

Aplikasi Teknologi Mikroenkapsulasi dalam Meningkatkan Stabilitas dan Efektivitas Bahan Aktif pada Produk Kosmetik: Kajian Literatur

Feggy Yustika Sitinjak^{1*}, Arif Budiman², Diah Lia Aulifa², Santi Sinala³

¹ Program Studi Magister Farmasi, Universitas Padjadjaran

² Jurusan Farmasi, Universitas Padjadjaran, Hegarmanah, Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat 45363

³ Jurusan Farmasi, Politeknik Kesehatan Makassar, Jl. Baji Gau No.10, Baji Mappakasunggu, Kec. Mamajang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90223

*Corresponding author: feggy24001@mail.unpad.ac.id

Info Artikel: Diterima bulan Mei 2025 ; Disetujui bulan April 2025 ; Publikasi bulan Juni 2025

ABSTRACT

The cosmetic industry has experienced rapid growth due to increasing consumer awareness of the importance of skincare and optimal appearance. Cosmetic products not only serve aesthetic purposes but also protect the skin from external factors such as UV radiation, aging, and pollution. Although many studies have discussed the benefits of microencapsulation, there remains a gap in literature regarding its application in finished cosmetic products. This review aims to provide a deeper understanding of the application of microencapsulation in enhancing the stability and effectiveness of active ingredients in cosmetic products. This review is based on a literature review of 9 selected articles from national and international journals. The literature search was conducted through PubMed and Google Scholar using keywords related to microencapsulation in cosmetic products. The findings show that microencapsulation improves the stability of active ingredients by protecting them from degradation and enables controlled release of the active ingredients. Cosmetic products such as sunscreen gel, face creams, and blushes have been successfully developed using microencapsulation technology. Furthermore, microencapsulation also enhances user comfort by masking undesirable odors or colors and reducing the risk of skin irritation. This review also identifies the technical limitations of various microencapsulation methods and provides recommendations for future research to improve the application of this technology in the cosmetic industry, making it more efficient and sustainable. In conclusion, microencapsulation is an effective solution to enhance the stability, effectiveness, and overall user experience in cosmetic formulations.

Keywords: *Cosmetic applications, effectiveness, microencapsulation cosmetics, microencapsulated method, stability*

ABSTRAK

Industri kosmetika berkembang pesat seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat akan pentingnya perawatan kulit dan penampilan optimal. Produk kosmetika tidak hanya berfungsi untuk estetika, tetapi juga untuk melindungi kulit dari faktor eksternal seperti sinar UV, penuaan, dan polusi. Meskipun banyak penelitian yang membahas kelebihan mikroenkapsulasi, masih sedikit yang menganalisis penerapannya pada produk kosmetik jadi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai penerapan mikroenkapsulasi dalam meningkatkan stabilitas dan efektivitas bahan aktif dalam produk kosmetika. Kajian ini menggunakan metode literatur review berdasarkan 9 artikel ilmiah terpilih yang diambil dari jurnal nasional dan internasional. Pencarian literatur dilakukan melalui PubMed dan Google Scholar dengan kata kunci terkait mikroenkapsulasi dalam produk kosmetika. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mikroenkapsulasi dapat meningkatkan stabilitas bahan aktif, melindunginya dari degradasi akibat faktor lingkungan, serta memungkinkan pelepasan bahan aktif secara terkontrol. Produk kosmetika seperti sunscreen gel, krim wajah, dan perona pipi telah berhasil dikembangkan menggunakan teknologi mikroenkapsulasi. Selain itu, mikroenkapsulasi juga meningkatkan kenyamanan pengguna dengan mengurangi bau atau warna yang tidak diinginkan dan mengurangi risiko iritasi kulit. Review ini juga mengidentifikasi keterbatasan teknis yang ada pada metode-metode mikroenkapsulasi dan memberikan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya guna meningkatkan penerapan teknologi ini dalam industri kosmetika yang lebih efisien dan berkelanjutan. Kesimpulannya, mikroenkapsulasi adalah solusi efektif untuk meningkatkan stabilitas, efektivitas bahan aktif, dan kualitas pengalaman pengguna dalam kosmetika.

Kata Kunci: Aplikasi kosmetik, efektivitas, kosmetik mikroenkapsulasi, metode mikroenkapsulasi, stabilitas

PENDAHULUAN

Industri kosmetika terus berkembang dengan pesat seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap pentingnya perawatan kulit dan penampilan. Produk kosmetika tidak hanya berfungsi sebagai alat untuk meningkatkan estetika, tetapi juga memiliki peran penting dalam melindungi kulit dari berbagai faktor eksternal yang dapat merusak, seperti paparan sinar UV, polusi, dan penuaan dini^{1,2}. Seiring dengan berkembangnya permintaan produk berbahan alami, kosmetika kini banyak mengandalkan bahan aktif seperti antioksidan, vitamin C, peptida, dan minyak esensial untuk memberikan manfaat biologis yang optimal bagi kulit³.

Namun, meskipun bahan aktif alami ini memiliki manfaat yang besar, banyak di antaranya yang rentan terhadap degradasi akibat paparan lingkungan, seperti suhu, cahaya, pH, dan oksidasi^{4,5}. Degradasi ini dapat mengurangi efek bahan aktif, bahkan menyebabkan iritasi pada kulit, yang berpotensi menurunkan kualitas dan keberlanjutan produk kosmetika^{6,7}. Oleh karena itu, dibutuhkan teknologi yang dapat melindungi bahan aktif dari faktor eksternal ini dan menjaga kestabilannya.

Mikroenkapsulasi, sebagai teknologi yang dapat membungkus bahan aktif dalam lapisan pelindung, menawarkan solusi yang efektif untuk masalah ketidakstabilan bahan aktif ini. Kerangka teoretis mikroenkapsulasi berfokus pada prinsip dasar pembungkusan bahan aktif dalam matriks pelindung yang berfungsi untuk mengisolasi bahan aktif dari faktor eksternal yang merusak, serta memberikan *controlled release* (pelepasan terkontrol) dan *targeted delivery* (penyaluran yang ditargetkan) ke area kulit yang membutuhkan perawatan intensif. Teknologi ini meningkatkan stabilitas bahan aktif, memperpanjang durasi efektivitasnya, dan memungkinkan pelepasan bertahap sesuai kebutuhan kulit, yang sangat penting dalam produk kosmetik. Beberapa metode mikroenkapsulasi, seperti gelasi ionik, *spray drying*, dan *solvent evaporation*, telah banyak digunakan untuk meningkatkan stabilitas dan efektivitas bahan aktif dalam produk kosmetika⁸⁻¹⁰. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa bahan aktif yang dienkapsulasi memiliki efektivitas lebih tinggi dibandingkan bentuk bebasnya, dengan risiko iritasi yang lebih rendah¹¹. Selain itu, mikroenkapsulasi juga membantu dalam formulasi produk kosmetik yang lebih estetik, karena dapat menyamarkan bau atau warna bahan aktif yang kurang diinginkan^{12,13}.

