



Peningkatan Nilai Fungsional Protein Biji Labu Kuning (*Cucurbita moschata*) melalui Teknologi Encapsulasi

*Enhancing the Functional Value of Yellow Pumpkin (*Cucurbita moschata*) Seed Protein through Encapsulation Technology*

Nur Rahmah Hidayati

Program Studi S-1 Farmasi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Tegal,
nur.rahmah.hidayati@gmail.com

*Corresponding Author: E-mail: nur.rahmah.hidayati@gmail.com

Artikel Review

Article History:

Received: 18 Jan, 2026

Revised: 08 Feb, 2026

Accepted: 23 Feb, 2026

Kata Kunci:

Cucurbita moschata

Encapsulasi

Protein nabati

Keywords:

Cucurbita moschata

Encapsulation

Plant Protein

DOI: 10.56338/jks.v9i2.9696

ABSTRAK

Biji *Cucurbita moschata* mengandung protein yang cukup tinggi. Pemanfaatan protein biji *C. moschata* menjadi salah satu sumber protein nabati yang menjanjikan. Hidrolisat protein nabati maupun bentuk peptidanya berpotensi dimanfaatkan sebagai senyawa bioaktif. Namun, kandungan protein pada produk tepung biji *C. moschata* memiliki keterbatasan seperti degradasi protein, stabilitas, bioavailabilitas, serta bioaktivitasnya selama pemrosesan dan penyimpanan. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk mengatasi keterbatasan tersebut adalah teknologi encapsulasi. Studi ini bertujuan untuk mengkaji berbagai metode encapsulasi pada hidrolisat protein maupun peptida serta pengaruhnya terhadap stabilitas, bioaktivitas, profil pelepasan senyawa bioaktif. Metode yang digunakan dalam studi literatur yaitu dengan menelusuri basis data pada Google Scholar, ScienceDirect, Scopus, dan PubMed dengan tema relevan pada rentang 2020-2025. Hasil kajian menunjukkan bahwa perbedaan metode encapsulasi dan bahan pelapis memiliki peranan penting dalam menentukan ukuran partikel, stabilitas fisikokimia, efisiensi encapsulasi, serta aktivitas biologis. *Spray drying* banyak diaplikasikan untuk menghasilkan produk kering yang stabil dan dapat diaplikasikan sebagai bahan fortifikasi makanan, sedangkan gelasi ionik yang dikombinasikan dengan *freeze dry* meningkatkan stabilitas nanopartikel dan efisiensi encapsulasi. Sistem liposom memberikan perlindungan dan pelepasan terkontrol pada simulasi gastrointestinal. Hasil-hasil tersebut menunjukkan bahwa encapsulasi dapat meningkatkan nilai guna produk hidrolisat protein maupun peptida nabati, termasuk protein biji *C. moschata* sebagai bahan pangan fungsional dan nutrasetikal.

ABSTRACT

Cucurbita moschata seeds contain relatively high protein. Utilization of *C. moschata* seed protein is a promising source of vegetable protein. Vegetable protein hydrolysates and peptide forms have the potential to be used as bioactive

compounds. However, the protein content in C. moschata seed flour products is limited by protein degradation, stability, bioavailability, and bioactivity during processing and storage. One method often used to overcome these limitations is encapsulation technology. This study aims to examine various encapsulation methods for protein and peptide hydrolysates and their effects on stability, bioactivity, and release profiles of bioactive compounds. The method used in the literature study was to search databases on Google Scholar, ScienceDirect, Scopus, and PubMed for relevant articles published in the 2020-2025 period. The results of the study indicate that differences in encapsulation methods and coating materials play an important role in determining particle size, physicochemical stability, encapsulation efficiency, and biological activity. Spray drying is widely applied to produce stable dry products that can be used as food fortification materials. In contrast, ionic gelation combined with freeze drying improves nanoparticle stability and encapsulation efficiency. The liposome system provides protection and controlled release in gastrointestinal simulations. These results indicate that encapsulation can increase the utility of plant protein and peptide hydrolyzed products, including C. moschata seed protein, as functional foods and nutraceutical ingredients.

