

Enkapsulasi Kurkumin dalam Matriks Beads Kitosan-Karaginan yang Tertaut-Silang dengan Glutaraldehida menggunakan Asam Laurat sebagai Pengemulsi

Zhilal Shadiq^{1*}, Muhamad Sofi Ardani², Nur Indah Wardani³, Annisa Yuliana Angeline⁴, Sari Sekar Ningrum⁵

^{1,5}Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Politeknik Negeri Cilacap

^{2,3,4}Program Studi Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Politeknik Negeri Cilacap

*Corresponding author: Zhilal Shadiq email: zhilalshadiq@pnc.ac.id

Submitted: 02-05-2025

Revised: 26-05-2025

Accepted: 02-06-2025

DOI: 10.29408/sinteza.v5i2.30137

ABSTRACT

Curcumin (diferuloylmethane), the primary bioactive compound in turmeric (*Curcuma longa*), is a natural polyphenol with proven pharmacological properties. Its safety and biodegradability, along with multifunctional health benefits, have been well-documented. However, curcumin exhibits poor water solubility. Consequently, curcumin shows low systemic bioavailability and rapid urinary excretion. A carrier matrix is essential to improve bioavailability and prolong systemic retention of curcumin, and one of carrier matrix that can be utilized is a bead matrix. In this study, bead matrices were prepared by combining a chitosan solution with lauric acid and carrageenan solutions and then dropping the mixture into a sodium hydroxide solution, which acts as an ionic neutralizing agent during bead formation. The encapsulation process was conducted by immersing the formed bead matrices in curcumin and glutaraldehyde solutions to facilitate crosslinking reactions with chitosan. The resulting bead matrices were analyzed using FT-IR spectroscopy to determine the interactions and bonds formed between the materials used. The results indicated that the encapsulation efficiency of curcumin was influenced by the concentrations of chitosan and lauric acid, with higher concentrations of both components leading to increased encapsulation efficiency.

Keywords: Bead Matrix, Bioavailability, Chitosan, Curcumin, Encapsulation

PENDAHULUAN

Kurkumin (diferuloylmethane) merupakan zat aktif yang terkandung dalam kunyit (*Curcuma longa*) dan termasuk ke dalam golongan polifenol alami dengan berat molekul rendah, serta memiliki kemampuan dalam pengobatan seperti yang telah didokumentasikan dalam literatur Indian kuno (Fuloria *et al.*, 2022). Kurkumin telah banyak diteliti karena menunjukkan multiaktivitas farmakologis, termasuk efek antikanker, antioksidan, antiinflamasi, antitumor, dan antibakteri (Mohajeri *et al.*, 2025). Namun, kurkumin memiliki keterbatasan seperti kelarutan yang rendah dalam media berair, bioavailabilitas yang buruk, dan waktu retensi singkat dalam tubuh. Hal ini membatasi aplikasinya sebagai obat (Goswami *et al.*, 2022). Berdasarkan informasi tersebut, maka dibutuhkan matriks pengemban untuk kurkumin guna meningkatkan bioavailabilitasnya sehingga dapat terserap secara maksimal oleh tubuh.

Pengembangan kurkumin dalam matriks demi keperluan transport dapat dilakukan dengan metode enkapsulasi. Metode enkapsulasi telah digunakan dalam berbagai bidang, antara lain dalam bidang industri pangan dan farmasi untuk tujuan mempertahankan kualitas produk dan pelepasan terkendali (Tabanelli *et al.*, 2021). Proses enkapsulasi umumnya dilakukan dengan membuat sebuah matriks polimer untuk melindungi senyawa aktif dan sensitif seperti vitamin dan polifenol dari perubahan suhu signifikan serta degradasi akibat proses oksidasi selama masa pengemasan dan penyimpanan. Bahan yang digunakan untuk mengenkapsulasi kurkumin harus bersifat biodegradabel, biokompatibel, dan tidak beracun sehingga dapat melepaskan kembali kurkumin yang terenkapsulasi dan tidak mengurangi manfaat-manfaat yang dimiliki kurkumin. Salah satu bahan yang memiliki



Sinteza is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC-BY License\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

sifat-sifat tersebut adalah kitosan. Kitosan merupakan polimer hasil deasetilasi kitin yang reaktif dan larut dalam asam karena protonasi gugus aminanya sehingga kitosan dapat digunakan dalam berbagai bentuk seperti serbuk, pasta, film, maupun serat untuk berbagai tujuan (Alemu *et al.*, 2023; Jaferník *et al.*, 2023; Desai *et al.*, 2023). Penggunaan matriks pengemban obat berbasis senyawa kitosan telah dipelajari oleh Sohail & Abbas (2020) yang menggunakan senyawa amygdalin sebagai model obat anti kanker. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa matriks berbasis kitosan mampu mengenkapsulasi amygdaline hingga 90% dan mendukung pelepasan lambat.