Meskipun sudah banyak artikel yang membahas mengenai kelebihan dari mikroenkapsulasi, masih kurang artikel yang menjelaskan dan menganalisis secara mendalam penerapannya pada produk kosmetik jadi. Oleh karena itu, review artikel ini bertujuan untuk memberikan pengetahuan lebih lanjut tentang penerapan mikroenkapsulasi dalam meningkatkan stabilitas dan efektivitas bahan aktif pada produk kosmetika. Artikel ini juga akan merangkum dan membahas keterbatasan teknis yang ada pada berbagai metode mikroenkapsulasi, serta memberikan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya guna meningkatkan penerapan teknologi ini dalam industri kosmetika yang lebih efisien dan berkelanjutan.

MATERI DAN METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam kajian ini dirancang secara cermat untuk melakukan *literatur review* yang komprehensif dan sistematis mengenai aplikasi teknologi mikroenkapsulasi dalam meningkatkan stabilitas dan efektivitas bahan aktif pada produk kosmetik. Kerangka metodologis disusun dalam beberapa tahapan yang masing-masing difokuskan untuk menjawab aspek tertentu dari proses kajian, guna memastikan kejelasan dan ketelitian sepanjang proses penelitian.

Pencarian literatur dilakukan melalui dua basis data utama, yaitu PubMed dan Google Scholar. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian artikel adalah: “Microencapsulation AND Cosmetics AND Active Ingredients AND Stability OR Effectiveness”. Selain itu, digunakan pula padanan dalam Bahasa Indonesia: “Mikroenkapsulasi DAN Kosmetik DAN Bahan Aktif DAN Aplikasi ATAU Efektivitas”. Seluruh referensi yang diperoleh dikelola menggunakan perangkat lunak manajemen referensi Mendeley untuk memudahkan penyaringan dan dokumentasi artikel.

Artikel yang ditemukan melalui pencarian awal disaring berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditentukan sebelumnya.

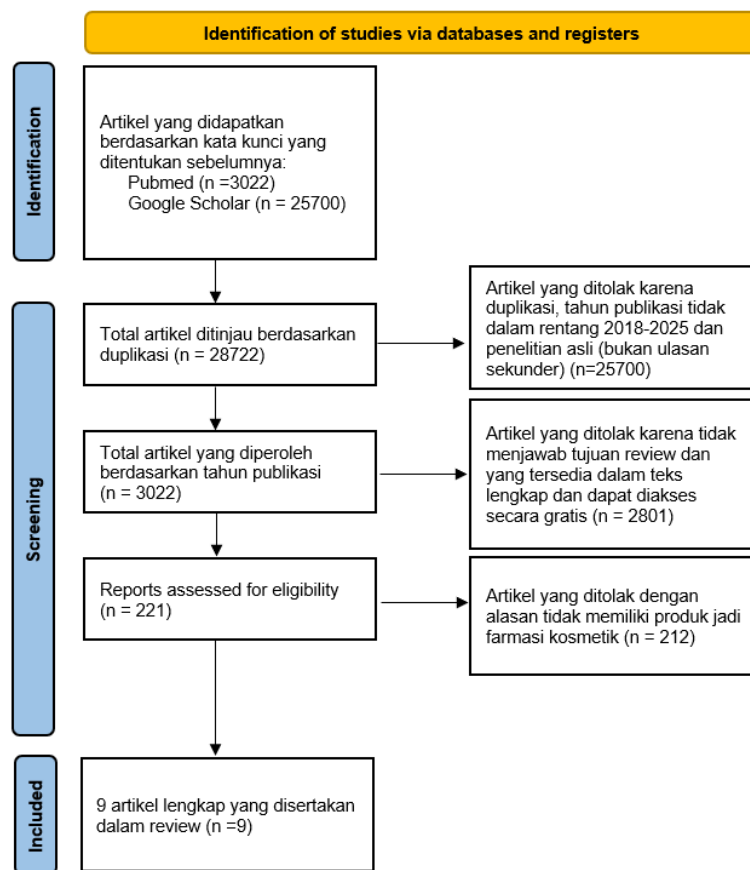
Kriteria inklusi:

1. Artikel yang diterbitkan dari tahun 2018–2025
2. Artikel yang tersedia dalam teks lengkap dan dapat diakses secara gratis
3. Artikel penelitian asli (bukan ulasan sekunder)
4. Artikel yang membahas aplikasi mikroenkapsulasi dalam produk kosmetik, dengan fokus pada efektivitas atau stabilitas bahan aktif

Kriteria eksklusi:

1. Artikel dengan judul, abstrak, atau isi yang tidak relevan dengan fokus penelitian
2. Penelitian yang tidak dilakukan dalam konteks produk kosmetik (misalnya, aplikasi farmasi murni)
3. Artikel duplikat

Proses seleksi artikel ditampilkan dalam bagan alur PRISMA (Gambar 1). Berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan, sebanyak 9 artikel terpilih untuk dianalisis lebih lanjut. Validitas dalam penelitian literatur dicapai melalui seleksi artikel yang andal dan berkualitas tinggi¹⁴.



Gambar 1. bagan alur PRISMA

Penetapan kriteria inklusi dan eksklusi bertujuan untuk meminimalkan bias dan memastikan ketepatan data yang dianalisis. Analisis data dilakukan dalam empat tahapan utama¹⁵:

1. Reduksi data: Membaca secara menyeluruh seluruh artikel yang telah terseleksi untuk memahami konteks dan temuan utama.
2. Pencatatan temuan: Mencatat poin-poin penting dari masing-masing artikel berdasarkan kerangka konseptual penelitian ini. Temuan tambahan yang berkontribusi terhadap sintesis wawasan baru juga didokumentasikan¹⁶.
3. Pengelompokan tematik: Catatan dari berbagai artikel kemudian dikategorikan ke dalam tema-tema tertentu yang berkembang menjadi konsep tematik yang mewakili manfaat mikroenkapsulasi dalam kosmetik.
4. Penyajian data dan penarikan kesimpulan: Data disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan narasi deskriptif sebagaimana lazim dalam studi tinjauan sistematis¹⁷.

Seluruh proses analisis dilakukan secara independen oleh dua peneliti, dan hasilnya dibandingkan serta didiskusikan untuk memastikan reliabilitas dan mengurangi potensi bias interpretatif.

HASIL

Pada review ini, terdapat sembilan artikel yang membahas berbagai sediaan farmasi dengan berbagai metode mikroenkapsulasi. Pembagian tema dalam tabel ini dilakukan berdasarkan jenis bahan aktif yang digunakan serta mekanisme mikroenkapsulasi yang diterapkan, yang masing-masing mempengaruhi kualitas dan efektivitas sediaan kosmetik yang dihasilkan.

Beberapa artikel menggunakan metode mikroenkapsulasi yang berbeda untuk meningkatkan kontrol pelepasan bahan aktif, kestabilan, dan efektivitasnya dalam jangka panjang. Secara garis besar, bahan aktif yang digunakan dapat dibagi dalam dua kategori utama: bahan aktif untuk perlindungan kulit (seperti sunscreen dan anti-aging) dan bahan aktif untuk perawatan kulit dan pengawetan aroma (seperti parfum dan pelembab). Pembagian ini memberikan gambaran mengenai bagaimana mekanisme masing-masing metode mikroenkapsulasi mempengaruhi aplikasi kosmetik.