PENDAHULUAN

Labu kuning (*Cucurbita moschata*) merupakan tanaman yang kaya manfaat kesehatan. Bagian buah labu kuning termasuk kulit, mesokarp, daging buah, dan biji mengandung senyawa bioaktif seperti fenol, flavonoid, karotenoid, antioksidan, dan asam lemak (Cvetković et al., 2021). Biji labu kuning telah lama dikenal sebagai sumber makanan karena mengandung berbagai nutrisi penting seperti karbohidrat, protein, lemak, serat, dan asam askorbat (Singh & Kumar, 2022). Penelitian Li (2020) mendukung bahwa biji sebagai residu pemanfaatan buah labu kuning memiliki kandungan protein 5 kali lipat dibandingkan pada kulit buahnya. Studi lebih lanjut menunjukkan bahwa isolat protein dari biji labu kuning memiliki kandungan protein yang sangat tinggi, yaitu sekitar 94,3 gram per 100 gram (Bučko et al., 2015). Kandungan protein dari berbagai varietas labu kuning berkisar antara 31-34% (Singh and Kumar, 2022).

Protein yang terdapat pada berbagai biji tanaman menjadi sumber protein nabati yang memiliki berbagai manfaat, seperti protein pada biji Cucurbita yang dilaporkan memiliki aktivitas antioksidan (Han 2025), penghambatan ACE, (Lin 2024), dan penghambatan alfa amilase (Haixin Li, 2020). Bioaktivitas dari protein biji ini memiliki potensi yang sangat luar biasa untuk dimanfaatkan dan dijadikan sebagai produk yang dipasarkan. Produk dari biji *C. moschata* di beberapa negara dipasarkan dalam bentuk tepung untuk campuran bahan makanan atau sebagai minuman serbuk dengan penambahan varian rasa.

Meskipun berbagai penelitian menyebutkan tentang potensi protein biji *C. moschata*, namun kajian yang fokus membahas mengenai peningkatan nilai produk dari biji *C. moschata* masih terbatas. Produk dengan bentuk tepung atau serbuk tanpa adanya partikel pelapis memiliki kekurangan, seperti menurunnya kandungan protein, perubahan kandungan air, warna, dan kontaminasi mikroba (Ahmed, 2015; Sontsa-Donhoung et al., 2018; Temba et al., 2017; Wajs et al., 2021). Kekurangan tersebut dapat diminimalisir dengan pengemasan untuk meningkatkan nilai produk protein biji *C. moschata*, yaitu melalui metode enkapsulasi. Enkapsulasi akan melindungi bahan aktif dari faktor lingkungan seperti oksigen, cahaya, meningkatkan stabilitas senyawa bioaktif, dan memperpanjang masa simpan (Ray et al., 2016). Tujuan dari literatur review ini adalah mengkaji perkembangan teknologi enkapsulasi meliputi metode, bahan pelapis, stabilitas produk, dan pengaruhnya terhadap bioaktivitas produk dan dijadikan sebagai dasar untuk peningkatan nilai produk protein biji *C. moschata*.

METODE

Metode yang digunakan dalam penulisan artikel ini menggunakan metode literatur review naratif. Artikel diperoleh dari berbagai basis data seperti Google Scholar, Scindirect, Scopus, dan PubMed menggunakan kata kunci Encapsulation AND ("protein hydrolysate" OR peptide) AND "plant protein" yang dipublikasikan dalam rentang tahun 2020-2025. Artikel yang digunakan merupakan artikel yang relevan dengan topik pemanfaatan protein nabati, berbagai metode enkapsulasi, serta pengaruh aktivitas biologisnya. Analisis deskriptif komparatif digunakan untuk mengidentifikasi temuan-temuan utama dari berbagai sumber yang relevan.