Matriks kompleks polielektrolit (PEC) yang merupakan hasil dari perpaduan antara polimer kationik dan polimer anionik dapat meningkatkan kontrol terhadap pelepasan obat, seperti matriks PEC dari alginat/kitosan, kitosan/pektin, dan kitosan/polimer akrilat (Dingalwar *et al.*, 2024; Silant'ev *et al.*, 2024; Abidin *et al.*, 2024). Penelitian tentang matriks kitosan/karaginan untuk pengemban obat dan pelepasan obat terkontrol telah dilakukan oleh Komersová *et al.* (2022) yang mengevaluasi penggunaan kompleks polielektrolit dari kitosan/karaginan sebagai matriks penghantar obat yang ditargetkan ke usus. Hasil evaluasinya menunjukkan bahwa matriks kitosan/karaginan menunjukkan pelepasan obat secara lambat pada lingkungan asam, dan pelepasan yang relatif cepat pada lingkungan netral, sehingga menjadikannya kandidat ideal untuk penghantaran obat ke usus. Selain itu, (Hung *et al.* (2022) mengevaluasi profil pelepasan model obat lovastatin dari matriks kitosan/karaginan pada simulasi pH lambung dan pH usus. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa profil pelepasan lovastatin dari matriks kitosan/karaginan yang rendah di lambung dan tinggi di usus mendukung penggunaan matriks penghantar ini untuk terapi hiperkolesterolemia melalui peningkatan bioavailabilitas lovastatin dan mengurangi efek samping gastrointestinal.

Selain interaksi antar senyawa yang berperan sebagai penyusun kerangka utama, kemampuan matriks penghantar obat juga dapat dipengaruhi oleh senyawa-senyawa lain yang dapat ditambahkan dalam formulasi matriks tersebut (Pratiwi *et al.*, 2023). Keberadaan senyawa yang dapat bertaut silang (*crosslinker*) dengan polimer pada kerangka utama struktur matriks pembawa obat telah dibuktikan memiliki pengaruh terhadap kestabilan matriks, sehingga dapat mengontrol pelepasan obat. Taut silang kitosan dengan glutaraldehid pada beads meningkatkan ketahanan dalam suasana asam dan efektivitas pelepasan obat yang teremban dibandingkan dengan beads yang tidak tertaut silang (Barreiro-Iglesias *et al.*, 2005).

Penggunaan zat yang berperan sebagai pengemulsi (*emulsifier*) seperti asam lemak juga berpotensi untuk meningkatkan nilai pengkapsulan zat aktif seperti kurkumin, serta bioavailabilitasnya dalam media polar. Asam laurat merupakan fraksi asam lemak yang bersumber dari minyak kelapa dengan HLB yang bernilai 16 (William C. Griffin, 1949), sehingga menjadikan asam laurat dapat menjadi emulsifier yang baik untuk meningkatkan nilai kelarutan kurkumin dalam matriks beads dan mengontrol pelepasannya. Selain itu, asam laurat juga memiliki manfaat farmakologis sebagai anti oksidan (Fitri *et al.*, 2024.), anti mikroba dan virus (Ameena *et al.*, 2024), serta mudah diserap usus karena molekulnya yang berukuran kecil (Mckimmie *et al.*, 2013).

Berdasarkan penjelasan diatas, maka penelitian tentang formulasi matriks pengemban kurkumin dari bahan-bahan yang bersifat biokompatibel menjadi penting untuk dilakukan guna mendukung peningkatan bioavailabilitas kurkumin agar dapat dimanfaatkan sebagai obat yang lebih efektif, dan untuk mengetahui potensi pengembanan kurkumin oleh matriks yang terbuat dari kombinasi bahan-bahan tersebut.

METODE

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bahan kimia kualitas pro analysis produksi Merk yaitu CH_3COOH (asam asetat), kurkumin, $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$ (glutaraldehid), kitosan dengan DD 74,65%, karaginan teknis (CV Chem-mix Pratama), $\text{C}_{11}\text{H}_{21}\text{COOH}$ (asam laurat), $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (etanol) 96% (CV Aldrich), dan akuades.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat gelas, pengaduk magnet (hot plate stirrer), batang pengaduk magnet, syringe (needle gouche 18), pengocok (shaker), oven, neraca analitik (Mettler Toledo AB54-S), spektrofotometer inframerah (Shimadzu FT-IR 8201PC), dan spektrofotometer UV-Vis (722 Spectrophotometer).