Tabel 1 di bawah ini memaparkan berbagai jenis metode mikroenkapsulasi yang diterapkan, bahan aktif yang digunakan, jenis polimer serta hasil yang dicapai dalam masing-masing penelitian:

Tabel 1. Metode Mikroenkapsulasi dalam Sediaan Kosmetik dan Hasil yang Dicapai

No.	Bahan	Metode Mikroenkapsulasi	Polimer	Sediaan Kosmetik	Hasil	Referensi
1.	Ekstrak labu kuning	Gelasi ionik	Chitosan, na-tp	Masker gel <i>peel off</i>	Meningkatkan kontrol pelepasan bahan aktif dan memperpanjang stabilitas bahan aktif.	18
2.	Butterfly pea anthocyanins	<i>Spray drying</i>	Maltodextrin, gum arab	Pemerah pipi atau perona pipi	Meningkatkan kestabilan warna dan mempertahankan sifat antioksidan hingga 90% setelah 60 hari.	19
3.	Miana leaves	<i>Spray Drying</i>	Maltodextrin	Krim wajah	Meningkatkan retensi bahan aktif dan meningkatkan stabilitas dalam jangka panjang.	20
4.	Avobenzon, octylmethoxycinnamate, octocrylene	<i>Spray drying</i>	Lipidic microcapsules	<i>Sunscreen</i> antibakteri	Memperpanjang efektivitas proteksi UV dengan kontrol pelepasan bahan aktif yang lebih terarah.	21
5.	Jajoba oil, raspberry seed oil	Gelasi ionik	Sodium alginate	<i>Sunscreen</i> gel	Memberikan perlindungan UV lebih stabil hingga 96% dan meningkatkan durasi efektivitas bahan aktif.	22
6.	Gac Oil (Momordica cochinchinensis)	Alginate Beads	Sodium alginate	Serum	Meningkatkan stabilitas beta-karoten dan melindungi bahan aktif dari degradasi oksidatif.	23
7.	Minyak Turmeric dan Jajoba	Gelasi Ionik	Sodium alginate	Salep <i>anti-aging</i>	Meningkatkan pelepasan bahan aktif secara bertahap untuk efektivitas yang lebih lama.	24
8.	Minyak biji anggur (gse)	<i>Solvent evaporation</i>	Etilselulosa	Gel pelembab kulit	Meningkatkan pelepasan bahan aktif secara terkontrol untuk perawatan kulit yang lebih efektif.	25
9.	<i>Fragrance</i> (patchouli, hexyl cinnamaldehyde)	<i>Solvent evaporation</i>	Silika mesopori	Parfum	Menghasilkan pelepasan aroma yang lebih tahan lama hingga 24 jam, memperpanjang durasi keharuman.	26

Dari hasil analisis terhadap 9 artikel yang mengkaji penerapan mikroenkapsulasi dalam produk kosmetik, ditemukan beberapa tren dan pola yang signifikan. Berdasarkan mekanisme metode, dapat diklasifikasikan bahwa *spray drying* lebih dominan digunakan untuk bahan aktif yang membutuhkan pembentukan partikel halus dan cepat kering, seperti anthocyanins dan *UV filter*, sedangkan gelasi ionik lebih banyak diaplikasikan untuk bahan aktif alami yang memerlukan pelepasan terkontrol jangka panjang, seperti minyak esensial atau ekstrak tanaman dalam produk seperti masker gel dan salep *anti-aging*. *Solvent evaporation* digunakan lebih terbatas, khususnya untuk bahan aktif yang bersifat volatil, seperti parfum dan pelembab kulit.

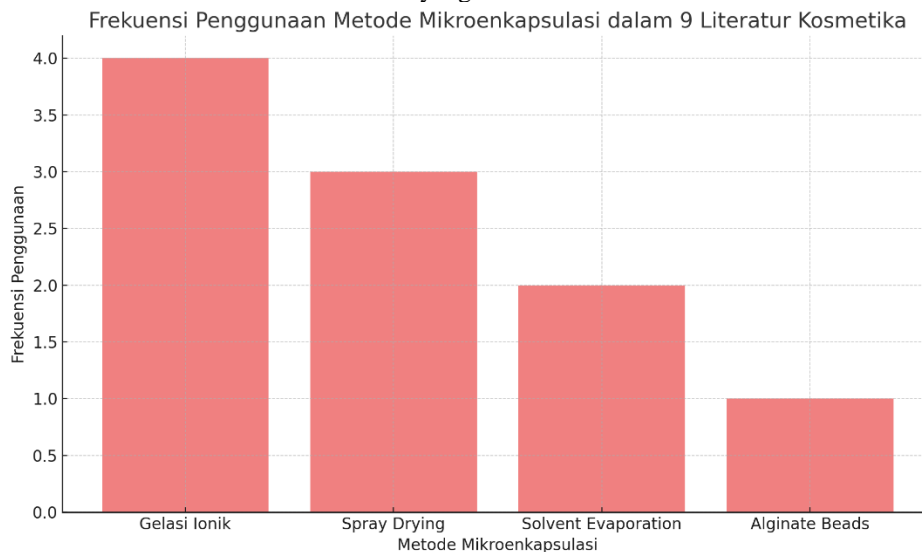
Dari sisi tren penggunaan metode, *spray drying* digunakan dalam 4 artikel dan gelasi ionik dalam 3 artikel, menjadikannya metode yang paling banyak digunakan dalam literatur yang dianalisis. Hal ini menunjukkan adanya preferensi terhadap metode yang mampu menjaga stabilitas termal dan pelepasan terkontrol dari bahan aktif.

Polimer yang paling sering digunakan adalah sodium alginate (3 artikel), karena kemampuannya menjaga stabilitas bahan aktif dalam media berbasis air dan mendukung pelepasan bertahap. Maltodextrin dan chitosan juga

digunakan, meskipun dengan frekuensi lebih rendah. Hal ini menunjukkan kecenderungan pemilihan polimer berdasarkan sifat larut air dan kompatibilitasnya dengan bahan aktif kosmetik.

Berdasarkan jenis sediaan, produk *sunscreen* gel dan krim wajah merupakan formulasi yang paling banyak mengadopsi teknologi mikroenkapsulasi, menandakan pentingnya stabilitas dan kontrol pelepasan bahan aktif dalam produk-produk yang digunakan rutin dan membutuhkan efek jangka panjang.

Berikut disajikan grafik yang menunjukkan frekuensi penggunaan metode mikroenkapsulasi dalam produk kosmetik berdasarkan 9 literatur dalam literatur yang dianalisis:



Gambar 2: Frekuensi Penggunaan Metode Mikroenkapsulasi

Metode Gelasi Ionik dan *Spray Drying* muncul paling sering dalam literatur yang dianalisis, menunjukkan preferensi penggunaan kedua metode ini dalam aplikasi kosmetik. *Solvent Evaporation* juga digunakan, namun lebih terbatas pada produk seperti parfum dan gel pelembab kulit.

