

REVIEW ARTIKEL: BEBERAPA METODE MIKROENKAPSULASI ADSORBEN BERBASIS ALGINAT DAN APLIKASINYA UNTUK MENGHILANGKAN ION LOGAM DALAM LARUTAN BERAIR

REVIEW ARTICLE: SEVERAL MICROENCAPSULATION METHODS OF ALGINATE- BASED ADSORBENTS AND THE APPLICATIONS FOR REMOVING METAL IONS FROM AQUEOUS SOLUTION

Resma Lita Farlianti^{1*}, Aman Sentosa Panggabean, Ika Yekti Lianasari

Laboratorium Kimia Analitik, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas
Mulawarman, Jalan Barong Tongkok Kampus Gunung kelua, Samarinda, Indonesia

*E-mail: resmalita11@gmail.com

ABSTRACT

Alginate is a natural polysaccharide consisting of mannuronic acid and guluronic acid connected via glycosidic bonds. Alginate has properties of biocompatibility, biodegradability, and reports in nature that make it attractive as a base material in microencapsulation applications. Microencapsulation is a technology used to coat active ingredients in small particles with the aim of increasing stability, solubility, and controlling the release of active substances. This article aims to review research results related to various methods of alginate microencapsulation as an adsorbent taken from several scientific articles. This literature review shows that encapsulation methods are divided into two categories, namely physical and chemical methods as well as several technologies such as coacervation, spray drying, extrusion, freeze drying and layer-by-layer coating. Alginate-based adsorbents, especially modified ones, show a better capacity to absorb heavy metals than pure alginate with adsorption capacities ranging from 0,025 mg/g to 416,67 mg/g. The adsorption efficiency is influenced by the physicochemical properties of the adsorbent and external conditions such as pH and metal ion concentration. With its various advantages, alginate-based microencapsulation has great potential for application in various industrial fields, especially in air purification, pharmaceuticals and nutrition.

Keywords : Alginate, Microencapsulation, Adsorbent, Metal

ABSTRAK

Alginat adalah polisakarida alami yang terdiri dari asam manuronat dan asam guluronat yang terhubung melalui ikatan glikosidik. Alginat memiliki sifat biokompatibilitas, biodegradabilitas, dan kelimpahan di alam yang menjadikannya menarik sebagai bahan dasar dalam aplikasi mikroenkapsulasi. Mikroenkapsulasi merupakan teknologi yang digunakan untuk menyalut bahan aktif dalam partikel kecil dengan tujuan meningkatkan stabilitas, daya larut, serta mengendalikan pelepasan zat aktif. Artikel ini bertujuan untuk meninjau hasil penelitian terkait berbagai metode mikroenkapsulasi alginat sebagai adsorben yang diambil dari beberapa artikel ilmiah. Kajian literatur ini menunjukkan bahwa metode enkapsulasi terbagi menjadi dua kategori yaitu metode fisik dan kimia serta beberapa teknologi seperti koaservasi, spray drying, ekstrusi, freeze drying dan layer-by-layer coating. Adsorben berbasis alginat terutama yang dimodifikasi menunjukkan kapasitas yang lebih baik dalam menyerap logam berat dibandingkan alginat murni dengan kapasitas adsorpsi berkisar antara 0,025 mg/g hingga 416,67 mg/g. Efisiensi adsorpsi ini dipengaruhi oleh sifat fisikokimia adsorben dan kondisi eksternal seperti pH dan konsentrasi ion logam. Dengan berbagai keunggulannya, mikroenkapsulasi berbasis alginat memiliki potensi besar untuk diterapkan di berbagai bidang industri, terutama dalam pemurnian air, farmasi dan nutrisi.

Kata kunci : Alginat, Mikroenkapsulasi, Adsorben, Logam

PENDAHULUAN

Air sebagai sumber daya alam yang vital bagi keberlangsungan kehidupan manusia memiliki peran multifungsi, mulai dari pemenuhan kebutuhan fisiologis hingga mendukung berbagai aktivitas sosial-ekonomi. Namun, seiring perkembangan zaman, muncul berbagai permasalahan terkait sumber daya air yang menuntut adanya upaya pengelolaan dan pelestarian agar kualitas air tetap terjaga dan dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan. Salah satu tindakan yang penting dalam pengelolaan kualitas air adalah pengendalian pencemaran, yang bertujuan untuk mempertahankan fungsi air agar memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan (Arsita dkk., 2023).

Adanya limbah yang mengandung logam berat dalam jumlah yang melebihi ambang batas baku mutu air menjadi salah satu penyebab utama pencemaran sungai (Abhibhawa dkk., 2022). Pencemaran air permukaan oleh logam berat dalam kadar berlebihan merupakan masalah kesehatan masyarakat yang berskala global, mengingat potensi logam berat untuk menimbulkan dampak negatif pada kesehatan manusia melalui akumulasi dalam rantai makanan. Logam berat didefinisikan sebagai logam yang memiliki massa jenis lebih dari 5 g/cm^3 dan di antaranya termasuk kromium (Cr), nikel (Ni), kadmium (Cd), arsenik (As), timbal (Pb), seng (Zn), tembaga (Cu), kobalt (Co), molibdenum (Mo), mangan (Mn), merkuri (Hg), vanadium (V), besi (Fe), dan logam langka lainnya. Pada konsentrasi rendah, logam berat bersifat toksik bagi manusia, memicu berbagai risiko kesehatan, termasuk penyakit kardiovaskular, gangguan ginjal, saraf, tulang, kanker, mutasi genetik serta masalah perkembangan dan fungsi enzim. Beberapa logam berat esensial seperti Zn, Cu, Mn, dan Fe, mendukung aktivitas metabolisme yang sehat dalam tubuh, sedangkan logam berat non-esensial seperti Cd, Ni, Hg, Pb, Cr, dan As dapat menyebabkan toksisitas (Yuni, 2020).