HASIL

Berdasarkan penelusuran artikel yang relevan, diperoleh beberapa penelitian dengan topik protein nabati, berbagai metode enkapsulasi, serta pengaruh aktivitas biologisnya. Temuan tersebut terangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan Penelitian Enkapsulasi Protein Tanaman

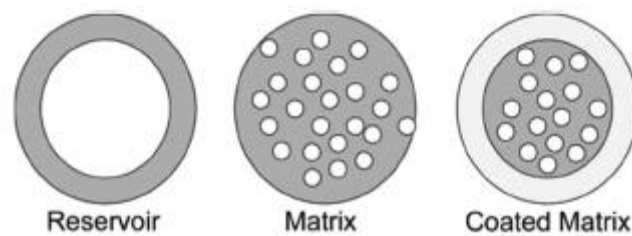
No	Penulis (Tahun)	Sampel	Metode Enkapsulasi	Bahan Pelapis	Parameter	Temuan Utama
1	(Intiquilla et al., 2022)	Peptida <i>Lupinus mutabilis</i>	<i>Gelation</i> dengan tripolifosfat dan <i>freeze drying</i>	Kitosan	Ukuran partikel, efisiensi enkapsulasi, antioksidan, profil pelepasan, interaksi kimia, dan viabilitas sel	Nanoenkapsulasi peptida menghasilkan partikel dengan ukuran 332-465 nm dengan efisiensi enkapsulasi sampai dengan 71,75%. Aktivitas antioksidan peptida tetap 80%, stabil secara kimia, dan memberikan viabilitas sel >70%.
2	(Akbarmehr et al., 2024)	Peptida pollen bunga matahari	<i>Spray drying</i>	Maltodekstrin, Gum Arabic, β -cyclodextrin	Karakteristik fisikokimia, aktivitas antioksidan, struktur dan morfologi partikel	Enkapsulasi menghasilkan partikel mikrokapsul yang memiliki sifat fisikokimia dan antioksidan yang stabil, struktur peptida yang terlindungi, dan morfologi partikel yang seragam
3	(Sarabandi, Dashipour, et al., 2024)	Peptida produk sampingan bungkil kelapa (<i>Cocos nucifera</i> L.)	<i>Spray drying</i>	Maltodekstrin dan maltodektrin-pektin	Karakteristik hasil enkapsulasi, stabilitas peptida, aktivitas bioaktif, sifat fisik dan sensori roti yang ditambahkan peptida	Peptida hasil enkapsulasi dapat ditambahkan ke dalam formulasi roti sebagai bahan fortifikasi tanpa menurunkan kualitas fisik produk, enkapsulasi

						mampu mempertahankan aktivitas peptida bioaktif selama pemanggangan dan penyimpanan roti.
4	(Mohamma di et al., 2021)	Hidrolisat protein <i>Spirulina platensis</i>	<i>Spray drying</i>	Liposom dan kitosan (Chitosom)	Stabilitas, sifat fisikokimia, sistem penghantaran, dan perlingungan protein	Pelapisan chitosom dengan teknik <i>spray drying</i> mampu meningkatkan stabilitas dan fisikokimia hidrolisat. Sistem chitosom ini memberikan perlindungan terhadap degradasi protein jika dibandingkan dengan liposom tanpa kitosan
5	(Jafarirad et al., 2025)	Peptida bioaktif dari hidrolisis protein <i>Sargassum angustifolium</i>	Gelasi Ionik	Kalsium alginat dan chia gum	Efisiensi enkapsulasi, stabilitas produk, aktivitas bioaktif, profil pelepasan	Kombinasi Kalsium alginat dan chia gum meningkatkan stabilitas peptida bioaktif, mampu mempertahankan aktivitas biologis, profil pelepasan yang lebih stabil, pangan fungsional serta berpotensi diaplikasikan sebagai pangan fungsional dan produk terapeutik
6	(Ilhan-ayisigi et al., 2021)	Peptida hidrolisis protein sekam padi	Gelasi ionik	kitosan	Aktivitas sebagai antikanker, viabilitas sel, perbandingan produk peptida non enkapsulasi dan terenkapsulasi	Peptida terenkapsulasi memiliki aktivitas antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan bentuk non enkapsulasi. Enkapsulasi juga meningkatkan stabilitas dan efektifitas peptida terhadap sel kanker.