PEMBAHASAN

Mikroenkapsulasi didefinisikan sebagai proses mengelilingi partikel kecil atau tetesan dengan lapisan atau menyematkannya dalam matriks untuk membentuk mikrokapsul. Ukuran mikrokapsul ini dapat berkisar dari 1 mikrometer hingga beberapa ratus mikrometer²⁷. Proses ini pertama kali dikembangkan pada tahun 1953 untuk mengenkapsulasi pewarna leuco dalam kertas fotokopi tanpa karbon, dan sejak itu, telah berkembang untuk mencakup berbagai metode dan aplikasi²⁸.

Mikroenkapsulasi adalah bentuk teknologi dan bisa dijadikan sebuah solusi dalam mengatasi permasalahan, khususnya pada bidang farmasi ataupun kosmetika⁸. Menurut studi literatur memaparkan terkait fungsi dari produk kosmetika sendiri tidak hanya sebagai melengkapi keestetikaan saja²⁹, tetapi juga berperandalam melindungi dari paparan sinar UV¹, sebagai antioksidan³⁰, mencerahkan kulit², anti penuaan, dan lain sebagainya³¹.

Mikroenkapsulasi menawarkan berbagai manfaat penting dalam produk kosmetika. Salah satu manfaat utama adalah kemampuan untuk masking bau atau warna bahan aktif yang kurang disukai oleh konsumen, seperti minyak esensial atau bahan alami lainnya. Teknik ini memungkinkan produk kosmetik untuk memiliki penampilan dan bau yang lebih menyenangkan bagi konsumen selama proses pelepasan bahan aktif.

Selain itu, mikroenkapsulasi juga berperan dalam meningkatkan bioavailabilitas dan penyerapan bahan aktif ke dalam kulit, yang sangat penting untuk produk-produk seperti serum dan krim *anti-aging*. Teknik ini meningkatkan penetrasi bahan aktif hingga lapisan kulit terdalam, memastikan bahan aktif memberikan manfaat yang optimal³².

Keamanan kulit juga ditingkatkan dengan mikroenkapsulasi, yang melindungi bahan aktif dari kontak langsung dengan kulit, mengurangi risiko iritasi terutama pada kulit sensitif. Ini sangat penting untuk bahan aktif yang memiliki potensi iritasi tinggi, seperti retinol dan asam hialuronat, sehingga pengalaman pengguna menjadi lebih nyaman. Mikroenkapsulasi juga memungkinkan *controlled release* atau pelepasan bahan aktif secara bertahap, yang meningkatkan efektivitas produk dan mengurangi frekuensi aplikasi, serta memungkinkan *sustained release* yaitu pelepasan bahan aktif dalam waktu yang lebih lama tanpa perlu aplikasi berulang³³. Berdasarkan penelitian sebelumnya, menunjukkan bahwa mikroenkapsulasi retinol menggunakan partikel silikon dapat mengurangi iritasi hingga 12–23% dibandingkan dengan formulasi standar. Formulasi mikroenkapsulasi juga menunjukkan pelepasan retinol secara bertahap selama beberapa jam, dengan efisiensi enkapsulasi lebih dari 85% dan umur paruh yang sembilan kali lebih lama dibandingkan retinol yang tidak terenkapsulasi³⁴.

Selain itu, mikroenkapsulasi sangat berperan dalam meningkatkan stabilitas bahan aktif dalam kosmetika. Bahan aktif seperti minyak esensial, enzim, retinol, dan vitamin C sangat rentan terhadap degradasi yang disebabkan

oleh faktor-faktor lingkungan seperti fluktuasi pH, suhu tinggi, oksigen, dan paparan cahaya. Mikroenkapsulasi melindungi bahan-bahan ini, menjaga stabilitasnya, dan memastikan produk kosmetik tetap efektif dalam jangka waktu yang lebih lama³⁵.

Aplikasi mikroenkapsulasi tidak hanya bertindak dalam meningkatkan stabilitas bahan aktif, tetapi juga memiliki peran dalam *targeted release* atau pelepasan terarah/bertahap dari bahan aktif. Studi literatur memaparkan pentingnya pelepasan bahan aktif tersebut secara bertahap pada kurun waktu tertentu pada bidang kosmetika, seperti produk tabir surya, serum *anti-aging*, dan krim malam. Melalui proses pelepasan yang dilakukan secara bertahap tersebut, dapat memberikan dampak terhadap peningkatan efektivitas produk. Selain itu, juga memberikan dampak terhadap meminimalisir efek samping pada kulit sensitif ataupun mengurangi risiko iritasi pada kulit. Berdasarkan hal tersebut, mikroenkapsulasi memberikan kontribusi dalam estetika produk ataupun kenyamanan pengguna, serta dapat menjadi solusi inovatif dalam mengembangkan produk kosmetik yang lebih aman, stabil, dan efektif³⁶.

Beberapa metode mikroenkapsulasi berdasarkan artikel yang diperoleh. Pertama metode gelas ionik. Metode mikroenkapsulasi dengan gelas ionik melibatkan ikatan silang ion polimer dengan counterion bermuatan berlawanan melalui interaksi elektronik untuk membentuk manik-manik hydrogel³⁷. Metode ini telah digunakan dalam penelitian oleh Erwiyani et al., 2024 yang mengaplikasikannya untuk mikroenkapsulasi ekstrak labu kuning dan minyak turmeric & jojoba dengan menggunakan polimer chitosan, Na-TPP, dan sodium alginate. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa mikrokapsul yang dihasilkan memiliki morfologi homogen dan stabil secara fisik, dengan ukuran sekitar 80 µm pada ekstrak labu kuning yang tetap stabil tanpa pemisahan fase setelah 28 hari. Ini menjadikannya cocok untuk produk masker gel peel off. Sementara itu, pada minyak turmeric & jojoba, mikrokapsul menghasilkan pelepasan bahan aktif yang terkontrol dengan ukuran 400-1000 µm, sangat cocok untuk produk salep anti-aging yang membutuhkan pelepasan bahan aktif dalam jangka panjang. Hal ini menunjukkan potensi gelas ionik dalam memperpanjang durasi efektivitas bahan aktif dalam formulasi kosmetik. Penelitian lain pada metode ini adalah mikroenkapsulasi minyak jojoba dan raspberry seed oil dengan menggunakan sodium alginate sebagai polimer. Dalam penelitian oleh Salam et al., 2023 mikrokapsul yang dihasilkan memiliki indeks pembengkakan tinggi (540-720%) dan SPF sebesar 11.08, memberikan perlindungan UV hingga 96%. Formulasi ini stabil pada suhu 40°C selama 30 hari, sehingga cocok untuk digunakan dalam produk *sunscreen* gel yang membutuhkan perlindungan UV yang kuat dan stabilitas bahan aktif jangka panjang. Keuntungan menggunakan metode gelas ionik berdasarkan penelitian sebelumnya bahwa gelas ionik dapat mencapai efisiensi enkapsulasi yang tinggi, dengan tingkat melebihi 87% untuk formulasi tertentu³⁸. Metode ini dapat disesuaikan untuk berbagai bahan aktif, termasuk minyak dan senyawa bioaktif, sehingga serbaguna untuk aplikasi kosmetik. Selain itu metode ini dapat diimplementasikan dengan cepat, memfasilitasi siklus pengembangan produk yang lebih cepat dibandingkan dengan teknik yang lebih kompleks seperti pengeringan semprot³⁷. Meskipun metode ini menawarkan manfaat, namun metode ini juga memiliki keterbatasan penting yang harus dipertimbangkan yaitu mikrokapsul yang dihasilkan dapat sensitif terhadap cahaya dan suhu, yang dapat menyebabkan degradasi bahan aktif yang dienkapsulasi dari waktu ke waktu³⁹ serta biaya yang lebih tinggi terkait dengan bahan dan proses yang digunakan, yang dapat membatasi kelayakannya untuk aplikasi kosmetik yang tersebar luas^{13,40}.