Logam berat telah menjadi polutan utama dalam lingkungan, dengan dampak signifikan terhadap kesehatan manusia dan ekosistem. Peningkatan aktivitas industri global terutama yang berkaitan dengan pembuangan limbah cair, telah mempercepat penyebaran dan akumulasi logam berat di lingkungan (Rusnadi, 2023). Sifatnya yang tidak dapat diurai secara biologis, toksisitasnya, dan potensinya untuk terakumulasi secara biologis di seluruh rantai makanan. Oleh karena itu, banyak penelitian telah dilakukan untuk mengatasi masalah ini berbagai teknik untuk menghilangkan logam berat meliputi pertukaran ion, presipitasi,

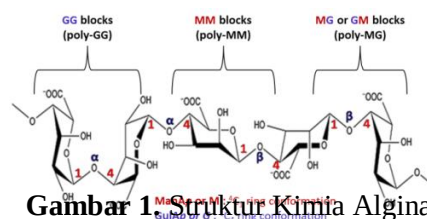
fitoekstraksi, ultrafiltrasi, reverse osmosis, elektrodialisis, dan adsorpsi (Pratomo dkk., 2017).

Adsorpsi adalah salah satu teknik yang paling banyak digunakan dan efisien untuk mengurangi dampak negatif polusi yang disebabkan oleh zat warna dan logam berat. Proses adsorpsi melibatkan penyerapan zat seperti molekul atau ion adsorbat ke permukaan adsorben. Metode adsorpsi banyak digunakan karena prosedurnya mudah, ramah lingkungan dan kemampuan adsorben untuk digunakan kembali (Karim dkk., 2022).

Adsorben berbasis alginat telah menarik perhatian sebagai bahan yang menjanjikan dalam pengolahan air limbah. Tujuan dari artikel ini adalah melakukan tinjauan komprehensif terhadap literatur yang berkaitan dengan enkapsulasi adsorben berbasis alginat dalam pengolahan limbah cair mengandung logam berat. Melalui tinjauan ini, diharapkan dapat memberikan informasi terhadap pengembangan metode pengolahan limbah yang lebih efektif dan berkelanjutan (Ang dkk., 2019).

Alginat merupakan salah satu jenis Alginat merupakan salah satu jenis karbohidrat kompleks yang melimpah di alam. Sumber utamanya adalah alga cokelat namun beberapa jenis bakteri juga dapat memproduksinya. Komponen dasar alginat adalah asam alginat yang kemudian diubah menjadi natrium alginat (garam alginat) untuk memudahkan penggunaannya. Proses pembuatan alginat komersial umumnya melibatkan ekstraksi dari rumput laut menggunakan larutan alkali. Industri saat ini lebih mengandalkan ekstraksi dari alga coklat seperti *Laminaria*, *Macrocystis*, dan *Ascophyllum* karena lebih efisien secara ekonomis dibandingkan produksi melalui fermentasi mikroba (Kamisyah dkk., 2020).

Alginat adalah garam logam dari asam alginat, suatu polisakarida linear yang tersusun dari dua jenis monomer asam uronat yaitu β -D-asam manuronat dan α -L-asam guluronat yang dihubungkan oleh ikatan 1,4 glikosidik membentuk rantai panjang (Kamisyah dkk., 2020).



Gambar 1. Struktur Kimia Alginat
(Abka-Khajouei, 2022).

Enkapsulasi merupakan teknik pemrosesan material di mana suatu zat aktif (inti) diselubungi

oleh material lain (pelapis) untuk membentuk sistem multifasa. Zat aktif yang terenkapsulasi dapat berupa molekul tunggal, makromolekul, atau bahkan mikropartikel, sementara material pelapis dapat berupa polimer, lipid, atau bahan anorganik. Berdasarkan mekanisme pembentukannya, tujuan utama enkapsulasi adalah untuk melindungi bahan aktif dari pengaruh lingkungan, memodifikasi pelepasan bahan aktif, atau meningkatkan stabilitas fisik dan kimia bahan aktif. Metode enkapsulasi secara umum dapat dikategorikan menjadi dua kelompok utama, yaitu metode kimia dan metode fisik (Agustin dan Wibowo, 2021).

Mikroenkapsulasi adalah teknologi yang melapisi bahan aktif dalam bentuk partikel kecil, baik itu zat padat, cair maupun gas ke dalam kapsul kecil yang melepaskan zat aktif secara terkendali. Proses mikroenkapsulasi melibatkan pembungkusan atau pelapisan partikel-partikel kecil atau tetesan cairan menggunakan bahan polimer untuk membentuk partikel-partikel kecil, yang dikenal sebagai mikrokapsul atau mikrosfer (Vila dkk., 2015).

Dalam teknik mikroenkapsulasi, bahan pelapis yang digunakan dapat berupa polimer. Polimer memiliki sifat fisikokimia tertentu yang memberikan struktur dan karakteristik yang beragam. Polimer yang dipilih harus mampu membentuk lapisan tipis yang kohesif dengan bahan inti, memiliki kemampuan untuk bercampur secara kimiawi tanpa bereaksi dengan bahan inti (bersifat *inert*), serta memiliki sifat yang sesuai untuk keperluan pelapisan. Mikroenkapsulasi adalah suatu proses di mana partikel kecil atau tetesan cairan dilapisi dengan bahan polimer, menghasilkan partikel-partikel kecil yang disebut mikrokapsul atau mikrosfer. Proses ini dapat dilakukan dengan berbagai metode, tergantung pada ukuran partikel, seperti *freeze drying*, *spray drying*, pendinginan, pelapisan dengan *fluid bed*, koaservasi dan liposome entrapment (Brandelli dkk., 2016).