Jalannya Penelitian

Pembuatan Beads kitosan-karaginan tertaut silang glutaraldehida dengan variasi konsentrasi asam laurat sebagai pengemulsi

Beads disintesis dengan mencampurkan 10 mL larutan kitosan 2% (dalam asam asetat 1%) dan 10 mL larutan asam laurat (0,25%; 0,50%; atau 0,75% dalam etanol 96%). Masing-masing campuran diaduk selama 30 menit hingga homogen, dan kemudian ditambahkan larutan karaginan 1% dalam 10 mL aquades ke dalam masing-masing campuran. Campuran diaduk selama ± 24 jam hingga campuran homogen. Beads dibentuk melalui teknik ekstrusi dengan menyuntikkan campuran polimer ke dalam larutan NaOH 3,5 M menggunakan spuit hingga terbentuk matriks sferis. Beads disaring dan dicuci dengan aquades serta dibiarkan pada suhu kamar selama ± 1 jam hingga kering untuk selanjutnya digunakan dalam tahap enkapsulasi kurkumin. Setelah proses enkapsulasi, Beads direndam dalam larutan glutaraldehida dengan pelarut isopropanol dan dikeringkan dalam oven pada suhu 70 °C selama ± 24 jam direndam dalam larutan glutaraldehida dan kemudian disaring.

Pembuatan Beads kitosan-karaginan tertaut silang glutaraldehida menggunakan asam laurat sebagai pengemulsi dengan variasi konsentrasi kitosan

Beads disintesis dengan mencampurkan 10 mL larutan kitosan dengan variasi konsentrasi 2%; 3%, dan 4% dengan 10 mL larutan karaginan 1%, dan ditambahkan larutan asam laurat dalam pelarut etanol 96% dengan konsentrasi optimal. Masing-masing campuran diaduk selama ± 24 jam hingga campuran homogen. Beads dibentuk melalui teknik ekstrusi dengan menyuntikkan campuran polimer ke dalam larutan NaOH 3,5 M menggunakan spuit hingga terbentuk matriks sferis. Beads disaring dan dicuci dengan aquades serta dibiarkan pada suhu kamar selama ± 1 jam hingga kering untuk selanjutnya digunakan dalam tahap enkapsulasi kurkumin. Setelah proses enkapsulasi, Beads direndam dalam larutan glutaraldehida dengan pelarut isopropanol dan dikeringkan dalam oven pada suhu 70 °C selama ± 24 jam direndam dalam larutan glutaraldehida dan kemudian disaring.

Enkapsulasi kurkumin dalam matriks Beads

Beads dari masing-masing campuran dengan variasi % konsentrasi asam laurat dan kitosan dimasukkan ke dalam botol kaca berisi 100 mL larutan kurkumin berkonsentrasi 100 ppm. Botol berisi beads dan larutan kurkumin dikocok selama ± 24 jam dengan alat *shaker* berkecepatan 35 rpm untuk mengoptimalkan proses enkapsulasi kurkumin.

Analisis Data

Karakterisasi beads menggunakan FT-IR

Beads yang telah dibuat dianalisis dan dikarakterisasi menggunakan serapan radiasi infra merah dengan spektrofotometer infra merah. Spektra yang diperoleh sebagai hasil karakterisasi beads dibandingkan dengan spektra dari masing-masing senyawanya

Uji efisiensi pemuatan total (% Loading Efficiency) kurkumin pada beads

Sejumlah 0,1 g beads ditumbuk dengan lumpang porselen hingga halus, kemudian direndam dalam 10 mL pelarut etanol 96% selama 48 jam. Diambil 1 mL masing-masing pelarut yang digunakan, dan diencerkan 10 kali, lalu dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 430 nm. Efisiensi pemuatan ditentukan menggunakan rumus:

$$\%LE = \frac{\text{Konsentrasi kurkumin yang terlepas dari beads}}{\text{Konsentrasi kurkumin yang diberikan}} \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Beads hasil penelitian

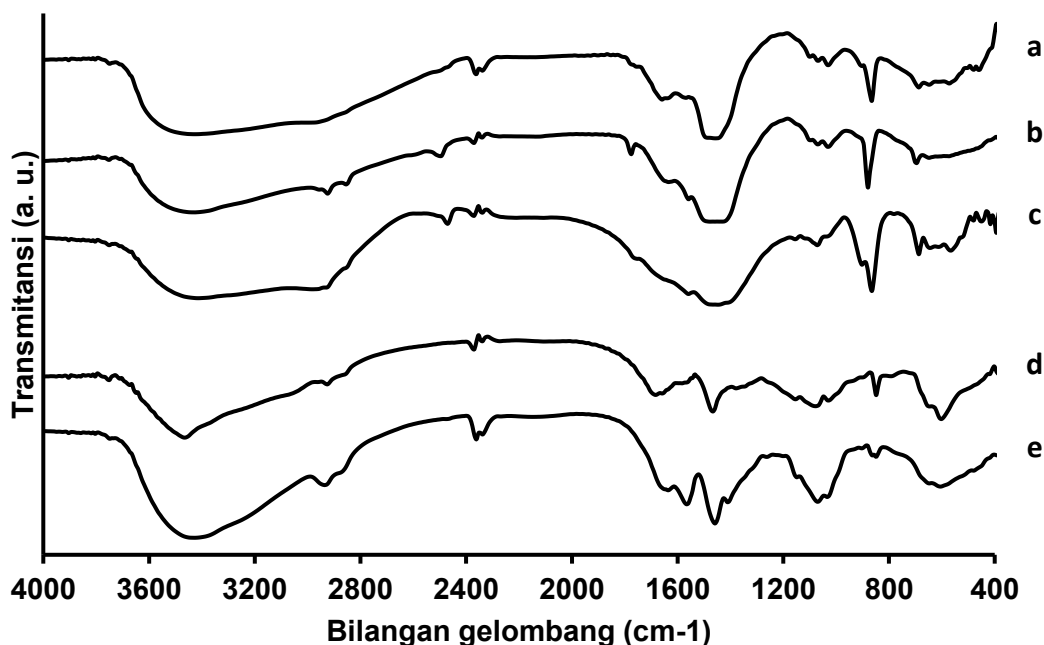
Matriks dibuat dengan kombinasi antara kitosan dan karaginan untuk membentuk matriks kompleks polielektrolit melalui interaksi elektrostatis gugus positif kitosan dan gugus negatif dari karaginan. Asam laurat ditambahkan untuk menjadi pengemulsi ketika matriks mengemban kurkumin, sehingga ekor hidrokarbon dari asam laurat dapat berinteraksi dengan kurkumin yang bersifat non polar melalui interaksi *Van der Waals*. Campuran bahan ditetaskan ke dalam larutan NaOH untuk memicu reaksi penetralan kation oleh ion OH⁻, sehingga matriks Beads terbentuk dengan geometri sferis. Gambar 1 menunjukkan tampilan fisik matriks Beads sebelum dan setelah mengemban kurkumin.