7	(Sarabandi et al. 2024)	Peptida hidrolisis protein <i>Elaeagnus angustifolia</i>	<i>Spray drying</i>	Maltodekstrin, gum arabic, pektin, konsentrat whey protein	Stabilitas peptida, bioaktivitas, sifat sensori, kualitas produk fortifikasi	Enkapsulasi meningkatkan stabilitas peptida, mempertahankan bioaktivitas, dan menurunkan rasa pahit pada produk hasil fortifikasi.
8	(Forutan et al., 2022)	Hidrolisat protein <i>Spirulina platensis</i>	Tidak disebutkan	Liposom berlapis kitosan	Profil pelepasan terkontrol pada simulasi gastrointestinal, stabilitas, sifat struktural, dan aktivitas fungsional	Enkapsulasi berbasis nanoliposom menunjukkan pelepasan terkontrol pada simulasi gastrointestinal, mampu meningkatkan stabilitas, mempertahankan sifat struktural dan aktivitas fungsional protein
9	(Manjili, Sadeghi, et al., 2024)	Hidrolisat protein biji <i>Cucurbita maxima</i>	Gelasi ionik	alginat	Stabilitas simulasi gastrointestinal, profil pelepasan, aktivitas antioksidan	Hidrogel berlapis alginat memberikan perlindungan protein dan mempertahankan aktivitas antioksidan selama simulasi gastrointestinal, serta mengontrol profil pelepasan

DISKUSI

Enkapsulasi adalah proses pengolahan yang melibatkan perangkat bahan inti menggunakan bahan pelapis atau penyalut. Bahan inti ini bisa berupa padat, cair atau gas (Vinceković et al., 2017). Menurut Zuidam & Nedovic (2010) ada beberapa tipe enkapsulasi, yaitu *reservoir*, *matrix*, dan *coated matrix* (Gambar 1.). Tipe enkapsulasi reservoir memiliki lapisan di sekeliling materi inti yang disebut kapsul. Materi inti tidak tersebar di dalam seluruh bahan pembungkus. Pada tipe enkapsulasi matriks, materi inti tersebar di atas bahan pembungkus dan juga ditemukan di permukaan pembungkus, sehingga bahan aktif tidak hanya terlindungi di tengah akan tetapi juga di permukaan pembungkus. Terakhir yaitu tipe coated matriks yang merupakan kombinasi antara tipe reservoir dan matriks. Agen aktif akan terbungkus dalam sebuah kapsul yang dilapisi oleh lapisan tambahan (Ray et al., 2016).



Gambar 1. Tipe – tipe enkapsulasi (Zuidam & Nedovic, 2010)

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, beberapa metode enkapsulasi yang banyak digunakan seperti *spray drying*, *freeze drying*, dan *Ion Gelation*, serta sistem pengantaran berupa liposom. *Spray drying* adalah suatu metode yang digunakan untuk merubah suspensi menjadi serbuk kering dengan menguapkan pelarut. *Spray drying* merupakan metode yang hemat biaya untuk mempertahankan sifat senyawa bioaktif (Vinceković et al., 2017). Penelitian Wajs et al. (2021) menyebutkan bahwa *spray drying* digunakan untuk mengekapsulasi suatu senyawa dalam inulin yang telah dimodifikasi secara kimia. Inulin diproses dalam bentuk larutan lalu disemprotkan untuk menghasilkan partikel halus dan bulat (0,7mm-10 µm). *Spray drying* memungkinkan penyesuaian parameter, misalnya viskositas dan laju untuk mengontrol ukuran partikel yang dihasilkan. Tabel 1. Menunjukkan metode *spray drying* pada produk protein diaplikasikan untuk mendapatkan produk kering dengan stabilitas tinggi dan dapat diaplikasikan sebagai fortifikasi pangan, sedangkan metode ion gelasi banyak diaplikasikan untuk pelepasan terkontrol dan perlindungan protein.