Metode *spray drying* atau pengeringan semprot adalah pengeringan semprot adalah metode yang banyak digunakan untuk mengubah bahan cair menjadi bubuk yang stabil, dengan aplikasi dalam industri makanan, farmasi, dan kimia^{41,42}. Teknik ini sangat efektif untuk mikroenkapsulasi komponen bioaktif makanan, termasuk minyak, perasa, antioksidan, dan enzim, memberikan manfaat seperti peningkatan stabilitas, pelepasan terkontrol, dan penanganan yang lebih baik⁴². Proses ini melibatkan atomisasi umpan cair menjadi tetesan kecil, yang kemudian dikeringkan dengan cepat untuk membentuk partikel individu⁴³. Keuntungan pengeringan semprot adalah hemat energi, menghemat waktu, dan cocok untuk produk termolabil karena waktu kontak yang singkat dan efek pendinginan evaporatif⁴². Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Lourith & Kanlayavattanakul, 2023 pada butterfly pea anthocyanins dilakukan dengan menggunakan metode *spray drying* atau pengeringan semprot dengan menggunakan maltodextrin dan gum arabic sebagai polimer. Hasilnya menunjukkan bahwa mikrokapsul ini mampu mempertahankan stabilitas warna hingga 90% setelah 60 hari pada suhu 25°C, menjadikannya ideal untuk produk perona pipi yang memerlukan kestabilan warna yang lama. Selain itu, Bin et al., 2025 juga menggunakan *spray drying* untuk mikroenkapsulasi ekstrak daun miana dengan maltodextrin. Mikrokapsul yang dihasilkan menunjukkan retensi bahan aktif yang baik, menjadikannya cocok untuk produk krim wajah yang memerlukan stabilitas bahan aktif dalam jangka waktu panjang. Selain untuk bahan alami, *spray drying* juga digunakan untuk mikroenkapsulasi bahan kimia aktif seperti avobenzon, octylmethoxycinnamate, dan octocrylene dalam lipidic microcapsules, sebagaimana yang diteliti oleh Schatzer et al., 2024. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mikrokapsul ini mampu meningkatkan kelangsungan hidup pada konsentrasi tinggi dan mengurangi malformasi, yang menjadikannya ideal untuk produk *sunscreen* antibakteri. Penggunaan *spray drying* untuk mikroenkapsulasi filter UV ini juga memungkinkan kontrol pelepasan bahan aktif yang lebih terarah, sehingga produk dapat memberikan perlindungan lebih lama terhadap kulit dari sinar UV. Namun, *spray drying* memiliki beberapa kekurangan yaitu suhu tinggi selama pengeringan semprot dapat menyebabkan degradasi senyawa sensitif, seperti minyak esensial dan bioflavonoid, yang menyebabkan berkurangnya khasiat⁴⁴. Mikroenkapsulasi alginat merupakan teknik serbaguna yang banyak digunakan untuk membungkus zat-zat bioaktif, probiotik, dan obat-obatan guna meningkatkan stabilitasnya. Mikropartikel alginat merupakan pembawa yang biokompatibel, biodegradable, dan tidak beracun yang cocok untuk membungkus zat-zat aktif hidrofilik, termasuk probiotik⁴⁵. Metode Alginate Beads digunakan dalam penelitian oleh Inthorn et al., 2022

untuk mikroenkapsulasi minyak gac yang mengandung beta-karoten. Mikro kapsul yang dihasilkan menunjukkan efisiensi penjeratan yang sangat tinggi (66.52% hingga 95.69%) dan stabilitas beta-karoten yang baik pada pH 5.0 dan suhu 45°C selama 8 minggu. Formulasi ini sangat cocok digunakan dalam produk serum, di mana stabilitas bahan aktif dan efisiensi penjeratan bahan aktif sangat diperlukan untuk mendapatkan hasil maksimal. Mikro kapsul alginat memiliki beberapa keuntungan yakni melindungi bahan aktif dari degradasi, memastikan kemanjuran dan stabilitas yang berkepanjangan terhadap oksidasi dan fotodegradasi⁴⁶. Selain itu pada metode ini proses enkapsulasi dapat mencapai efisiensi enkapsulasi yang tinggi (lebih dari 85%), memungkinkan pelepasan senyawa aktif yang berkelanjutan, yang bermanfaat untuk produk kosmetik⁴⁶. Sementara mikroenkapsulasi alginat menghadirkan banyak keuntungan, penting untuk mempertimbangkan keterbatasan potensial, seperti alginat terutama efektif untuk zat hidrofilik, membatasi fleksibilitasnya dibandingkan dengan polimer lain seperti kitosan, yang dapat merangkul berbagai bahan aktif yang lebih luas. Selain itu, mikro kapsul alginat mungkin tidak memberikan profil pelepasan terkontrol yang diinginkan, seringkali mengakibatkan fenomena pelepasan ledakan yang dapat mengurangi kemanjuran bahan aktif yang dienkapsulasi⁴⁷.

Metode *solvent evaporation* atau penguapan pelarut banyak digunakan untuk menyiapkan mikrosfer dan kokristal karena kesederhanaannya dan persyaratan peralatan yang minimal^{48,49}. Teknik ini dapat merangkul berbagai obat, termasuk protein, peptida, dan molekul kecil, ke dalam pembawa seperti silika mesopori atau polimer biodegradable⁴⁸⁻⁵⁰. Efektivitas metode ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti rasio minyak/air, laju pengadukan, dan konsentrasi surfaktan⁵⁰. Penguapan pelarut dapat meningkatkan disolusi obat, bioavailabilitas, dan profil pelepasan terkendali^{48,49}. Penelitian oleh Surini et al., 2018 menggunakan *solvent evaporation* untuk mikroenkapsulasi minyak biji anggur (GSE) menggunakan etil selulosa sebagai polimer. Mikro kapsul yang dihasilkan memiliki ukuran rata-rata antara 83.58 nm hingga 202.74 nm, dengan efisiensi penjeratan antara 45.81% hingga 93.87%. Formulasi ini sangat cocok untuk digunakan dalam produk gel pelembab kulit, yang membutuhkan pelepasan bahan aktif yang terkontrol dan tahan lama. Penelitian yang sama oleh Yeom et al., 2024 juga menggunakan *solvent evaporation* untuk mikroenkapsulasi *fragrance* seperti patchouli dan hexyl cinnamaldehyde dalam silika. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa mikro kapsul berbasis silika dapat menghasilkan pelepasan wangi yang terkontrol hingga 24 jam, menjadikannya sangat ideal untuk produk parfum yang membutuhkan pelepasan aroma yang tahan lama. Keuntungan dari metode ini adalah memanfaatkan penguapan pelarut dapat mengoptimalkan resolusi formulasi, memastikan distribusi bahan aktif yang seragam, yang sangat penting untuk konsistensi produk⁵¹. Selain itu metode ini memungkinkan enkapsulasi zat hidrofobik, memastikan stabilitas dan kegunaannya dalam berbagai aplikasi kosmetik⁵². Sebaliknya, sementara penguapan pelarut menghadirkan banyak keuntungan, hal itu juga dapat menimbulkan tantangan yaitu metode penguapan pelarut sering menghasilkan efisiensi enkapsulasi yang lebih rendah dibandingkan dengan metode seperti pengeringan semprot, yang dapat mencapai efisiensi lebih dari 90%⁵³. Metode ini mungkin tidak cocok untuk semua bahan, terutama yang sensitif terhadap pelarut atau panas, membatasi penerapannya⁵².