Proses mikroenkapsulasi bertujuan untuk meningkatkan stabilitas dan kelarutan suatu bahan, mengontrol pelepasan senyawa aktif, menghasilkan partikel padat yang dilapisi dengan bahan penyalut tertentu, serta meminimalkan kehilangan nutrisi. Prinsip dari mikroenkapsulasi melibatkan pencampuran antara fase air, fase bahan inti, dan fase bahan penyalut hingga terbentuk emulsi yang stabil, diikuti dengan penempelan bahan penyalut pada permukaan bahan inti dan pengecilan ukuran partikel (Ang dkk., 2019).

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode kajian literatur terhadap berbagai artikel ilmiah yang berkaitan dengan metode mikroenkapsulasi alginat. Penelusuran artikel dilakukan melalui berbagai *database* seperti *Google Scholar*, *Garuda*, *Science Direct*, *MDPI* dan *Springer* dengan menggunakan kata kunci spesifik seperti: alginat, adsorpsi, adsorben, mikrokapsul, mikroenkapsulasi, enkapsulasi, modifikasi alginat, logam berat, pencemaran logam. Artikel yang dipilih memiliki rentang waktu publikasi antara tahun 2014 hingga 2024. Data-data yang diperoleh kemudian diolah dan disajikan dalam bentuk deskripsi yang ringkas dan relevan sehingga tercapai tujuan penulis dalam meninjau metode mikroenkapsulasi alginat dan aplikasinya sebagai adsorben logam berat.

Kriteria kelayakan artikel dalam proses pencarian artikel melalui beberapa tahapan berikut ini :

1. Penelusuran artikel dengan kata kunci spesifik, diperoleh data sebagai berikut: *Google Scholar* mencatat 121.520 artikel, *Garuda* 4.618 artikel, *Sciencedirect* 1.767.966 artikel, *MDPI* 53.898 artikel, dan *Springer* 448.985 artikel. Menghasilkan total 2.396.987 literatur yang relevan.
2. Artikel yang diterbitkan berada dalam rentang tahun 2014 hingga 2024. Dari tahap ini, diperoleh 1.428.034 literatur.
3. Literatur dapat diakses dalam bentuk abstrak maupun teks lengkap. Dari tahap ini, terdapat 2.037 artikel yang dapat diakses.
4. Pada tahap akhir uji kelayakan, sebanyak 2.037 artikel disaring untuk memastikan topiknya terfokus dan spesifik pada metode mikroenkapsulasi alginat dan aplikasinya sebagai adsorben untuk menghilangkan ion logam dalam larutan berair. Dari proses seleksi tahap akhir ini, diperoleh 14 artikel yang memenuhi syarat untuk dikaji lebih lanjut.
5. Diperoleh total artikel yang dapat dikaji yaitu sebanyak 14 artikel yang terbagi menjadi 2 dimana 7 artikel yang memuat metode mikroenkapsulasi alginat dan 7 artikel yang memuat aplikasi mikrokapsul alginat sebagai adsorben logam berat.

Diagram alur pemilihan literatur pada artikel ini adalah sebagai berikut:

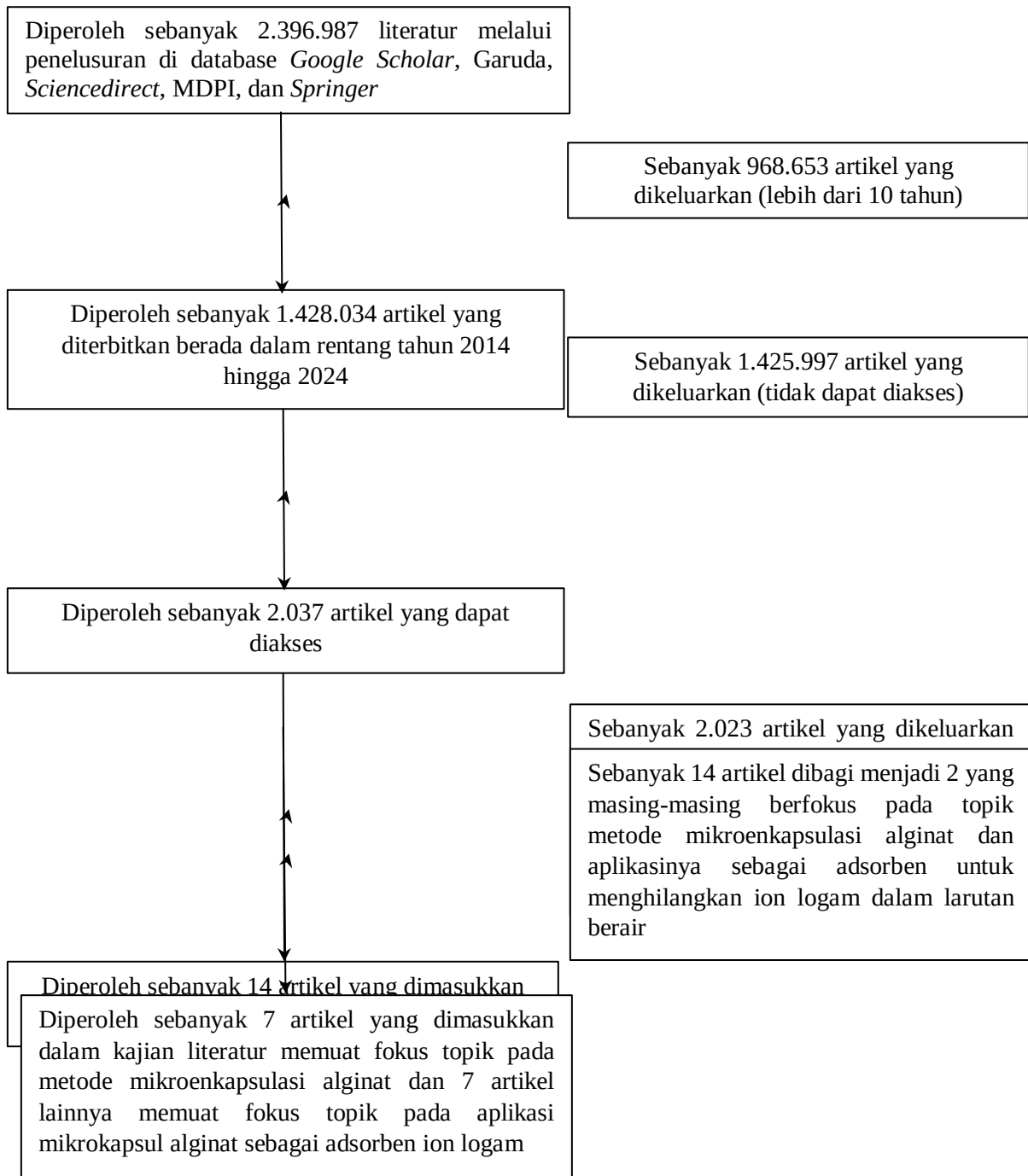


Diagram 1. Alur Pemilihan Literatur

Tabel 1. Hasil Kajian Literatur Metode Mikroenkapsulasi Alginat

No.	Peneliti, Tahun	Judul dan Sumber Artikel	Metode	Hasil
1.	Suryani, Betha dan Mawaddana, (2019)	Uji Viabilitas Mikroenkapsulasi Lactobacillus Casei Menggunakan Matrik Natrium Alginat. <i>Jurnal Farmasi Lampung</i> , 8(1), 1-7.	Ekstrusi	Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa alginat dapat digunakan untuk enkapsulasi probiotik. <i>Bead</i> alginat telah terbukti mampu meningkatkan tingkat kelangsungan hidup probiotik hingga 80-95%. Preparasi <i>bead</i> alginat sebagai matriks bakteri dapat dilakukan dengan metode ekstrusi dan emulsi. Pada penelitian ini, mikroenkapsulasi dilakukan menggunakan metode ekstrusi dengan matriks natrium alginat pada konsentrasi 2%, 3%, dan 4%. Ketiga konsentrasi ini diuji untuk melihat kemampuannya dalam melindungi Lactobacillus casei ATCC 393 dari paparan simulasi cairan lambung. Hasil uji viabilitas menunjukkan jumlah sel pada konsentrasi natrium alginat 2%, 3%, dan 4% masing-masing sebesar $3,08 \times 10^6$ koloni/gram; $7,41 \times 10^4$ koloni/gram; dan $1,01 \times 10^7$ koloni/gram. Selanjutnya, ketiga MLN dengan konsentrasi tersebut diinkubasi dalam simulasi cairan lambung (0,08 M HCl; 0,2% NaCl; pH 1,5) selama 120 menit. Hasil enumerasi viabilitas MLN setelah uji simulasi pada konsentrasi 4% mencapai $4,5 \times 10^3$ koloni/gram, sedangkan viabilitas pada konsentrasi 2% dan 3% tercatat lebih rendah.
2.	Ahmadi, Halim, dan Oktarina, (2019)	Mikroenkapsulasi Ekstrak Etanol Rimpang Temulawak (Curcuma xanthorrhiza Roxb.) dengan Penyalut Natrium Alginat Menggunakan Metode Penyemprotan Kering. <i>Jurnal Farmasi Higea</i> , 11(2), 91-99.	Spray Drying	Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan menunjukkan mikrokapsul ekstrak etanol rimpang temulawak yang menggunakan natrium alginat dan metode penyemprotan kering (<i>spray drying</i>) menunjukkan evaluasi sifat fisiko-kimia yang mencakup analisis distribusi ukuran partikel dengan mikroskop optik, menghasilkan kurva distribusi normal. Morfologi permukaan zat yang diperiksa dengan <i>scanning electron microscope</i> (SEM) menunjukkan bentuk sferis dan permukaan yang halus. Analisis kristalinitas dengan difraksi sinar-X menunjukkan penurunan intensitas yang mengindikasikan perubahan menuju bentuk amorf, sementara analisis termal menggunakan <i>differential scanning calorimeter</i> (DSC) memperlihatkan endotermik yang landai, menunjukkan bahwa ekstrak etanol rimpang temulawak telah terlapisi oleh natrium alginat. Secara umum, dapat disimpulkan bahwa mikroenkapsulasi berfungsi untuk memperbaiki sifat fisiko-kimia dari mikrokapsul ekstrak etanol rimpang temulawak yang dicampur dalam perbandingan 1:1, 1:2, dan 2:1. Analisis distribusi ukuran partikel dengan mikroskop optik menunjukkan ukuran dalam rentang 1-5000 μm , morfologi permukaan zat menunjukkan bentuk sferis dan permukaan halus. Penurunan intensitas pada analisis kristalinitas menunjukkan bahwa ekstrak etanol rimpang temulawak telah terlapisi dalam mikrokapsul,