Selanjutnya, penelitian Intiquilla et al. (2022) mengkombinasikan metode gelasi ionik dan *freeze drying* yang menghasilkan nanopartikel dengan efisiensi tinggi serta meningkatkan stabilitas fisik produk. Hal ini mengindikasikan bahwa pengeringan tambahan dapat meningkatkan nilai suatu produk protein. Menurut Pashazadeh et al. (2021) *Freeze drying* merupakan metode untuk menghilangkan kandungan air dengan membekukan lalu menguapkannya dalam kondisi vakum. Campuran bahan dan pelapis yang telah dihomogenisasi dibekukan menggunakan nitrogen cair pada suhu rendah. Setelah dibekukan, sampel dimasukkan ke dalam alat *freeze dryer* dan akan mengalami sublimasi tanpa melewati fase cair. Produk akhir berupa bubuk mikropartikel yang terenkapsulasi. Umuhozariho et al. (2020) dalam penelitiannya menyatakan bahwa teknik pengeringan biji menggunakan oven dan dilanjutkan dengan metode *freeze drying* berpengaruh pada hasil tepung biji *C. maxima*. Teknik *freeze drying* menjadi salah satu pilihan karena mampu mempertahankan lebih banyak mineral, protein, dan karoten.

Selain ketiga metode enkapsulasi yang telah disebutkan, *Fluidized bed coating* merupakan metode enkapsulasi untuk menghasilkan partikel berlapis dengan cara menyemprotkan bahan pelapis dalam suatu bed partikel yang difluidisasi. Pada proses fluidisasi, bahan padat diletakkan pada tempat yang memungkinkan adanya aliran gas. Partikel akan berubah menjadi cairan ketika gas dialirkan. Ketika partikel sudah menjadi cair, larutan pelapis disemprotkan ke dalam bed. Proses pengeringan dilakukan untuk menghilangkan pelarut dan memastikan larutan pelapis menempel dengan baik. Bahan pelapis biasanya berasal dari gum, pati, atau protein (Ray et al., 2016).

Teknologi enkapsulasi dapat dikombinasikan dengan sistem liposom. Sistem ini berfungsi sebagai media pengantaran enkapsulasi yang cukup efektif karena kemampuan pelepasan terkontrol dan mempertahankan aktivitas antioksidan yang baik pada simulasi gastrointestinal. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa penggunaan liposom berlapis kitosan mampu meningkatkan stabilitas dan proteksi protein jika dibandingkan dengan liposom tanpa lapisan, khususnya terhadap degradasi selama proses pengeringan dan penyimpanan (Forutan et al., 2022; Kaveh et al., 2022).

Bahan pelapis yang digunakan dalam teknologi enkapsulasi meliputi gum arabic, kitosan, maltodekstrin, kalsium alginat, pektin, whey protein, dan inulin (Manjili et al. 2024; Papoutsis et al. 2018; Wajs et al. 2021). Menurut Ray, Raychaudhuri, & Chakraborty (2016) bahan pelapis yang digunakan untuk enkapsulasi harus memiliki sifat reologi yang baik, secara efektif menstabilkan bahan aktif selama pemrosesan, tidak bereaksi dengan bahan aktif selama enkapsulasi, mampu mempertahankan bahan aktif selama penyimpanan, dan memberikan perlindungan maksimal terhadap kondisi lingkungan. Perbedaan bahan pelapis pada enkapsulasi akan mempengaruhi stabilitas dan bioaktivitas baik hidrolisat protein maupun peptida. Kitosan memberikan kemampuan untuk meningkatkan stabilitas dan aktivitas antioksidan. Kitosan memiliki sifat kation yang mampu membentuk interaksi elektrostatis yang berfungsi melindungi struktur protein (Bourouis et al., 2025), sedangkan bahan pelapis seperti alginat maupun dikombinasikan dengan chia gum lebih sesuai diaplikasikan untuk sistem pelepasan terkontrol, seperti simulasi gastrointestinal (Forutan et al., 2022; Jafarirad et al., 2025). Penelitian lain menyebutkan bahwa natrium alginat mampu meningkatkan stabilitas dan umur dari senyawa bioaktif. Selain itu, enkapsulasi secara efektif akan menutupi rasa tidak enak pada bahan bioaktif dan mengandung antioksidan yang lebih baik dibandingkan dengan bahan yang tidak dienkapsulasi (Herman-Lara et al. 2024). Enkapsulasi menggunakan MCM-41 juga memberikan beberapa keuntungan seperti aktivitas antioksidan yang lebih tinggi, mampu mempertahankan aktivitas dan penangkapan radikal bebas yang lebih tinggi.