Gambar 1. Morfologi beads sebelum (a) dan setelah (b) enkapsulasi kurkumin

Karakterisasi Beads dengan FT-IR

Spektra FT-IR yang ditunjukkan oleh Gambar 2 merupakan spektra dari tiap tahap pembuatan beads kitosan-karaginan tertaut silang glutaraldehida dengan asam laurat sebagai pengemulsi.



Gambar 2. Spektra FTIR beads kitosan (a), beads kitosan-asam laurat (b), beads kitosan-asam laurat-karaginan (c), beads kitosan-asam laurat-karaginan mengemban kurkumin (d), beads kitosan-asam laurat-karaginan tertaut silang glutaraldehida mengemban kurkumin (e)

Setiap spektra beads memiliki serapan yang khas pada bilangan gelombang tertentu. Tabel 1 menunjukkan bahwa terjadinya serapan yang mengindikasikan gugus –NH amina tidak nampak jelas pada spektra FTIR kitosan karena pita serapan ini tumpang tindih oleh serapan dari gugus –OH pada bilangan gelombang sekitar 3425 cm^{-1} . Serapan pada bilangan gelombang 1080 cm^{-1} merupakan serapan dari C-O-C pada ikatan glikosida kitosan. Munculnya serapan pada bilangan gelombang 1635 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi gugus C=O amida akibat deasetilasi senyawa kitin yang tidak sempurna (Ismillayli *et al.*, 2021).

Tabel 1. Karakteristik serapan IR dari beads kitosan

Bilangan gelombang (cm^{-1})	Karakteristik serapan
3425	Vibrasi ulur –OH
1080	Serapan ikatan glikosida

Tabel 2 menunjukkan terjadinya serapan pada bilangan gelombang 3425 cm^{-1} yang merupakan vibrasi ulur dari gugus –OH karboksilat. Munculnya serapan tajam pada bilangan gelombang 2924 dan 2854 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur C-H sp^3 asam laurat, dan serapan pada bilangan gelombang 1774 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur C=O karbonil mengindikasikan terjadinya interaksi kitosan dengan asam laurat (Chachanidze *et al.*, 2022).

Tabel 2. Karakteristik serapan IR dari beads kitosan-asam laurat

Bilangan gelombang (cm^{-1})	Karakteristik serapan
1550	Serapan melebar akibat tumpang tindih vibrasi ulur gugus –OH, $-\text{NH}_2$ dan $=\text{NH}$.
2924 dan 2854	Serapan vibrasi ulur C-H sp^3
1774	C=O karbonil

Tabel 3 menunjukkan terjadinya serapan melebar pada bilangan gelombang 1450 cm^{-1} yang merupakan serapan tumpang tindih vibrasi ulur gugus $-\text{NH}_3^+$ dari kitosan dengan gugus C=O asam laurat, serapan pada bilangan gelombang 2924 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur C-H sp^3 dari asam laurat, dan serapan pada bilangan gelombang 864 cm^{-1} menunjukkan adanya serapan dari gugus $-\text{SO}_4^-$ karaginan. Kedua serapan tersebut mengindikasikan terjadinya interaksi antara kitosan dengan karaginan (Ismillayli *et al.*, 2021).

