merupakan nilai yang merepresentasikan seberapa besar aktivitas antioksidan dari suatu sampel. Nilai AAI dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{AAI} = \frac{konsentrasi\ DPPH\ dalam\ uji\ (ppm)}{nilai\ IC50\ yang\ diperoleh\ (ppm)}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

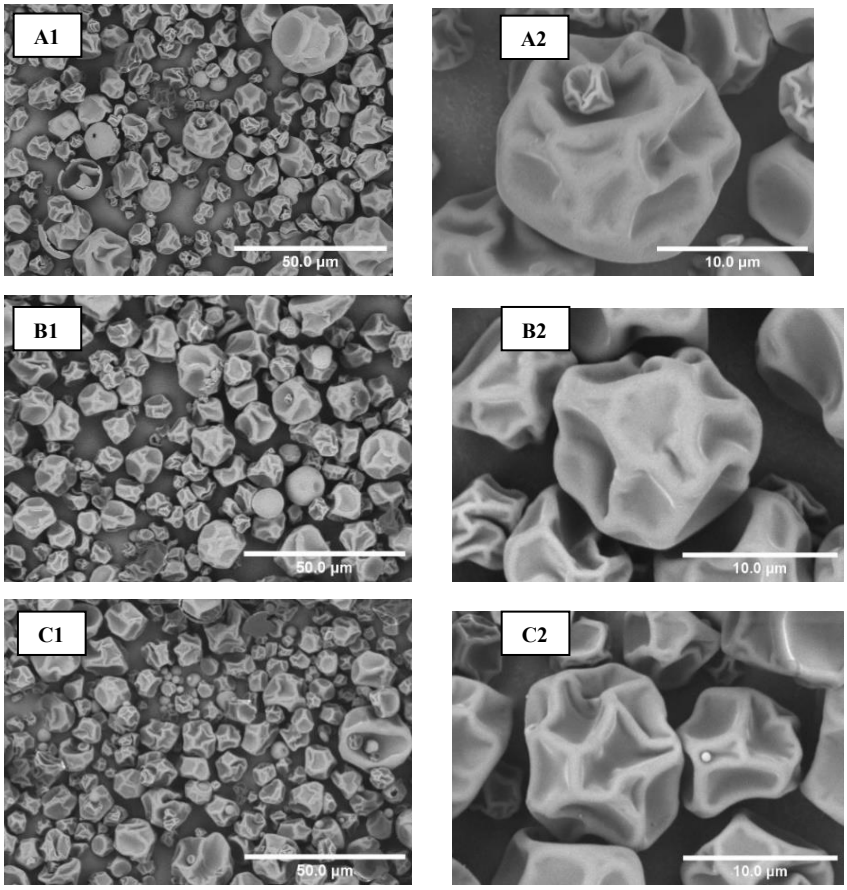
3.1 Karakterisasi Mikrokapsul Ekstrak Daun Pala

Tabel 2. Ringkasan Hasil Karakterisasi Mikrokapsul Ekstrak Daun Pala

Evaluasi Fisik	Formula			Syarat
	FM-1	FM-2	FM-3	
Morfologi	Sferis dan berkerut	Sferis dan berkerut	Sferis dan berkerut	Sferis
Rendemen Mikrokapsul (%)	29,63	33,23	33,85	≥50%
Kadar Air (%)	7,31 ± 0,3	9,32 ± 0,15	10,01 ± 0,22	≤10%
Ukuran Partikel (μm)	4,58 ± 0,3	5,55 ± 0,8	7,16 ± 0,3	5–500 μm
Kecepatan Alir (g/detik)	0,59 ± 0,02	0,75 ± 0,05	1,04 ± 0,15	≥10 g/detik
Sudut Diam (°)	41,71 ± 0,84	37,7 ± 0,22	36,72 ± 0,49	20–40 (baik)
Efisiensi Enkapsulasi (%)	46,63	34,32	25,66	≥80%

Keterangan:
Data disajikan sebagai rata–rata ± standar deviasi (n=3).