				dan analisis termal tidak menunjukkan puncak endotermik yang tajam karena ekstrak etanol rimpang temulawak telah terlapisi oleh natrium alginat.
3.	Mardikasari, Akib, dan Indahyani, (2020)	Mikroenkapsulasi asam mefenamat menggunakan polimer kitosan dan natrium alginat dengan metode gelasi ionik. <i>Jurnal Farmasi Galenika (Galenika Journal of Pharmacy)(e-Journal)</i> , 6(2).	Gelasi Ionik	Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa formulasi dan karakterisasi asam mefenamat dalam bentuk mikroenkapsulasi dapat dilakukan dengan metode gelasi ionik. Preparasi dilakukan dengan membandingkan tiga variasi konsentrasi polimer kitosan dan natrium alginat. Parameter keberhasilan yang dinilai meliputi efisiensi penjerapan, bentuk partikel, distribusi ukuran partikel, serta pengujian disolusi. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa persentase zat aktif yang terjerap adalah 98,69%, 96,38%, dan 93,98% secara berurutan, dengan bentuk partikel yang sferis dan ukuran partikel yang sesuai dengan rentang mikroenkapsulasi, yaitu 1.268 μm , 1.343 μm , dan 1.386 μm . Pelepasan zat aktif dalam medium asam dengan pH 1,2 masing-masing adalah 8,811 mg/L, 6,751 mg/L, dan 5,965 mg/L, sedangkan dalam medium basa dengan pH 7,4, formula menunjukkan nilai 79,908 mg/L, 63,394 mg/L, dan 40,312 mg/L. Dengan demikian, mikroenkapsulasi asam mefenamat dapat berhasil dipreparasi menggunakan polimer kitosan dan natrium alginat melalui metode gelasi ionik.
4.	Hariyadi, Rosita, dan Amalia, (2020)	Physical Characteristics of Erythropoietin Encapsulated into Alginate Polymer Using Aerosolization Technique. In <i>Journal of Physics: Conference Series</i> (Vol. 1445, No. 1, p. 012012). IOP Publishing.	Aerosolisasi	Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa karakteristik fisik eritropoietin berhasil dienkapsulasi dalam polimer alginat menggunakan teknologi mikropartikel melalui metode aerosolisasi dengan variasi konsentrasi polimer yang berbeda. Konsentrasi natrium alginat yang digunakan adalah 1%, 2%, dan 3%, dengan cross-linker CaCl_2 1 M. Karakteristik fisik mikrosfer eritropoietin Ca-alginat dianalisis berdasarkan morfologi, ukuran partikel, indeks pembengkakan, hasil, dan integritas struktural. Evaluasi mikrosfer meliputi analisis FT-IR, DTA, kadar air, morfologi menggunakan SEM, distribusi ukuran partikel dengan mikroskop optik, serta penentuan indeks pengembangan dan rendemen. Elektroforesis SDS PAGE juga dilakukan untuk mengevaluasi berat molekul eritropoietin sebelum dan sesudah proses mikroenkapsulasi. Mikrosfer yang dihasilkan memiliki bentuk bulat, permukaan halus, dan ukuran di bawah 5 μm . Penentuan indeks pengembangan dilakukan dengan dua metode: perhitungan massa diferensiasi dan diferensiasi ukuran pada 24 dan 30 jam. Hasil pemeriksaan indeks pembengkakan untuk F1, F2, dan F3 adalah 0,58, 1,25, dan 1,43 pada 24 jam, serta 0,78, 1,78, dan 2,16 pada 30 jam. Sementara itu, hasil indeks pembengkakan dengan metode ukuran pada 24 jam adalah 0,50, 1,15, dan 1,32, dan pada 30 jam adalah 0,65, 1,80, dan

				1,98. Rendemen mikrosfer untuk F1, F2, dan F3 masing-masing adalah $75,55\% \pm 0,350$; $77,84\% \pm 0,290$; dan $86,65\% \pm 0,191$. Hasil statistik menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi alginat berhubungan dengan peningkatan ukuran partikel, indeks pengembangan, dan rendemen. Dari profil SDS PAGE, dapat dipastikan bahwa eritropoietin mempertahankan integritas strukturalnya, yang dibuktikan dengan kesamaan berat molekul sebelum dan sesudah proses enkapsulasi. Penelitian ini menunjukkan potensi mikrosfer eritropoietin-alginat sebagai obat neuroprotektan yang mungkin efektif.
5.	Suratman, Pramita, Agasta, Purwaningsih, Kuncaka, Kunarti dan Wibowo, (2020)	The Effect Of Zeolite Addition And Freeze-Drying Method On Alginat Beads For Controlled Release Fertilizer. In <i>AIP Conference Proceedings</i> (Vol. 2237, No. 1). AIP Publishing.	<i>Freeze Drying</i>	Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pengaruh zeolit pada butiran alginat dalam pembuatan Pupuk Pelepasan Terkendali (CRF) dengan menggunakan metode <i>freeze drying</i> . Pembuatan CRF dilakukan dengan mencampurkan pupuk alginat, zeolit dan NPK cair kemudian mencelupkannya ke dalam larutan CaCl_2 . Hasil penelitian menunjukkan bahwa butiran komposit A/Z/NPK dapat digunakan sebagai pupuk NPK Pelepasan Terkendali dan memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan butiran komposit A/NPK. <i>Freeze drying</i> saat pembentukan butiran menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode pengeringan udara. Penambahan zeolit dan penggunaan <i>freeze drying</i> efektif dalam meningkatkan rasio pengembangan A/NPK. Model kinetika reaksi kimia yang menggambarkan manik-manik A/Z/NPK serta A/NPK yang menggunakan metode pengeringan udara (<i>air-drying</i>) dan <i>freeze drying</i> adalah model Korsmeyer-Peppas. Manik-manik A/NPK yang menggunakan kedua metode pengeringan dan komposit A/Z/NPK menunjukkan kinerja yang baik sebagai pupuk pelepasan terkontrol. Pengaruh zeolit ditentukan melalui pelepasan Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) dari manik A/Z/NPK dan A/NPK. Pembuatan CRF dengan metode <i>freeze drying</i> untuk butiran A/NPK dibandingkan dengan metode pengeringan udara (<i>air-drying</i>) karena pembentukan pori-pori pada permukaan manik-manik yang juga meningkatkan rasio pembengkakan.). Produk CRF dikarakterisasi menggunakan FTIR dan SEM. Analisis N, P, dan K dilakukan dengan metode Kjeldahl, UV-Vis, dan AAS.
6.	Sukri, Putri, Mahani dan Nurhadi, (2023)	Characteristics of propolis encapsulated with gelatin and sodium alginate by complex coacervation method.	Koaservasi Kompleks	Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa propolis dapat dimodifikasi melalui proses mikroenkapsulasi yang kompleks dengan metode koaservasi menggunakan gelatin dan natrium alginat sebagai bahan pelapis. Jumlah propolis yang ditambahkan divariasi menjadi F1 (5 ml), F2 (10 ml), dan F3 (15 ml). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan

		<i>International Journal of Food Properties</i> , 26(1), 696-707.		konsentrasi propolis dapat meningkatkan rendemen, kandungan total fenolik, higroskopisitas, dan kelarutan. Namun, peningkatan konsentrasi propolis juga menyebabkan penurunan efisiensi enkapsulasi, kadar air, aktivitas air, dan waktu pelarutan. Mikrokapsul propolis memiliki morfologi bulat dengan beberapa cekungan di permukaannya. Perlakuan terbaik terlihat pada F1, yang menghasilkan mikrokapsul propolis dengan efisiensi enkapsulasi sebesar 91,86%. Sementara itu, F3 menghasilkan mikrokapsul dengan hasil yang tinggi, kelarutan <i>spray dried</i> yang baik, waktu disolusi yang cepat, kadar air, aktivitas air, dan higroskopisitas yang rendah.
7.	Rahimi, Sadeghi, Kashaninejad dan Ebrahimi, (2024)	Postbiotic Characterization Of A Potential Probiotic Yeast Isolate, And Its Microencapsulation In Alginate Beads Coated Layer-By-Layer With Chitosan. <i>Heliyon</i> , 10(7).	<i>Layer-by-Layer Coating</i>	Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa postbiotik dari isolat ragi PRO yang potensial, serta efek enkapsulasi dengan alginat (Alg) dan kitosan (Ch), berpengaruh pada kelangsungan hidupnya dalam kondisi gastrointestinal simulasi (SGI). Hasil sekuensing produk PCR menunjukkan bahwa <i>Saccharomyces cerevisiae</i> adalah ragi PRO yang dipilih dan diisolasi dari sourdough berbasis gandum. Isolat ini menunjukkan kelangsungan hidup yang tinggi (95,74%) dalam kondisi SGI yang diuji memiliki kemampuan adhesi yang baik, serta menunjukkan aktivitas penghambatan yang signifikan terhadap <i>Listeria monocytogenes</i> (75,84%) dan <i>Aspergillus niger</i> (77,35%). Supernatan bebas sel ragi (CFS) menunjukkan aktivitas antioksidan tertinggi (84,35%) dan degradasi fitat (56,19%) dibandingkan dengan sel isolat yang hidup dan yang mati akibat pemanasan. Berdasarkan hasil uji berbasis HPLC, kemampuan sel yang mati dalam mengatasi okratoksin A (OTA) juga terbukti secara signifikan ($P < 0,05$) lebih tinggi dibandingkan sel yang hidup. Di sisi lain, CFS ragi tidak menunjukkan aktivitas anti-OTA maupun antimikroba terhadap bakteri dan jamur yang diuji. Selain itu, mikroenkapsulasi isolat ragi dalam manik-manik Alg yang dilapisi secara bertahap dengan Ch (dengan efikasi enkapsulasi 77,02% dan diameter 1059 μm berdasarkan analisis mikroskop elektron pemindaian emisi medan) secara signifikan meningkatkan kelangsungan hidupnya dalam kondisi SGI dibandingkan dengan sel yang tidak terenkapsulasi. Juga, adanya ikatan silang elektrostatik antara gugus karboksilat bermuatan negatif dari Alg dan gugus amino bermuatan positif dari Ch telah diverifikasi melalui data inframerah transformasi Fourier dan analisis potensi zeta.

Tabel. 2 Hasil Kajian Literatur dan Analisis Aplikasi Mikrokapsul Alginat Sebagai Adsorben Ion Logam

No	Peneliti, Tahun	Metode	Adsorben	Adsorbat	pH	Varibel Bebas (Optimasi Adsorpsi)	Temperatur (°C)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	% Penyerapan
1.	Wang, Yao, Wang, Yang, Liang dan Chai, (2016)	Gelasi Ionik	Alginat-Fosfat	Pb(II) Cd(II)	4,0 5,5	Variasi pH = Pb(II) = 3,0; 3,5; 4,0 ; 4,5; 5,0; 5,5 Cd(II) = 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5 ; 6,0	-	263,16 82,64	94,2% 80%
2.	Benettayeb, Guibal, Morsli dan Kessas, (2017)	Gelasi Ionik	Alginat-Urea Alginat-Biuret	Pb(II) Cu(II) Cd(II)	4,5- 5,5	Tidak dijelaskan	-	4,8 4,7 3,7	53-84%
3.	Kumari, Mahapatra dan Das, (2017)	<i>Freeze drying</i>	Alginat-EPS	Pb(II)	6,0	Tidak dijelaskan	-	416,67	68,33%
4.	Saha, Venkatesh, Singhal, (2019).	Gelasi Ionik	Alginat-Gra	Au(III)	2-4	Variasi konsentrasi logam = 1-500 µg mL ⁻¹ Variasi pH = 1, 2 , 3 , 4 , 5, 6, 7, 8	-	81,87	95%
5.	Song, Y., Wang, N., Yang, L. Y., Wang, Y. G., Yu, dan Ouyang, (2019)	Gelasi Ionik	Alginat-ZIF-8	Pb(II)	5,0	Variasi konsentrasi logam = 5-1000 mg/L Variasi pH = 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 ; 6,0; 7,0	-	1,321	96,33%
6.	Todorova, Elkova, Stoytcheva, Irova, Kostadinova, dan Gochev, (2019).	Ekstrusi	Alginat-Karbon Aktif- <i>B. cereus</i>	Pb(II), Cd(II), Hg(II)	5,0	Variasi konsentrasi logam = 10-100 mg/L Variasi pH = 3,0; 4,0; 5,0 ; 6,0 Variasi bioadsorben = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 ; 2,5; 3,0 g/L	25°C	82,17	92,13%

7.	Wilan, Hadisoebroto, dan Rinanti, (2019)	Gelasi Ionik	Alginate-Biomassa	Cu(II)	4	Variasi pH = 4, 5, 6 Variasi waktu kontak = 60, 120, 180 menit	25°C	0,025	92%
----	--	--------------	-------------------	--------	---	---	------	-------	-----

Pada tabel 1. Dapat dilihat bahwa artikel yang dikaji berfokus pada metode mikroenkapsulasi alginat dalam berbagai bidang yang diambil dari rentang 2019-2024 dengan total tujuh artikel yang dapat dikaji dan semua artikel dapat diakses secara *fulltext*.