Tabel 3. Karakteristik serapan IR dari beads kitosan-karaginan dengan asam laurat sebagai pengemulsi

Bilangan gelombang (cm^{-1})	Karakteristik serapan
1450 dan 1550	Serapan melebar akibat tumpang tindih vibrasi ulur gugus $-\text{NH}_3^+$ dengan C=O karbonil asam laurat.
2958 dan 2924	Serapan vibrasi ulur C-H sp^3
864	Serapan gugus $-\text{SO}_4^-$ karaginan

Tabel 4 menunjukkan terjadinya serapan tajam pada daerah bilangan gelombang 2924 cm^{-1} yang merupakan vibrasi ulur C-H gugus metoksi yang terikat pada $-\text{C}=\text{C}-$ aromatik kurkumin dan serapan tumpang tindih dengan C-H pada rantai polimer kitosan. Serapan tumpang tindih pada bilangan gelombang 1658 dan 1681 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi tekuk $-\text{NH}_2$ dari kitosan, vibrasi ulur $-\text{C}=\text{O}$ asam laurat dan kurkumin pada posisi α dan β ,

dan vibrasi ulur -C=C- pada aril pada struktur kurkumin. Serapan tumpang tindih pada bilangan gelombang 1026 dan 1080 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur C-N dan C-O-C kitosan, dan serapan pada bilangan gelombang 846 cm^{-1} menunjukkan serapan gugus SO_4^- karaginan. Serapan-serapan tersebut membuktikan keberadaan kurkumin di dalam beads kitosan-karaginan dengan asam laurat sebagai pengemulsi, dan membuktikan bahwa metode enkapsulasi kurkumin ke dalam beads melalui proses absorpsi yang dibantu dengan pengocokan berhasil dilakukan.

Tabel 4. Karakteristik serapan IR dari beads kitosan-karaginan dengan asam laurat sebagai pengemulsi yang telah mengenkapsulasi kurkumin

Bilangan gelombang (cm^{-1})	Karakteristik serapan
2924	Serapan tajam vibrasi ulur C-H gugus metoksi terikat pada C=C aromatik yang tumpang tindih dengan C-H kitosan dan asam laurat.
1658 dan 1681	Serapan tumpang tindih vibrasi tekuk -NH_2 , vibrasi ulur -C=O , dan vibrasi ulur -C=C- aril.
1026 dan 1080	Serapan tumpang tindih vibrasi ulur C-N, vibrasi ulur C-O-C.
846	Serapan gugus SO_4^- karaginan

Tabel 5 menunjukkan adanya pita serapan pada 1566 cm^{-1} mengindikasikan adanya vibrasi ulur C=N, membuktikan terbentuknya gugus imina dari reaksi antara gugus amino kitosan dengan glutaraldehida. Serapan pada bilangan gelombang 1411 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur -C-C- etilen gugus imina. Serapan tajam pada bilangan gelombang 1072 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur C-N dari interaksi kitosan dengan glutaraldehida. Serapan-serapan tersebut membuktikan terjadinya reaksi taut silang kitosan dengan glutaraldehida yang membuat kerapatan dan kestabilan beads meningkat karena keberadaan rantai alifatik yang menutupi gugus amin kitosan (Galan *et al.*, 2021).

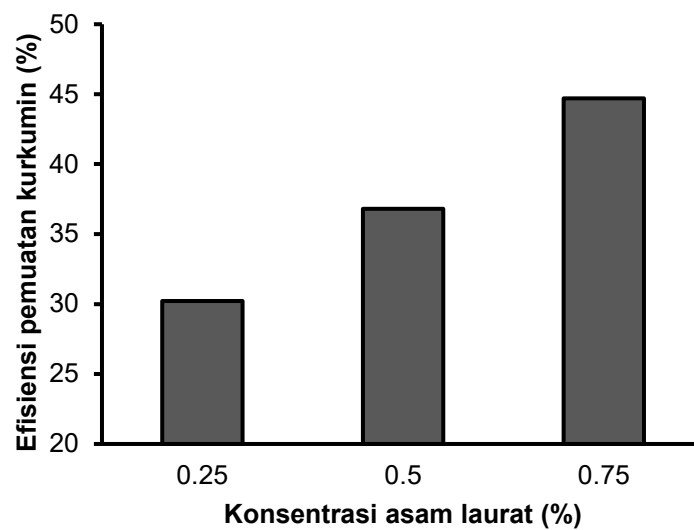
Tabel 5. Karakteristik serapan IR dari beads kitosan-karaginan tertaut silang glutaraldehida dengan asam laurat sebagai pengemulsi yang telah mengenkapsulasi kurkumin

Bilangan gelombang (cm^{-1})	Karakteristik serapan
1566	Serapan vibrasi ulur C=N
1411	Serapan vibrasi ulur -C-C- etilen
1072	Serapan tajam vibrasi ulur C-N

Kitosan berinteraksi dengan karaginan secara ionik melalui gugus amonium dari kitosan dan gugus sulfat dari karaginan (Ismillayli *et al.*, 2021). Glutaraldehida berinteraksi dengan kitosan membentuk ikatan taut silang imina pada sisi luar beads, sehingga kerapatan beads menjadi semakin meningkat (Galan *et al.*, 2021). Gugus karboksilat dari asam karboksilat berinteraksi secara elektrostatis dengan gugus amonium bermuatan positif pada kitosan (Chachanidze *et al.*, 2022), dan ekor asam laurat yang merupakan rantai hidrokarbon non-polar berinteraksi dengan kurkumin (Yeo *et al.*, 2022) dan menahannya di dalam beads.