a. Struktur Morfologi Partikel

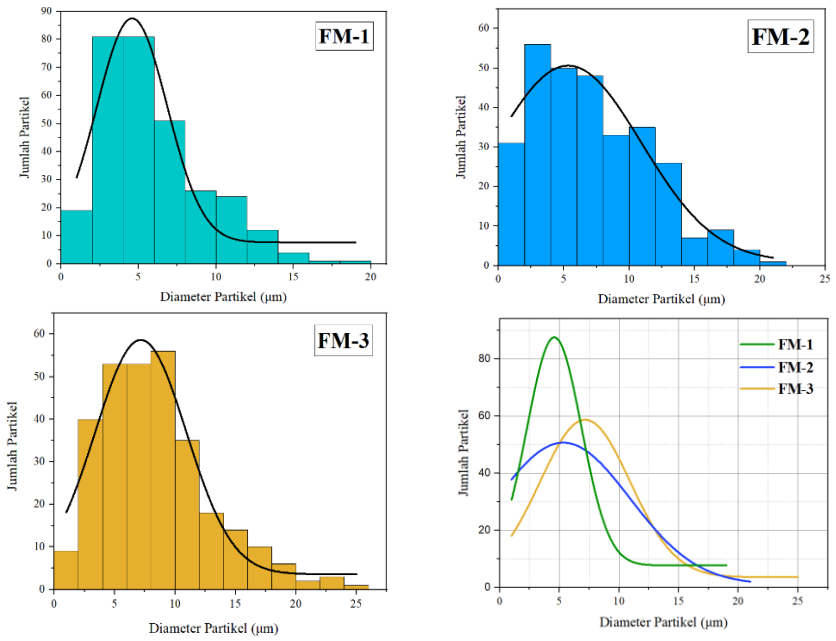


Gambar 1. Mikrograf SEM Mikrokapsul Ekstrak Daun Pala (A) FM-1, (B) FM-2, (C) FM-3, dengan Perbesaran (1) 1000x dan (2) 5000x

Sebagian besar mikrokapsul dari ketiga formula menunjukkan kesamaan morfologi, yaitu berbentuk sferis dengan struktur permukaan mengkerut. Partikel sferis merupakan karakteristik umum dari serbuk hasil *spray drying* (Gharsallaoui *et al*., 2007). Adanya lekukan pada permukaan partikel dapat dikaitkan dengan suhu pengeringan yang digunakan. Ketika suhu pengeringan tinggi, sejumlah besar partikel mikrokapsul cenderung memiliki permukaan yang merata karena uap air menguap dengan cepat dari permukaan serta dinding partikel dengan cepat menjadi kering dan kaku sehingga permukaannya tetap mulus (Nijdam, 2006), tetapi ketika suhu pengeringan relatif rendah, partikel yang dihasilkan cenderung menyusut dan membentuk permukaan yang berkerut (Tonon, 2008). Hal ini terjadi karena uap air tetap berada di dinding partikel sehingga partikel rentan terhadap deflasi ketika partikel mulai mendingin (Nijdam, 2006).

b. Ukuran dan Distribusi Ukuran Partikel

Serbuk yang dihasilkan melalui proses enkapsulasi dengan teknik *spray drying* umumnya memiliki rata–rata ukuran partikel sebesar 5–600 µm (Lachman, 2016). Lebih lanjut, suatu partikel dapat diklasifikasikan sebagai mikrokapsul apabila memiliki ukuran dalam rentang (0,2–5000 µm) (Chaturvedi & Sharma, 2024). Dengan demikian, partikel serbuk yang dihasilkan merupakan mikrokapsul dengan rata–rata ukuran partikel yang baik dengan distribusi ukuran partikel yang homogen. Ukuran partikel yang lebih besar dari mikrokapsul pada konsentrasi enkapsulan yang lebih tinggi disebabkan viskositas larutan enkapsulan yang tinggi juga. Droplet yang terbentuk semakin besar akibatnya besar pula partikel serbuk yang dihasilkan (Carneiro *et al*., 2013).