Meskipun studi yang dilakukan sebagian besar menggunakan sumber protein selain biji *C. moschata*, temuan-temuan yang diperoleh memberikan dasar penting terkait strategi enkapsulasi yang dapat diaplikasikan pada hidrolisat maupun peptida biji *C. moschata*. Penelitian Manjili et al., (2024) membahas mengenai pembuatan enkapsulasi multi layer pada hidrosilat protein biji labu (*C. maxima*) dimulai dengan pemrosesan biji labu untuk mendapatkan protein kemudian dihidrolisis secara enzimatis. Protein hidrosilat dimasukkan kedalam matriks hidrogel yang terbuat dari alginat, karboksimetil selulosa (CMC), kemudian dilapisi kitosan. Hasil penelitian tersebut menyebutkan bahwa laju pelepasan hidrosilat protein pada sampel kitosan alginat lebih tinggi pada saluran pencernaan. Aktivitas antioksidan ditemukan pada sampel kitosan-alginat meningkat seiring peningkatan konsentrasi kitosan. Pengukuran zeta potensial dan ukuran partikel menggunakan FTIR menunjukkan stabilitas sistem pengantaran. Hal ini menunjukkan bahwa protein biji *C. moschata* berpotensi dikembangkan menggunakan sistem hidrogel atau enkapsulasi multilayer untuk meningkatkan bioaktivitas dan stabilitasnya. Menurut Jyothi et al. (2017) setelah proses enkapsulasi, ada beberapa parameter yang harus diamati, yaitu seperti variasi berat, waktu penghancuran, kandungan senyawa bioaktif, dan aktivitasnya pada suatu penyakit.

KESIMPULAN

Metode enkapsulasi dapat dijadikan alternatif untuk meningkatkan nilai produk karena memiliki beberapa kelebihan, seperti meningkatkan stabilitas senyawa bioaktif, meningkatkan kandungan antioksidan, meningkatkan waktu disintegrasi suatu produk, dan memperpanjang masa simpan suatu produk. Pemilihan bahan pelapis dan metode enkapsulasi didasarkan pada karakteristik dan tujuan dari enkapsulasi tersebut. Melalui metode enkapsulasi ini, protein biji *C. moschata* berpotensi sebagai bahan pangan fungsional, memiliki dampak kesehatan serta nilai produk yang lebih tinggi.

REKOMENDASI

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan pendekatan meta analisis kuantitatif untuk mendapatkan temuan yang lebih kuat dan terukur. Selain itu, diperlukan penelitian yang secara khusus menguji efektivitas enkapsulasi hidrolisat protein maupun peptida biji *C. moschata* menggunakan berbagai sistem penghantaran untuk menemukan metode dan bahan pelapis yang optimal.