Pengaruh konsentrasi asam laurat terhadap pemuatan kurkumin dalam Beads

Keberadaan emulsifier di dalam beads dapat meningkatkan kelarutan kurkumin dalam sistem beads sehingga mampu memperkuat interaksi beads dengan kurkumin (Yeo *et al.*, 2022). Oleh karena itu, keberadaan asam laurat dapat mempengaruhi nilai enkapsulasi kurkumin. Gambar 2 menunjukkan nilai efisiensi pemuatan kurkumin oleh beads yang semakin meningkat dengan bertambahnya konsentrasi asam laurat yang digunakan di dalam formulasi.

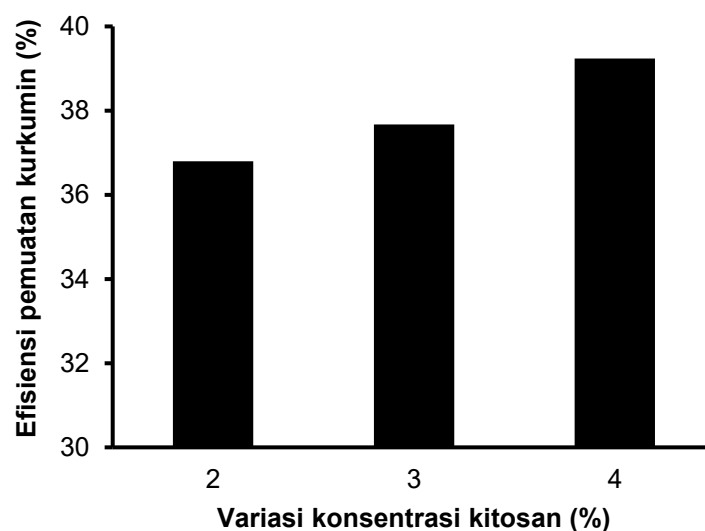


Gambar 2. Pengaruh konsentrasi asam laurat terhadap efisiensi pemuatan kurkumin

Beads dengan konsentrasi asam laurat 0,25% memiliki nilai efisiensi pemuatan kurkumin sebesar 30,22%, asam laurat 0,50% memiliki nilai efisiensi pemuatan kurkumin sebesar 36,80%, dan asam laurat 0,75% memiliki nilai efisiensi pemuatan kurkumin sebesar 44,70%. Hal ini karena semakin banyak asam laurat yang digunakan, maka semakin banyak gugus hidrofobiknya yang dapat berinteraksi kuat dengan kurkumin, sehingga kelarutan kurkumin di dalam sistem beads menjadi semakin meningkat dan interaksi beads dengan kurkumin di dalamnya menjadi semakin kuat. Oleh karena itu efisiensi pemuatan kurkumin oleh beads menjadi semakin meningkat (Yeo *et al.*, 2022).

Pengaruh konsentrasi kitosan terhadap pemuatan kurkumin dalam Beads

Konsentrasi kitosan di dalam beads dapat mengubah ukuran ruang di dalam sistem beads sehingga mempengaruhi efektivitas penstabilan oleh polimer karaginan dan asam laurat yang berinteraksi dengan kitosan (Ismillayli *et al.*, 2021). Gambar 3 menunjukkan nilai efisiensi pemuatan kurkumin oleh beads yang semakin meningkat dengan bertambahnya konsentrasi kitosan yang digunakan dalam formulasi.



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi kitosan terhadap efisiensi pemuatan kurkumin

Beads dengan konsenstrasi kitosan 2% memiliki nilai efisiensi pemuatan kurkumin sebesar 36,80%, kitosan 3% memiliki nilai efisiensi pemuatan kurkumin sebesar 37,67%, dan kitosan 4% memiliki nilai efisiensi pemuatan kurkumin sebesar 39,24%. Hal ini karena keberadaan kitosan yang semakin banyak dapat mengubah ukuran ruang di dalam sistem beads menjadi semakin besar, sehingga semakin banyak kurkumin yang dapat termuat di dalam beads.