Secara umum, bahan aktif yang paling sering dienkapsulasi adalah minyak esensial, antioksidan, vitamin, dan UV filter. Hal ini menunjukkan bahwa mikroenkapsulasi memainkan peran strategis dalam menjaga stabilitas, bioavailabilitas, dan efektivitas bahan aktif yang mudah terdegradasi oleh faktor lingkungan. Identifikasi hubungan antara jenis bahan aktif dan metode mikroenkapsulasi yang digunakan menunjukkan adanya kecenderungan preferensial, misalnya bahan aktif yang termolabil lebih sering diformulasikan melalui *spray drying* dengan polimer pelindung.

Meskipun mikroenkapsulasi menawarkan banyak manfaat, studi ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Salah satunya adalah keterbatasan data empiris yang tersedia, karena sebagian besar literatur yang direview hanya berfokus pada potensi teknis mikroenkapsulasi tanpa memberikan data kuantitatif yang mendalam mengenai peningkatan efektivitas atau stabilitas produk. Perbandingan objektif antara metode mikroenkapsulasi berdasarkan biaya, efisiensi, dan skalabilitas masih sangat terbatas. Penelitian lebih lanjut yang menggabungkan uji laboratorium dan studi kasus diperlukan untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai aplikasi praktis dan implementasi teknologi mikroenkapsulasi dalam produksi kosmetik massal. Dan juga harapannya untuk penelitian selanjutnya dapat memperhatikan regulasi yang ada, terutama standar nasional maupun internasional yang terkait dengan penggunaan mikroenkapsulasi dalam produk kosmetik.

SIMPULAN DAN SARAN

Mikroenkapsulasi merupakan teknologi yang sangat penting dalam industri kosmetika karena kemampuannya untuk melindungi bahan aktif dari degradasi akibat faktor lingkungan seperti fluktuasi pH, suhu, oksigen, dan paparan cahaya. Dengan menggunakan mikroenkapsulasi, stabilitas bahan aktif dapat ditingkatkan, durasi efektivitas produk dapat diperpanjang, dan pelepasan bahan aktif dapat dilakukan secara terkontrol dan bertahap. Hal ini tidak hanya mendukung penetrasi bahan aktif secara optimal ke dalam kulit, tetapi juga meminimalkan iritasi pada kulit sensitif serta memberikan manfaat jangka panjang pada produk kosmetik seperti tabir surya, serum *anti-aging*, krim wajah, bahkan parfum. Mikroenkapsulasi juga berkontribusi pada kenyamanan pengguna, efisiensi pemakaian, dan kestabilan sensorik (warna dan bau) dalam produk akhir, menjadikannya lebih menarik bagi konsumen. Namun demikian, review ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dicatat. Pertama, jumlah artikel yang digunakan dalam kajian ini terbatas hanya 9 artikel, yang mungkin tidak cukup representatif untuk menghasilkan kesimpulan yang lebih luas. Kedua, dominasi data kualitatif dalam literatur yang ada membuat perbandingan kuantitatif antar metode mikroenkapsulasi menjadi sulit dilakukan. Ketiga, ada kekurangan informasi mengenai aspek biaya, regulasi,

dan skalabilitas industri dalam penerapan mikroenkapsulasi, yang sangat penting untuk pengembangan produk kosmetik dalam skala besar. Keterbatasan ini tentu membatasi kemampuan generalisasi temuan penelitian ini ke dalam konteks manufaktur kosmetik yang lebih luas.

Sebagai saran untuk penelitian selanjutnya, eksplorasi metode mikroenkapsulasi yang lebih spesifik sangat diperlukan, terutama untuk bahan aktif alami yang rentan terhadap degradasi, seperti vitamin C, minyak esensial, dan beta-karoten. Untuk jenis bahan aktif ini, metode spray drying dan gelasi ionik sangat direkomendasikan karena terbukti mampu meningkatkan stabilitas dan efektivitas bahan aktif. Selain itu, Sodium Alginate dapat dieksplorasi lebih lanjut sebagai polimer yang ideal untuk bahan aktif hidrofobik dalam produk berbasis air, karena kemampuannya dalam menyediakan pelepasan bahan aktif yang terkontrol. Penelitian berbasis laboratorium, studi kasus industri, serta evaluasi efisiensi biaya, produksi, dan potensi komersialisasi dari teknologi mikroenkapsulasi secara menyeluruh diperlukan untuk memberikan gambaran yang lebih lengkap tentang penerapan teknologi ini di industri kosmetik. Hal ini akan memberikan informasi yang lebih konkret dan relevansi terhadap tantangan praktis yang dihadapi produsen kosmetik dalam mengadopsi mikroenkapsulasi dalam produksi mereka.