Gambar 2. Kurva Distribusi Ukuran Partikel Mikrokapsul Daun Pala (a) FM-1, (b) FM-2, (c) FM-3, (d) Gabungan Kurva Distribusi Ukuran Partikel Mikrokapsul Daun Pala FM-1, FM-2, FM-3

c. Rendemen Mikrokapsul

Tontul & Topuz (2017) menyatakan bahwa salah satu parameter penentu keberhasilan proses *spray drying*, terutama untuk skala laboratorium, adalah persentase rendemen serbuk yang diperoleh ≥50%. Dengan demikian, rendemen mikrokapsul yang diperoleh dari ketiga formula tidak memenuhi kriteria rendemen produk hasil *spray drying* yang ideal. Rendahnya rendemen mikrokapsul dapat disebabkan oleh peristiwa *loss weight* selama proses pengeringan. Faktor pengeringan yang kurang sempurna menyebabkan serbuk mikrokapsul memiliki kadar air yang tinggi sehingga membuat partikel menempel pada tabung *inlet*. Akibatnya, jumlah mikrokapsul yang tertampung di tabung *outlet* menjadi berkurang.

d. Uji Kadar Air

Menurut Peraturan Kepala BPOM Nomor 12 Tahun 2014 tentang Persyaratan Mutu Obat Tradisional, kadar air sediaan serbuk yang baik adalah ≤10%. Dengan demikian, mikrokapsul daun pala FM-1 dan FM-2 memenuhi kualifikasi tersebut. Di sisi lain, mikrokapsul FM-3 menghasilkan kadar air dengan persentase yang sedikit lebih tinggi daripada nilai yang dipersyaratkan. Tingginya kadar air mikrokapsul yang diperoleh dapat dikaitkan dengan struktur kimia enkapsulan dan viskositas larutan umpan.

e. Uji Laju Alir dan Sudut Reposa

Mikrokapsul daun pala FM-1, FM-2, dan FM-3 tidak memenuhi persyaratan laju alir yang baik. Suatu serbuk dianggap memiliki sifat alir yang baik apabila memiliki waktu alir ≥10 g/detik (Thomas *et al*., 2021; British Pharmacopoeia Vol. IV, 2007). Hal tersebut dapat disebabkan oleh besarnya sifat kohesivitas antarpartikel. Di sisi lain, sudut reposa yang dihasilkan oleh mikrokapsul FM-1, FM-2, dan FM-3 termasuk ke dalam kategori sudut reposa yang baik. Berdasarkan USP 28, sudut reposa suatu serbuk dapat dianggap baik apabila termasuk ke dalam rentang 31–45^{o}.

f. Uji Efisiensi Enkapsulasi Mikrokapsul Daun Pala

Efisiensi enkapsulasi menggambarkan jumlah zat inti yang terperangkap oleh bahan enkapsulan dalam mikrokapsul selama proses pengeringan (Sulaeman *et al*., 2021). Efisiensi enkapsulasi dikategorikan baik apabila diperoleh nilai ≥80% (Rostinawati *et al*., 2023). Kecilnya persentase efisiensi enkapsulasi pada mikrokapsul FM-1, FM-2, dan FM-3 dapat disebabkan oleh rendahnya suhu pengeringan *inlet.* Rasio yang seimbang antara enkapsulan dengan bahan inti, disertai dengan kesesuaiaan jenis enkapsulan dan parameter pengeringan yang digunakan, memungkinkan lebih banyak bahan inti berhasil dienkapsulasi (Sulaeman *et al*., 2021). Hal ini sejalan dengan penelitian Hang *et al* (2020) dimana efisiensi enkapsulasi ekstrak kulit pisang dengan rasio ekstrak/enkapsulan semakin besar didapatkan nilai efisinesi ekanpsulasi yang semakin kecil.

3.2 Uji Aktivitas Antioksidan Serbuk Mikrokapsul Daun Pala

Tabel 3. Hasil Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak dan Serbuk Mikrokapsul Daun Pala

Sampel Uji		Absorbansi*	%RSA*	IC50 (g/mL)	AAI
Ekstrak daun pala		0,714 ± 0,01	64,82 ± 1,21	36,1	4,37
Serbuk	FM-1	0,697 ± 0,007	26,44 ± 0,70	239,07	0,66
Mikrokapsul	FM-2	0,786 ± 0,01	17,09 ± 1,02	555,29	0,28
Daun Pala	FM-3	0,898 ± 0,008	1,43 ± 0,9	755,84	0,21