Beads yang diformulasi menggunakan 0,75% asam laurat dan 4% kitosan menunjukkan nilai efisiensi pemuatan/enkapsulasi kurkumin tertinggi, yaitu 44,70% yang tergolong ke dalam nilai enkapsulasi moderat. Hal ini dapat terjadi karena penggunaan asam laurat yang berperan sebagai surfaktan dengan konsentrasi yang relatif kecil, sehingga domain hidrofobik untuk menahan kurkumin di dalam beads belum terbentuk secara optimal (Yeo *et al.*, 2022; Chen *et al.*, 2024). Oleh karena itu, berdasarkan trend data yang menunjukkan hubungan berbanding lurus antara kosentrasi asam laurat yang digunakan dengan nilai efisiensi enkapsulasi kurkumin, maka formulasi beads dapat menggunakan asam laurat dengan konsentrasi lebih besar dari 0,75% untuk meningkatkan domain hidrofobik di dalam sistem beads dan mengotimalkan nilai enkapsulasi kurkumin (Yeo *et al.*, 2022).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat disimpulkan bahwa nilai konsentrasi kitosan dan asam laurat yang digunakan dalam formulasi beads berbanding lurus dengan kemampuan beads dalam mengenkapsulasi kurkumin, dimana konsentrasi kitosan dan asam laurat yang semakin besar akan meningkatkan nilai enkapsulasi kurkumin dalam matriks beads. Berdasarkan hasil penelitian, formulasi beads dengan kitosan 4% dan asam laurat 0,75% menghasilkan efisiensi enkapsulasi kurkumin tertinggi.

Agar data yang disajikan menjadi lebih komprehensif, maka penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan karakterisasi beads menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) dan Transmission Electron Microscope (TEM) untuk membantu analisis morfologi beads dan distribusi ukuran partikel. Selain itu, penting untuk melakukan uji *in-vitro* untuk mengetahui stabilitas beads dalam simulasi cairan biologis dengan berbagai rentang pH, dan uji *in-vivo* untuk mengevaluasi toksisitas dan bioavailabilitasnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih Penulis sampaikan kepada Universitas Gadjah Mada dan Politeknik Negeri Cilacap, serta semua pihak yang memberikan dukungan dan motivasi dalam proses penyelesaian penelitian hingga publikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, I. Z., Murphy, E. J., Fehrenbach, G. W., Gately, N., & Major, I. (2024). Chitosan-(poly)acrylic acid polyelectrolyte complexes: Enhanced mucoadhesion and sustained drug release in vaginal tablets. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2024.100480>
- Alemu, D., Getachew, E., & Mondal, A. K. (2023). Study on the Physicochemical Properties of Chitosan and their Applications in the Biomedical Sector. In *International Journal of Polymer Science* (Vol. 2023). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2023/5025341>
- Ameena M, Meignana Arumugham I, Karthikeyan Ramalingam, & Karthikeyan Ramalingam. (2024). Biomedical Applications of Lauric Acid: A Narrative Review. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.62770>
- Barreiro-Iglesias, R., Coronilla, R., Concheiro, A., & Alvarez-Lorenzo, C. (2005). Preparation of chitosan beads by simultaneous cross-linking/ insolubilisation in basic pH: Rheological optimisation and drug loading/release behaviour. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 24(1), 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2004.09.013>