KETERBATASAN

Hasil studi yang dilakukan menunjukkan peningkatan stabilitas dan bioaktivitas protein setelah dilakukan enkapsulasi. Namun demikian, penelitian masih terbatas pada studi *in vitro*, sehingga efektivitas dan bioavailabilitas enkapsulasi protein pada kondisi biologis belum dapat dianalisis lebih lanjut. Selain itu, perbedaan metode, parameter uji, dan sistem enkapsulasi menjadi kekurangan dalam melakukan analisis secara komprehensif. Sebagian besar potensi enkapsulasi protein biji *C. moschata* masih didasarkan pada studi komparatif dari sumber protein lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, M. S. H. (2015). Effect of Storage Temperature and Periods on Some Characteristics of Wheat Flour Quality. *Food and Nutrition Sciences*, 06(12), 1148–1159. <https://doi.org/10.4236/fns.2015.612120>
- Akbarmehr, A., Hadi, S., Pourhasan, L., & Sarabandi, K. (2024). Spray-drying encapsulation of sunflower pollen peptides using carbohydrate polymers : Physicochemical , antioxidant , structural and morphological analysis. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 8(November), 100622. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2024.100622>
- Bourouis, I., Julian, D., Li, H., Pang, Z., & Liu, X. (2025). *Food Hydrocolloids Interaction mechanism between soy protein microgels and chitosan and the resulting physical properties : effect of biopolymer ratio , pH and ionic strength.* 168(February). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.111557>
- Bučko, S., Katona, J., Popović, L., Vaštag, Ž., Petrović, L., & Vasić, M. V. (2015). Investigation on solubility, interfacial and emulsifying properties of pumpkin (*Cucurbita pepo*) seed protein isolate. *LWT - Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.054>
- Cvetković, D., Stanojević, L., Zvezdanović, J., Stanojević, J., Savić, D., Karabegović, I., & Danilović, B. (2021). Pumpkin fruit (*Cucurbita pepo* L.) as a source of phytochemicals useful in food and pharmaceutical industries. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(5), 4596–4607. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-01014-5>
- Forutan, M., Hasani, M., Hasani, S., Salehi, N., & Sabbagh, F. (2022). Liposome System for Encapsulation of *Spirulina platensis* Protein Hydrolysates : Controlled-Release in Simulated Gastrointestinal Conditions , Structural and. *Materials*, 15(8581), 1–18.
- Herman-Lara, E., Rivera-Abascal, I., Gallegos-Marín, I., & Martínez-Sánchez, C. E. (2024). Encapsulation of hydroalcoholic extracts of *Moringa oleifera* seed through ionic gelation. *Lwt*, 203(March). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116368>
- Ilhan-ayisigi, E., Budak, G., Soner, M., Sevimli-gur, C., & Yesil-celiktas, O. (2021). Journal of Industrial and Engineering Chemistry Anticancer activities of bioactive peptides derived from rice husk both in free and encapsulated form in chitosan. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 103, 381–391. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2021.08.006>
- Intiquilla, A., Jim, K., Iris, A., Gamboa, A., Caro, N., Diaz, M., Gotteland, M., Abugoch, L., & Tapia, C. (2022). Nanoencapsulation of antioxidant peptides from *Lupinus mutabilis* in chitosan nanoparticles obtained by ionic gelling and spray freeze drying intended for colonic delivery. *Food Bioscience*. 50(April). <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102055>
- Jafarirad, S., Nateghi, L., Moslemi, M., Pahlevan, K., & Khosravi-darani, K. (2025). Food Chemistry : X Encapsulation of bioactive peptides derived from *Sargassum angustifolium* algae using calcium alginate and chia gum. *Food Chemistry: X*, 29(June), 102787. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102787>