Keterangan:
Data disajikan sebagai rata–rata ± standar deviasi (n=3).
*absorbansi dan %RSA diukur pada konsentrasi 50 g/mL.
%RSA: *Radical Scavenging Activity*/Persentase Penangkapan Radikal; IC50: *Inhibition Concentration* 50%; AAI: *Antioxidant Activity Index*

Ekstrak daun pala menghasilkan aktivitas antioksidan yang tinggi, sedangkan mikrokapsul daun pala memiliki aktivitas antioksidan yang lemah. Penurunan aktivitas antioksidan dari bentuk ekstrak menjadi mikrokapsul dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya paparan panas selama proses pengeringan sehingga menurunkan kadar senyawa bioaktif pada bahan (Mahdavi *et al*., 2016; Siregar dan Kristanti, 2019), konsentrasi enkapsulan yang semakin besar, rasio konsentrasi antara maltodekstrin dengan gom arab yang tidak tepat, serta rendahnya viskositas larutan umpan.

4. KESIMPULAN

Ekstrak daun pala memiliki aktivitas antioksidan yang tergolong sangat kuat, dengan nilai IC_{50} sebesar 36,097 ppm, sedangkan serbuk mikrokapsul daun pala memiliki aktivitas antioksidan yang lemah, dengan nilai IC_{50} berada dalam rentang 239,07–755,84 ppm. Karakteristik mikrokapsul daun pala dari

seluruh formula memenuhi persyaratan pada parameter bentuk dan morfologi, distribusi ukuran partikel, sudut reposa, dan kadar air.

Rendemen mikrokapsul, laju alir, dan efisiensi enkapsulasi belum menunjukkan hasil sesuai persyaratan sehingga perlu dilakukan optimasi enkapsulan, baik dari aspek konsentrasi ataupun variasi dengan jenis enkapsulan lain.

5. DAFTAR PUSTAKA

Akdeniz, B., Sumnu, G., Sahin, S. (2017) "The Effects of Maltodextrin and Gum Arabic in Encapsulation of Onion Skin Phenolic Compounds," Chemical Engineering Transaction, 57, hal. 1891–1896. doi: 10.3303/CET1757316

Andriani, D., Murtisiwi, L. (2018) "Penetapan Kadar Fenolik Total Ekstrak Etanol Bunga Telang (Clitoria Ternatea L.) dengan Spektrofotometri UV–Vis," Cendekia Journal of Pharmacy, 2(1), hal. 32–38. doi:10.31596/cjpv2i1.15

Angelia, et al. (2022) "Formulasi Sediaan Spray Gel Ekstrak Kulit Jeruk Manis (Citrus Sinensis L.) Sebagai Anti–Aging," Journal of Research in Pharmacy, 2(1), hal. 44–53. doi: 10.14710/genresv2i1.13213

Anggraeni, Novia, et al. (2024) "Karakterisasi Nanokalsium Tulang Ikan Kakap Merah (Lutjanus Malabaricus) Dengan Variasi Waktu Ekstraksi," JPHPI, 27(3), hal. 197–207. doi: 10.17844/jphpiv27i3.50268

Anindhita, M. A. et al. (2022) "Formulasi Sediaan Tablet Hisap Ekstrak Daun Glodokan Tiang Dengan Cmc Na Sebagai Bahan Pengikat," Cendekia Journal of Pharmacy, 6(2), hal. 227-243. doi: 10.31596/cjp.v6i2.198

Aretzy, A., Ansarullah, dan Wahab, D. (2018) "Pengembangan minuman instan dari limbah biji buah alpukat (Persea americana mill) dengan pengaruh penambahan maltodekstrin," Jurnal Sains dan Teknologi Pangan, 3(1), hal. 1027-1035

Avaltroni, F., et al. (2004) "Maltodextrin molecular weight distribution influence on the glass transition temperature and viscosity in aqueous solutions," Carbohydrate Polymers, 58(3), hal. 323–334. doi:10.1016/jcarbpol.2004.08.001

Belšˇcak–Cvitanovi´c, A. et al. (2015) "Efficiency Assessment of Natural Biopolymers as Encapsulants of Green Tea (Camellia sinensis L.) Bioactive Compounds by Spray Drying," Food and Bioprocess Technology, 8(12), hal. 2444–2460. doi: 10.1007/s11947–015–1592–y