- Chachanidze, R., Xie, K., Massaad, H., Roux, D., Leonetti, M., & De Loubens, C. (2022). Structural characterization of the interfacial self-assembly of chitosan with oppositely charged surfactant. *Journal of Colloid and Interface Science Volume*, 616, 911–920. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcis.2022.01.143>
- Chen, H. W., Chen, S. Der, Wu, H. T., Cheng, C. H., Chiou, C. S., & Chen, W. T. (2024). Improvement in Curcumin's Stability and Release by Formulation in Flexible Nano-Liposomes. *Nanomaterials*, 14(22). <https://doi.org/10.3390/nano14221836>
- Desai, N., Rana, D., Salave, S., Gupta, R., Patel, P., Karunakaran, B., Sharma, A., Giri, J., Benival, D., & Kommineni, N. (2023). Chitosan: A Potential Biopolymer in Drug Delivery and Biomedical Applications. In *Pharmaceutics* (Vol. 15, Issue 4). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15041313>
- Dingalwar, A. A., Pethe, A. M., & Telrandhe, U. B. (2024). Polyelectrolyte Complex-based Multiparticulate Drug Delivery System: A Special Emphasis on Chitosan and Alginate. In *Asian Journal of Pharmaceutics* (Vol. 18, Issue 2).
- Fitri, T., Utami, Y., Nurrahman, A., & Nurhidayatun, F. (2024). *Sains Indonesiana: Jurnal Ilmiah Nusantara AKTIVITAS ANTIOKSIDAN Virgin Coconut Oil (VCO) ASAL CILACAP DENGAN METODE ABTS (2,2-Azinobis(3-ethylbenzothiazoline)-6-sulfonic acid)*.
- Fuloria, S., Mehta, J., Chandel, A., Sekar, M., Rani, N. N. I. M., Begum, M. Y., Subramaniyan, V., Chidambaram, K., Thangavelu, L., Nordin, R., Wu, Y. S., Sathasivam, K. V., Lum, P. T., Meenakshi, D. U., Kumarasamy, V., Azad, A. K., & Fuloria, N. K. (2022). A Comprehensive Review on the Therapeutic Potential of Curcuma longa Linn. in Relation to its Major Active Constituent Curcumin. In *Frontiers in Pharmacology* (Vol. 13). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.820806>
- Galan, J., Trilleras, J., Zapata, P. A., Arana, V. A., & Grande-Tovar, C. D. (2021). Optimization of chitosan glutaraldehyde-crosslinked beads for reactive blue 4 anionic dye removal using a surface response methodology. *Life*, 11(2), 1–20. <https://doi.org/10.3390/life11020085>
- Goswami, S., Saxena, S., Yadav, S., Goswami, D., Brahmachari, K., Karmakar, S., Pramanik, B., & Brahmachari, S. (2022). Review of Curcumin and Its Different Formulations: Pharmacokinetics, Pharmacodynamics and Pharmacokinetic-Pharmacodynamic Interactions. *OBM Integrative and Complementary Medicine*, 07(04), 1–35. <https://doi.org/10.21926/obm.icm.2204057>
- Hung, H. M., Manh, V. Q., Thao, V. T. T., Thuy, D. T. P., Dung, P. T., Viet, N. T. B., Linh, D. K., Linh, N. N., Oanh, D. T. Y., Chinh, N. T., Hoang, T., & Trung, V. Q. (2022). Evaluation of the effect of the chitosan/carrageenan ratio on lovastatin release from chitosan/carrageenan based biomaterials. *Vietnam Journal of Chemistry*, 60(S1), 72–78. <https://doi.org/10.1002/vjch.202200078>
- Ismillayli, N., Hadi, S., Andayani, I. G. A. S., Honiar, R., Mariana, B., Sanjaya, R. K., & Hermanto, D. (2021). Synthesize of self-electrostatic interaction chitosan-carrageenan membrane and its properties. *Journal of Physics: Conference Series*, 1943(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1943/1/012177>
- Jaferník, K., Ładniak, A., Blicharska, E., Czarnek, K., Ekiert, H., Wiącek, A. E., & Szopa, A. (2023). Chitosan-Based Nanoparticles as Effective Drug Delivery Systems—A review. In *Molecules* (Vol. 28, Issue 4). MDPI. <https://doi.org/10.3390/molecules28041963>
- Komersová, A., Svoboda, R., Skalická, B., Bartoš, M., Šnejdrová, E., Mužíková, J., & Matzick, K. (2022). Matrix Tablets Based on Chitosan–Carrageenan Polyelectrolyte Complex: Unique Matrices for Drug Targeting in the Intestine. *Pharmaceutics*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/ph15080980>
- Mckimmie, R. L., Easter, L., Weinberg, R. B., & Weinberg, R. B. (2013). Acyl chain length, saturation, and hydrophobicity modulate the efficiency of dietary fatty acid absorption

- in adult humans. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol*, 305, 620–627. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.00258.2013>.-Intestina I
- Mohammad Mohajeri, Reza Momenai, Somayyeh Karami-Mohajeri, Mandana Ohadi, & Mohammad Amin Raeisi Estabragh. (2025). Curcumin as a Natural Therapeutic Agent: A Rapid Review of Potential Clinical Uses and Mechanisms of Action. *Iran J Pharm Res.*, 24 (2025), 1–13. <https://doi.org/https://doi.org/10.5812/ijpr-156983>
- Pratiwi, P. D., Citrariana, S., & Gemantari, B. M. (2023). Bahan Tambahan dalam Sediaan Tablet: Review. *Sinteza*, 3(2), 41–48. <https://doi.org/10.29408/sinteza.v3i2.17472>
- Rabia Sohail, & Shah Rukh Abbas. (2020). Evaluation of Amygdalin-Loaded Alginate-Chitosan Nanoparticles as Biocompatible Drug Delivery Carriers for Anticancerous Efficacy. *International Journal of Biological Macromolecules*, 153(June 2020), 36–45. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.191>
- Silant'ev, V. E., Belousov, A. S., Trukhin, F. O., Struppul, N. E., Shmelev, M. E., Patlay, A. A., Shatilov, R. A., & Kumeiko, V. V. (2024). Rational Design of Pectin–Chitosan Polyelectrolyte Nanoparticles for Enhanced Temozolomide Delivery in Brain Tumor Therapy. *Biomedicines*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/biomedicines12071393>
- Tabanelli, R., Brogi, S., & Calderone, V. (2021). Improving curcumin bioavailability: Current strategies and future perspectives. In *Pharmaceutics* (Vol. 13, Issue 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13101715>
- William C. Griffin. (1949). Classification of Surface Active Agents by HLB. *Journal of Cosmetic Science*, 1, 311–326. <http://journal.scconline.org/contents/cc1949/cc001n05.html>
- Yeo, S., Kim, M. J., Shim, Y. K., Yoon, I., & Lee, W. K. (2022). Solid Lipid Nanoparticles of Curcumin Designed for Enhanced Bioavailability and Anticancer Efficiency. *ACS Omega*, 7(40), 35875–35884. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c04407>