Pada tabel 2. Dapat dilihat bahwa artikel yang dikaji berfokus pada aplikasi dari mikrokapsul alginat sebagai adsorben ion logam yang diambil dari rentang 2016-2019 dengan total tujuh artikel yang dapat dikaji dan semua artikel dapat diakses secara *fulltext*. Berdasarkan kajian literatur dapat dilihat bahwa artikel yang dikaji menggunakan adsorben Alginat-Fosfat (Wang dkk., 2016). Alginat-Urea dan Alginat-Biuret (Benettayeb dkk., 2017). Alginat-EPS (Kumari dkk., 2017). Alginat-Gra (Saha dkk., 2019). Alginat-ZIF-8 (Song dkk., 2019). Alginat-Karbon Aktif- *B. cereus* (Todorova dkk., 2019). Alginat-Biomassa (Wilan dkk., 2019). Pada kajian artikel terdapat lima artikel yang menggunakan metode gelasi ionik yaitu (Wang dkk., 2016), (Benettayeb dkk., 2017), (Saha dkk., 2019), (Song dkk., 2019), (Wilan dkk., 2019), satu artikel menggunakan metode ekstrusi yaitu (Todorova dkk., 2019) dan satu artikel menggunakan metode *freeze drying* yaitu (Kumari dkk., 2017). Pada kajian literatur diperoleh kisaran kapasitas adsorpsi berbasis alginat yaitu 0,025 mg/g hingga 416,67 mg/g dan persen penyerapan dari adsorben alginat yaitu 53%-96,33%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis data tujuh artikel, diketahui bahwa tujuh artikel yang dikaji menggunakan metode mikroenkapsulasi yang berbeda-beda dalam berbagai bidang yang memuat tujuh metode mikroenkapsulasi alginat yaitu ekstrusi, *spray drying*, gelasi ionik, aerosolisasi, *freeze drying*, koaservasi kompleks dan *layer-by-layer coating*.

Pada Penelitian yang dilakukan Suryani dkk, (2019) penerapan metode ekstrusi dalam proses enkapsulasi sel bakteri memberikan sejumlah manfaat signifikan. Metode ini dinilai sederhana dan ekonomis dalam pelaksanaan, serta mampu mempertahankan viabilitas sel probiotik pada tingkat yang tinggi. Dibandingkan dengan teknik *spray-drying*, ekstrusi dianggap lebih minim risiko terhadap kerusakan sel. Adapun metode enkapsulasi yang dilakukan yaitu sebanyak 50 ml suspensi bakteri *Lactobacillus casei* ATCC 393 dicampur homogen dengan 50 ml larutan natrium alginat konsentrasi 4%, 6%, dan 8%, sehingga konsentrasi akhir campuran menjadi 2%, 3%, dan

4%, menggunakan *magnetic stirrer* kemudian disterilisasi dengan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit. Campuran homogen dimasukkan ke dalam jarum suntik no. 30 G dan diteteskan ke dalam *beaker glass* yang berisi larutan CaCl_2 0,2 M. *Bead sel* amobil yang terbentuk didiamkan selama 30 menit di dalam larutan, kemudian dipisahkan dan dicuci dengan larutan NaCl 0,9% steril. *Bead* yang terpisah disaring dengan kertas saring dan dipindahkan ke cawan petri kemudian disimpan dalam kulkas. Diperoleh hasil mikroenkapsulasi yang dilakukan menggunakan metode ekstrusi dengan matriks natrium alginat pada konsentrasi 2%, 3%, dan 4%. Ketiga konsentrasi ini diuji untuk melihat kemampuannya dalam melindungi *Lactobacillus casei* ATCC 393 dari paparan simulasi cairan lambung. Diperoleh hasil uji viabilitas menunjukkan jumlah sel pada konsentrasi natrium alginat 2%, 3%, dan 4% masing-masing sebesar $3,08 \cdot 10^6$ koloni/gram; $7,41 \cdot 10^4$ koloni/gram; dan $1,01 \cdot 10^7$ koloni/gram. Selanjutnya, ketiga MLN dengan konsentrasi tersebut diinkubasi dalam simulasi cairan lambung (0,08 M HCl; 0,2% NaCl; pH 1,5) selama 120 menit. Hasil enumerasi viabilitas MLN setelah uji simulasi pada konsentrasi 4% mencapai $4,5 \cdot 10^3$ koloni/gram, sedangkan viabilitas pada konsentrasi 2% dan 3% tercatat lebih rendah.

Pada Penelitian yang dilakukan Ahmadi dkk, (2019) metode *spray drying* melalui empat tahapan yaitu pembentukan emulsi atau dispersi yang homogen, kemudian dilanjutkan dengan proses atomisasi untuk meningkatkan luas permukaan kontak antara bahan aktif dan bahan penyalut. Tahap ketiga melibatkan penguapan cepat pelarut akibat kontak dengan udara panas, sehingga menghasilkan partikel padat. Produk akhir kemudian dipisahkan dari aliran udara melalui mekanisme seperti siklon atau filtrasi. Adapun metode enkapsulasi yang dilakukan yaitu natrium alginat didispersikan terlebih dahulu di dalam *aquadest* kemudian larutan penyalut diaduk menggunakan homogenizer dengan kecepatan 3000 rpm selama 5 menit, kemudian ditambahkan ekstrak temulawak sedikit demi sedikit sambil dihomogenisasi kembali dengan kecepatan 3000 rpm selama 5 menit. Larutan disemprot dengan suhu inlet 140°C dan suhu outlet 70°C, kecepatan penyemprotan 5 mL/menit dan tekanan penyemprotan 4 bar. Mikrokapsul yang terbentuk disimpan dalam wadah tertutup rapat dan terlindungi dari cahaya. Diperoleh hasil menunjukkan evaluasi sifat fisiko-kimia yang mencakup analisis distribusi ukuran partikel dengan mikroskop optik, menghasilkan kurva