British Pharmacopoiea Commision. (2009) "British Pharmacopoeia," London: The Pharmaceutical Press

Cam, M., et al. (2014) "Pomegranate peel phenolics: Microencapsulation, storage stability and potential ingredient for functional food development," Food Science and Technology, 55(1), hal. 117–123. doi: 10.1016/j.lwt.2013.09.011

Carneiro, H. et al. (2013) "Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials" Journal of Food engineering, 115, hal 443-451

Chaturvedi & Sharma. (2024) "A Review on Microencapsulation as Method of Drug Delivery," BIO Web Conf., 86(20), hal. 1–15. doi: 10.1051/bioconf/20248601033

Cilek, B. et al. (2012) "Microencapsulation of phenolic compounds extracted from sour cherry pomace: Effect of formulation, ultrasonication time and core to coating ratio," European Food Research and Technology, 235, hal. 587–596. doi: 10.1007/s00217–012–1786–8

Fawwaz, et al. (2017) "Potensi Daun Pala (Myristica Fragrans Houtt) Sebagai Sumber Fenolik," Jurnal Fitofarmaka Indonesia, 4(1), hal. 212–214. doi: 10.33096/jffiv4i1.230

Gharsallaoui A. et al. (2007) "Applications of spray–drying in microencapsulation of food ingredients: an overview," Food Research International, 40(9), hal. 1107–1121. doi: 10.1016/j.foodres.2007.07.004

Hasanah, U., Yusriadi, Y., dan Khumaidi, A. (2017) "Formulasi Gel Ekstrak Etanol Daun Kelor (Moringa oleifera Lam) Sebagai Antioksidan," Natural Science: Journal of Science and Technology, 6(1), doi: 10.22487/25411969.2017.v6.i1.8079

Idham, Z. et al. (2012). "Degradation kinetics and color stability of spray–dried encapsulated anthocyanins from Hibiscus sabdariffa L.: stability of spray dried anthocyanins," Journal of Food Process Engineering, 35(4), hal. 522–542. doi: 10.1111/j.1745–4530.2010.00605

Kang, Y. et al. (2019) "Characterisation and storage 565 stability of chlorophylls microencapsulated in different combination of gum Arabic and 566 maltodextrin," Food Chem., 272, hal. 337-346. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.08.063

Kumar, B. P. et al. (2011) "Microparticulate Drug Delivery System A Review," India: Department of Pharmaceutical.

Lachman, L., & Lieberman, H. A. (1994) "Teori dan Praktek Farmasi Industri," Edisi Kedua, hal. 1091-1098. UI Press: Jakarta

Lachman, Leon, et al. (2016) "The Theory and Practice of Industrial Pharmacy Fourth Edition," London: Lea & Febiger

Mahdavi, A., et al. (2016) "Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gom Arabic and gelatin," International Journal of Biological Macromolecules, 85, hal. 379–385. doi: 10.1016/j.ijbiomac

Mangope, K. et al. (2024) "Microencapsulation and characterization of pomegranate seed oil using gum Arabic and maltodextrin blends for functional food applications," Food Science & Nutrition, 12(11), hal. 52-67. doi: 10.1002/fsn3.4493

Mao, L. et al. (2018) "Development of soy protein isolatecarrageenan conjugates through Maillard reaction for the microencapsulation of Bifidobacterium longum," Food Hydrocolloids, 84, hal. 489–497. doi: 10.1016/j.foodhyd.2018.06.037

Nguyen, M., Chuyen, H V., Nguyen, Q. (2022) "Microencapsulation of Syzygium zeylanicum (L.) DC. extract using spray drying: Effects of wall materials on physicochemical characteristics and biological activities of the microcapsules," Journal of Food Processing and Preservation, 46(7), hal. 16-64. doi: 10.1111/jfpp.16647

Nijdam, J.J., Langrish, T.A.G. (2006) "The effect of surface composition on the functional properties of milk powders," J. Food Eng., 77, hal. 919–925. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.08.020

Nizori et al. (2020) "Spray-drying microencapsulation of ascorbic acid: impact of varying loading content on physicochemical properties of microencapsulated powders," Journal of The Science of Food and Agriculture, 100(11), hal. 4165-417. doi: 10.1002/jsfa.10455

Osorio–Tobón, J. F., Silva, E. K., dan Meireles, M. A. A. (2016) "Nanoencapsulation of flavors and aromas by emerging technologies' in Grumezescu, A. M. (eds.) Encapsulations. United States: Academic Press.