- Jyothi, D., Koland, M., & James, J. (2017). Formulation of Herbal Capsule Containing Trigonella Foenum-Graecum Seed Extract for the Treatment of Diabetes. *Journal of Young Pharmacists*, 9(3), 352–356. <https://doi.org/10.5530/jyp.2017>
- Kaveh, S., Sadeghi, A., Ghorbani, M., & Mahdi, S. (2022). Industrial Crops & Products Fenugreek seed (*Trigonella foenum graecum*) protein hydrolysate loaded in nanosized liposomes : Characteristic , storage stability , controlled release and retention of antioxidant activity. *Industrial Crops & Products*, 182(April), 114908. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114908>
- Li, H. (2020). Evaluation of bioactivity of butternut squash (*Cucurbita moschata* D.) seeds and skin. *Food Science and Nutrition*, 8(7), 3252–3261. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1602>
- Manjili, Z., Sadeghi, A., Ghorbani, M., Shahiri, H., & Erfani, V. (2024). Current Research in Food Science Composite alginate-based hydrogel delivery of antioxidant pumpkin protein hydrolysate in simulated gastrointestinal condition. *Current Research in Food Science*, 8(April), 100739. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100739>
- Manjili, Z., Sadeghi Mahoonak, A., Ghorbani, M., & Shahiri Tabarestani, H. (2024). Multi-layer encapsulation of pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) seed protein hydrolysate and investigating its release and antioxidant activity in simulated gastrointestinal digestion. *Heliyon*, 10(8), e29669. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29669>
- Mohammadi, M., Hamishehkar, H., Ghorbani, M., & Shahvalizadeh, R. (2021). Engineering of Liposome Structure to Enhance Physicochemical Properties of Spirulina plantensis Protein Hydrolysate : Stability during Spray-Drying. *Antioxidants*, 10(1), 153. <https://doi.org/10.3390/antiox10010153>
- Papoutsis, K., Golding, J. B., Vuong, Q., Pristijono, P., Stathopoulos, C. E., Scarlett, C. J., & Bowyer, M. (2018). Encapsulation of citrus by-product extracts by spray-drying and freeze-drying using combinations of maltodextrin with soybean protein and ι-carrageenan. *Foods*, 7(1), 1–12. <https://doi.org/10.3390/foods7010115>
- Pashazadeh, H., Zannou, O., Ghellam, M., Koca, I., Galanakis, C. M., & Aldawoud, T. M. S. (2021). Optimization and encapsulation of phenolic compounds extracted from maize waste by freeze-drying, spray-drying, and microwave-drying using maltodextrin. *Foods*, 10(6), 1061. <https://doi.org/10.3390/foods10061061>
- Ray, S., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. (2016). An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology. *Food Bioscience*, 13, 76–83. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.12.009>
- Sarabandi, K., Dashipour, A., Akbarbaglu, Z., Peighambaroust, S., Ayaseh, A., Kafil, H., Jafari, S., & Khaneghah, A. (2024). Incorporation of spray- dried encapsulated bioactive peptides from coconut (*Cocos nucifera* L.) meal by- product in bread formulation. *Food Science & Nutrition*, 12, 4723–4734. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1602>
- Sarabandi, K., Karami, Z., Akbarbaglu, Z., & Duangmal, K. (2024). Spray-drying stabilization of oleaster-seed bioactive peptides within biopolymers: Pan-bread formulation and bitterness-masking. *Food Bioscience*, 58, 103837. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103837>
- Singh, A., & Kumar, V. (2022). Nutritional , phytochemical , and antimicrobial attributes of seeds and kernels of different pumpkin cultivars. *October 2021*, 182–193. <https://doi.org/10.1002/fft2.117>
- Sontsa-Donhoung, A.-M., Bongse Andosse, P. K., Moboune Tetmoun, A., Bougnon, B., & Mounjouenpou, P. (2018). Impact of the storage conditions and duration on some nutritional parameters of three flours of mass consumption in Cameroon. *African Journal of Food Science*, 12(3), 38–45. <https://doi.org/10.5897/ajfs2017.1588>
- Temba, M. C., Njobeh, P. B., & Kayitesi, E. (2017). Storage stability of maize-groundnut composite flours and an assessment of aflatoxin B1 and ochratoxin A contamination in flours and porridges. *Food Control*, 71, 178–186. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.06.033>

-
- Umuhozariho, M. G., Sirimu, C., Hagenimana, T., Nsabimana, P., Uwobasa, N., & Uwineza, A. P. (2020). Effect Of Oven And Freeze drying On Nutritional Composition Of Pumpkin (*Cucurbita maxima*) Processed Flour. *Rwanda Journal of Agricultural Sciences*, 2(1), 33–39. <https://www.researchgate.net/publication/345132521>
- Vinceković, M., Viskić, M., Jurić, S., Giacometti, J., Bursać Kovačević, D., Putnik, P., Donsi, F., Barba, F. J., & Režek Jambrak, A. (2017). Innovative technologies for encapsulation of Mediterranean plants extracts. *Trends in Food Science and Technology*, 69, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.001>
- Wajs, J., Panek, J., Frac, M., & Stasiak, M. (2021). Influence of long-term storage on the caking properties determined in punch test and fungal contamination of potato starch and wheat flour. *Materials*, 14(2), 1–15. <https://doi.org/10.3390/ma14020331>
- Zuidam, N. J., & Nedovic, V. . (2010). *Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing*. Springer.