Bagi pengguna kosmetik, sangat penting untuk memahami karakteristik kulit masing-masing dan bahan aktif yang terkandung dalam produk kosmetik yang digunakan. Dengan memahami bahan aktif dan kebutuhan spesifik kulit, pengguna dapat lebih bijak dalam memilih produk yang tepat, meminimalkan risiko iritasi, dan mendapatkan manfaat maksimal dari produk kosmetik tersebut. Informasi lebih lanjut mengenai mikroenkapsulasi akan memperluas pemahaman masyarakat, memberikan pengetahuan lebih mendalam tentang bagaimana produk kosmetik bekerja, dan membantu mereka membuat pilihan yang lebih terinformasi mengenai produk yang mereka gunakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Melalui jurnal ini, penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada seluruh pihak terkait dalam kegiatan penulisan jurnal yang dilakukan, sehingga penulisan jurnal ini dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Resende DISP, Ferreira MS, Lobo JMS, Sousa E, Almeida IF. Skin Depigmenting Agents in Anti-Aging Cosmetics: A Medicinal Perspective on Emerging Ingredients. *Appl Sci.* 2022;12(2):1–15.
2. Hoang HT, Moon JY, Lee YC. Natural antioxidants from plant extracts in skincare cosmetics: Recent applications, challenges and perspectives. *Cosmetics.* 2021;8(4):1–24.
3. Oliveira C, Coelho C, Teixeira JA, Ferreira-Santos P, Botelho CM. Nanocarriers as Active Ingredients Enhancers in the Cosmetic Industry—The European and North America Regulation Challenges. *Molecules.* 2022;27(5):1–35.
4. Montoya-Yepes DF, Jiménez-Rodríguez AA, Aldana-Porras AE, Velásquez-Holguin LF, Méndez-Arteaga JJ, Murillo-Arango W. Starches in the encapsulation of plant active ingredients: state of the art and research trends. *Polym Bull.* 2024;81(1):135–63.
5. Siddique I. Comparing Vitamin C and Vitamin E in Improving the Photostability of a Retinol Serum Exposed to Heat Degradation. *Jr Acad Res Artic.* 2024;22(2):92–100.
6. Aspadiah V, Suryani, Wa Ode Sitti Zubaydah, Indalifany A, Muliadi R. Review: Perawatan Kulit dengan Niacinamide Sebagai Bahan Aktif. *Lansau J Ilmu Kefarmasian.* 2023;1(1):69–76.
7. Azizah N, Putriana NA, Tugon TDA. Formulasi Dan Evaluasi Sediaan Toner Dari Ekstrak Biji Hanjeli (Coix Lacryma-Jobi L.) Sebagai Antioksidan. *Maj Farmasetika.* 2024;9(6):577–95.
8. Sousa VI, Parente JF, Marques JF, Forte MA, Tavares CJ. Microencapsulation of Essential Oils: A Review. *Polymers (Basel).* 2022;14(9):1–42.
9. Wulandari I. Mikroenkapsulasi Minyak Atsiri Daun Jeruk Nipis (Citrus aurantifolia) Menggunakan Penyalut Maltodekstrin dan Kitosan dengan Proses Freeze Drying Sebagai Antibakteri *Pseudomonas aeruginosa*. Universitas Islam Indonesia; 2022.
10. Mondéjar-López M, García-Simarro MP, Navarro-Simarro P, Gómez-Gómez L, Ahrazem O, Niza E. A review on the encapsulation of “eco-friendly” compounds in natural polymer-based nanoparticles as next generation nano-agrochemicals for sustainable agriculture and crop management. *Int J Biol Macromol.* 2024;28(6).
11. Ma'arif S, Peranginangin JM, Herdwiani W. REVIEW: PENGARUH ENKAPSULASI KURKUMIN TERHADAP AKTIVITAS ANTIOKSIDAN. *Med Sains J Ilm Kefarmasian [Internet].* 2024 Feb 17;9(1):141–54. Available from: <https://ojs.ummada.ac.id/index.php/iojs/article/view/897>
12. Carvalho IT, Estevinho BN, Santos L. Application of microencapsulated essential oils in cosmetic and personal healthcare products – a review. *Int J Cosmet Sci [Internet].* 2016 Apr 25;38(2):109–19. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ics.12232>
13. Casanova F, Santos L. Encapsulation of cosmetic active ingredients for topical application – a review. *J Microencapsul [Internet].* 2016 Jan 2;33(1):1–17. Available from: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.3109/02652048.2015.1115900>
14. Drost EA. Validity and Reliability in Social Science Research. *Educ Res Perspect.* 2011;38(1):105–23.
15. Goertel RA. Literature Review. In: *The Cambridge Handbook of Research Methods and Statistics for the Social and Behavioral Sciences [Internet].* Cambridge University Press; 2023. p. 65–84. Available from:

- https://www.cambridge.org/core/product/identifier/9781009010054%23CN-bp-4/type/book_part
16. Younas A, Ali P. Five tips for developing useful literature summary tables for writing review articles. *Evid Based Nurs* [Internet]. 2021 Apr 8;24(2):32–4. Available from: https://www.cambridge.org/core/product/identifier/9781009010054%23CN-bp-4/type/book_part
 17. Cumpston MS, McKenzie JE, Welch VA, Brennan SE. Strengthening systematic reviews in public health: guidance in the *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*, 2nd edition. *J Public Health (Bangkok)* [Internet]. 2022 Dec 1;44(4):e588–92. Available from: <https://academic.oup.com/jpubhealth/article/44/4/e588/6554940>
 18. Erwiyani AR, Sunnah I, Pratama NM. Formulation and Evaluation of Microcapsul of Pumpkin (Cucurbita maxima D.) Extract Peel Off Gel Mask Formulasi Dan Evaluasi Sediaan Masker Gel Peel Off Mikrokapsul Ekstrak Labu Kuning (Cucurbita maxima D.). 2024;11(3).
 19. Lourith N, Kanlayavattanukul M. Sustainable approach to natural makeup cosmetics containing microencapsulated butterfly pea anthocyanins. *Sustain Chem Pharm*. 2023;32(9):1–11.
 20. Bin MC, Assis LS, Gonçalves DA, Cardoso CAL, Alonso CP, de Melo AMMF, et al. Characterization, antioxidant capacity, and application of a microcapsule with essential oil from Campomanesia adamantium fruit residue in a cosmetic product. *Ciencia e Agrotecnologia*. 2025;49:1–16.
 21. Schatzer CA de F, Milazzotto MP, Júnior AR dos S, Cerchiaro G, Bernardi MM, Teodorov E. Microencapsulation of sunscreen reduces toxicity of its components to *A. salina*: Biochemical, behavioral and morphological studies. *Ecotoxicol Environ Saf* [Internet]. 2024;281(May):116586. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116586>
 22. Salam S, Divya V, Hijas M, Siraj N. Microencapsulation Technique for Sunscreen Gel Development: Enhancing Uv Protection. *Indian Drugs*. 2023;60(12):29–34.
 23. Inthorn J, Sornmanee S, Sisopa P. Development of Alginate Beads Containing Momordica cochinchinensis Aril Oil for Skin Nourishing Serum Products. 2022;27(December):1452–74.
 24. Gholap A, Tapkir A, More A, Kore P, Bagade P, Nale P, et al. Formulation and Evaluation of Antiaging Ointment Containing Microencapsulated Turmeric and Jojoba Oil. *Int J Drug Deliv Technol*. 2023;13(4):1297–304.
 25. Surini S, Nursatyani K, Ramadon D. Home | Articles ViewEditOutline Gel Formulation Containing Microcapsules of Grape Seed Oil (Vitis vinifera L.) for Skin Moisturizer. *J Young Pharm* [Internet]. 2018 Feb 15;10(1):41–7. Available from: <https://www.jyoungpharm.org/article/1088>
 26. Yeom J, Kang M, Goh A, Jeon J, Shim WS, Kang NG. Timed-Release Silica Microcapsules for Consistent Fragrance Release in Topical Formulations. *Appl Sci*. 2024;14(23).
 27. Naveena B, Nagaraju M. Microencapsulation techniques and its application in food industry. *Int J Chem Stud* [Internet]. 2020 Jan 1;8(1):2560–3. Available from: <http://www.chemjournal.com/archives/?year=2020&vol=8&issue=1&ArticleId=8652&si=false>
 28. Leon M. Si-based inorganic microencapsulation. *Phys Sci Rev* [Internet]. 2016 Mar 31;1(3). Available from: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/psr-2015-0008/html>
 29. Romanssini SF, Scortegagna HDM, Pichler NA. Aesthetics and happiness in the perception of old people users of beauty products. *Rev Bras Geriatr e Gerontol*. 2020;23(3):1–9.
 30. Tanuwidjaja T. Development of Anti-Aging Cream Preparations with Active Substances from Plant Extracts: Physicochemical Review and Potential Applications. *J EduHealth*. 2023;14(3):1310–25.
 31. Pathak Y. The Skin Aging Process and Anti-Aging Strategies. *Biomed J Sci Tech Res*. 2022;42(2):33377–86.
 32. Lee JH, Hwang YH, Noh M, Lee JH, Lee JB, Lee H. Microencapsulation of alcohol solvents and high-content actives for efficient transdermal delivery. *Biomater Sci* [Internet]. 2023;11(23):7531–40. Available from: <https://xlink.rsc.org/?DOI=D3BM01411H>
 33. Tonthawi M, Musfiroh I. Review: Peningkatan Stabilitas Vitamin C dalam Sediaan Kosmetika. *Maj Farmasetika* [Internet]. 2023 Mar 20;8(3):194. Available from: <http://jurnal.unpad.ac.id/farmasetika/article/view/44462>
 34. Shields CW, White JP, Osta EG, Patel J, Rajkumar S, Kirby N, et al. Encapsulation and controlled release of retinol from silicone particles for topical delivery. *J Control Release* [Internet]. 2018 May;278:37–48. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168365918301536>
 35. Tonthawi M, Musfiroh I. Review: Peningkatan Stabilitas Vitamin C dalam Sediaan Kosmetika. *Maj Farmasetika*. 2023;8(3):194–208.
 36. Carvalho IT, Estevinho BN, Santos L. Application of microencapsulated essential oils in cosmetic and personal healthcare products - A review. *Int J Cosmet Sci*. 2021;38(2):109–19.
 37. Das N, Roy PK, Pachuau L. Ionotropically cross-linked polymeric microparticles for drug delivery. In: *Ionotropic Cross-Linking of Biopolymers* [Internet]. Elsevier; 2024. p. 355–86. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780323961165000156>
 38. Vakarelova M, Zanoni F, Donà G, Ferri I, Chignola R, Gorrieri S, et al. Microencapsulation of astaxanthin by ionic gelation: effect of different gelling polymers on the carotenoid load, stability and bioaccessibility. *Int*