Priyambodo, A.A., dan Rosida, D. F. (2022) "Research of Physico–Chemical Properties of Jamu Powder from Moringa Leaf, Beluntas Leaf, And Noni Leaf Extracts," Jurnal Pangan dan Agroindustri, 11(2), hal. 61–70

Robert, P., dan Fredes. (2015) "The encapsulation of anthocyanins from berry-type fruits," Trends Food. Molecules, 20, hal. 5875–5888. doi: 10.3390/molecules20045875

Robert, P. et al. (2010) "Encapsulation of polyphenols and anthocyanins from pomegranate (Punica granatum) by spray drying," Int. J. Food Sci. Technol., 45(7), hal 1386–1394. doi: 10.1111/j.1365-2621.2010.02270.x

Rostinawati, T., Muhaimin, & Chaerunisaa, A. (2023) "Development of Casticin-Loaded Ethyl Cellulose Microparticles by Solvent Evaporation Method with Single Emulsion System," International Journal of Applied Pharmaceutics, 15(6), hal. 235-230. doi: 10.22159/ijap.2023v15i6.48758

Saikia, S. (2015) "Optimisation of phenolic extraction from Averrhoa carambola pomace by response surface methodology and its microencapsulation by spray and freeze drying," Food Chem, 171, hal. 144–152. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.08.064

Siregar dan Kristanti. (2019) "Mikroenkapsulasi Senyawa Fenolik Ekstrak Daun Kenikir (Cosmos caudatus K.)," Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan, 8(1), hal. 31-34 doi: 10.17728/jatp.3304

Souza, D. et al. (2015) "Effect of spray drying on the physicochemical properties and color stability of the powdered pigment obtained from vinification byproducts of the Bordo grape (Vitis labrusca)," Food and Bioproducts Processing, 93, hal. 39– 50. doi: 10.1016/j.fbp.2013.11.001

Sugindro, et al. (2008) "Pembuatan dan Mikroenkapsulasi Ekstrak Etanol Biji Jinten Hitam Pahit (Nigella sativa Linn.)," Majalah Ilmu Kefarmasian, 5(2), hal. 58–66

Sulaeman, et al. (2021) "Antioxidant Activity and Total Phenolic of Encapsulated Stingless Bee Propolis by Spray Drying Method," Jurnal Gizi Pangan, 16(1), hal. 65–72. doi: 10.1063/1.5095018

Tan, Sing Pei, et al. (2015) "Optimising the Encapsulation of an Aqueous Bitter Melon Extract by Spray–Drying," Foods, 4(3), hal. 400–419. doi: 10.3390/foods4030400

Thomas, N. et al. (2021) "Pengaruh Konsentrasi Hydroxypropyl Methylcellulose Sebagai Bahan Pengikat Pada Sediaan Tablet Ekstrak Rimpang Jahe Merah (Zingiber Officinale Var. Rubrum.)," Indonesian Journal of Pharmaceutical Education, 1(3), hal. 158–167. Doi: 10.37311/Ijpe.V1i3.11667

Tontul, I. and Topuz, A. (2017) "Spray-drying of fruit and vegetables juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties," Trends Food Sci. Technol. 63, hal. 91-102. doi: 10.1016/j.tifs.2017.03.009

United States Pharmacopeial Convention. 2005. "The United States Pharmacopeia (USP 28), The National Formulary (NF 23). Canada: USP Convention

Wulandari, A. et al. (2019) "Karakteristik Mikrokapsul Antosianin Ubi Jalar Ungu Dengan Teknik Spray Drying," Jurnal Teknologi Industri Pertanian, 29(1), hal. 34-44. doi: 10.24961/j.tek.ind.pert.2017.27.1.1

Yuan, W. et al. (2021) "Optimized preparation of eugenol microcapsules and its effect on hepatic steatosis in HepG2 cells," Drug Development and Industrial Pharmacy, 47(2), hal. 225–234. doi: 10.1080/03639045.2020.1863421.