- J Food Sci Technol [Internet]. 2023 May 9;58(5):2489–97. Available from: <https://academic.oup.com/ijfst/article/58/5/2489/7808232>
39. Mardikasari SA, Suryani, Akib NI, Indahyani R. Mikroenkapsulasi Asam Mefenamat Menggunakan Polimer Kitosan dan Natrium Alginat dengan Metode Gelasi Ionik. *J Farm Galen (Galenika J Pharmacy)* [Internet]. 2020 Sep 30;6(2). Available from: <https://bestjournal.untad.ac.id/index.php/Galenika/article/view/14589>
 40. Chan WS, Teoh KX, Leong Joey N, Che Zain MS. Spray Drying Microencapsulation of Antioxidant Bioflavonoids: A Bibliometric Analysis and Review on Recent Research Landscape (2013–2023) and Process Optimization. *J Food Process Eng* [Internet]. 2024 Nov 7;47(11). Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfpe.14766>
 41. Banožić M, Vladić J, Banjari I, Velić D, Aladić K, Jokić S. Spray Drying as a Method of Choice for Obtaining High Quality Products from Food Wastes– A Review. *Food Rev Int* [Internet]. 2023 May 19;39(4):1953–85. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/87559129.2021.1938601>
 42. Jafari SM, Samborska K. Spray drying for the retention of food bioactive compounds and nutraceuticals – 150th anniversary of spray drying. *Dry Technol* [Internet]. 2021 Aug 16;39(12):1773–1773. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07373937.2021.1972521>
 43. Strojewski D, Krupa A. Spray drying and nano spray drying as manufacturing methods of drug-loaded polymeric particles. *Polym Med* [Internet]. 2022 Aug 12;52(2):101–11. Available from: <https://polimery.umw.edu.pl/en/article/2022/52/2/101/>
 44. Karthik P, Anandharamakrishnan C. Microencapsulation of Docosahexaenoic Acid by Spray-Freeze-Drying Method and Comparison of its Stability with Spray-Drying and Freeze-Drying Methods. *Food Bioprocess Technol* [Internet]. 2013 Oct 21;6(10):2780–90. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s11947-012-1024-1>
 45. Łętocha A, Miastkowska M, Sikora E. Preparation and Characteristics of Alginate Microparticles for Food, Pharmaceutical and Cosmetic Applications. *Polymers (Basel)* [Internet]. 2022 Sep 14;14(18):3834. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/18/3834>
 46. Zhang X, Yin W, Qi Y, Li X, Zhang W, He G. Microencapsulation of astaxanthin in alginate using modified emulsion technology: Preparation, characterization, and cytostatic activity. *Can J Chem Eng* [Internet]. 2017 Mar 6;95(3):412–9. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cjce.22712>
 47. Silva CM, Ribeiro AJ, Figueiredo M, Ferreira D, Veiga F. Microencapsulation of hemoglobin in chitosan-coated alginate microspheres prepared by emulsification/internal gelation. *AAPS J* [Internet]. 2005 Dec;7(4):E903–13. Available from: <http://link.springer.com/10.1208/aapsj070488>
 48. Sun H, Luo W, Huang X. Recent Advances in the Preparation of Protein/peptide Microspheres by Solvent Evaporation Method. *Curr Pharm Biotechnol* [Internet]. 2024 Oct;25(14):1807–17. Available from: <https://www.eurekaselect.com/225246/article>
 49. Budiman A, Aulifa DL. Encapsulation of drug into mesoporous silica by solvent evaporation: A comparative study of drug characterization in mesoporous silica with various molecular weights. *Heliyon* [Internet]. 2021 Dec;7(12):e08627. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844021027304>
 50. Li G, He Y, Han W, Yu Y, Zhu L, Si T, et al. An improved solvent evaporation method to produce poly (lactic acid) microspheres via foam-transfer. *Int J Biol Macromol* [Internet]. 2021 Mar;172:114–23. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141813021000507>
 51. Tao R, Fang Z, Zhang J, Ning H, Chen J, Yang C, et al. Critical Impact of Solvent Evaporation on the Resolution of Inkjet Printed Nanoparticles Film. *ACS Appl Mater Interfaces* [Internet]. 2018 Jul 11;10(27):22883–8. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsami.8b06519>
 52. Li D, Zhao Y, Zhang Y, An J, Huang J, Yang J. Encapsulation of Hydrophobic-but-Not-Lipophilic Perfluoro Liquids Based on a Self-Assembled Double Emulsion Template via Solvent Evaporation Method. *ACS Appl Mater Interfaces* [Internet]. 2024 Sep 11;16(36):48428–37. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsami.4c04926>
 53. Laina KT, Drosou C, Krokida M. Comparative assessment of encapsulated essential oils through the innovative electrohydrodynamic processing and the conventional spray drying, and freeze-drying techniques. *Innov Food Sci Emerg Technol* [Internet]. 2024 Jul;95:103720. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1466856424001590>