distribusi normal. Morfologi permukaan zat yang diperiksa dengan *scanning electron microscope* (SEM) menunjukkan bentuk sferis dan permukaan yang halus. Analisis kristalinitas dengan difraksi sinar-X menunjukkan penurunan intensitas yang mengindikasikan perubahan menuju bentuk amorf, sementara analisis termal menggunakan *differential scanning calorimeter* (DSC) memperlihatkan endotermik yang landai, menunjukkan bahwa ekstrak etanol rimpang temulawak telah terlapisi oleh natrium alginat. Secara umum, dapat disimpulkan bahwa mikroenkapsulasi berfungsi untuk memperbaiki sifat fisiko-kimia dari mikrokapsul ekstrak etanol rimpang temulawak yang dicampur dalam perbandingan 1:1, 1:2, dan 2:1.

Pada Penelitian yang dilakukan Mardikasari dkk, (2020) gelasi ionik adalah metode sederhana yang menghindari penggunaan pelarut organik berbahaya. Metode ini memiliki keunggulan utama dalam melindungi molekul yang dienkapsulasi serta menjaga aktivitasnya selama proses enkapsulasi. Selain itu, ikatan silang fisik yang dapat dipulihkan melalui interaksi elektrostatik berperan sebagai ikatan silang kimia yang dapat mengurangi risiko toksisitas reagen dan efek samping lainnya. Dalam metode ini, polimer seperti natrium alginat dan kitosan berpotensi tinggi membentuk struktur dengan ikatan silang yang kuat. Dibandingkan polimer alami lainnya, natrium alginat dan kitosan menghasilkan gel yang lebih seragam dengan struktur ikatan silang yang kuat dan kapasitas pemuatan bahan yang lebih tinggi. Adapun metode enkapsulasi yang dilakukan mikroenkapsulasi asam mefenamat dibuat dalam tiga formula yang telah dimodifikasi. Proses pembuatannya dimulai dengan melarutkan 2 gram asam mefenamat ke dalam 100 ml larutan NaOH 0,1 N. Di wadah terpisah, Natrium Alginat dilarutkan dalam air dengan konsentrasi 1%, 2%, dan 3%, sementara kitosan dilarutkan dalam asam asetat dengan konsentrasi 0,05%, 0,1%, dan 0,15%. Larutan asam mefenamat dan larutan alginat yang sudah homogen kemudian dicampur, lalu diambil menggunakan *syringe* berukuran 22 G untuk diteteskan ke dalam larutan CaCl_2 , membentuk butiran mikrokapsul basah. Mikrokapsul dibiarkan terendam dalam CaCl_2 selama 10 menit, lalu disaring menggunakan kertas saring. Setelah penyaringan, butiran mikrokapsul direndam dalam larutan Tween 80 konsentrasi 3% selama 10 menit, kemudian disaring dan direndam lagi dalam larutan kitosan selama 10 menit. Setelah proses penyaringan terakhir, mikrokapsul dikeringkan dalam oven pada suhu 40°C sebelum dilakukan

karakterisasi. Diperoleh hasil menunjukkan bahwa persentase zat aktif yang terperap adalah 98,69%, 96,38%, dan 93,98% secara berurutan, dengan bentuk partikel yang sferis dan ukuran partikel yang sesuai dengan rentang mikroenkapsulasi, yaitu 1.268 μm , 1.343 μm , dan 1.386 μm . Pelepasan zat aktif dalam medium asam dengan pH 1,2 masing-masing adalah 8,811 mg/L, 6,751 mg/L, dan 5,965 mg/L, sedangkan dalam medium basa dengan pH 7,4, formula menunjukkan nilai 79,908 mg/L, 63,394 mg/L, dan 40,312 mg/L. Dengan demikian, mikroenkapsulasi asam mefenamat dapat berhasil dipreparasi menggunakan polimer kitosan dan natrium alginat melalui metode gelasi ionik.

Pada Penelitian yang dilakukan Hariyadi dkk, (2020) adapun metode enkapsulasi yang dilakukan natrium alginat dilarutkan dalam 100 mL aquadest. 5000 IU *Erythropoietin* didispersikan ke dalam larutan alginat dan diaduk hingga larutan menjadi homogen. Larutan eritropoietin-alginat yang dihasilkan disemprotkan menggunakan semprotan aerosol dengan ukuran lubang 35 μm , tekanan konstan 40 psi dan jarak penyemprotan 8 cm ke dalam 200 ml CaCl_2 dan diaduk terus menerus selama 30 menit dengan kecepatan 1000 rpm. Mikrosfer yang dibentuk dalam *centrifuge* dengan kecepatan 4000 rpm selama 6 menit kemudian dicuci menggunakan akuades sebanyak 2-3 kali. Mikrosfer yang telah dicuci disuspensikan dalam larutan maltodekstrin 5%, kemudian dikeringkan dengan pengeringan beku pada suhu -26°C selama 30 jam. Diperoleh hasil produksi mikrosfer *Erythropoietin*-Ca alginat dengan teknik aerosolisasi dihasilkan mikrosfer dengan ukuran $<5 \mu\text{m}$ berbentuk bulat dan halus. Peningkatan polimer konsentrasi 1%, 2%, dan 3% mengakibatkan peningkatan indeks pembengkakan dan nilai rendemen, namun tidak terjadi peningkatan. Peningkatan signifikan terjadi dalam hal distribusi ukuran partikel. Integritas *Erythropoietin* bisa dilihat dari tidak adanya perubahan berat molekul eritropoietin sebelum dan sesudah proses enkapsulasi. Disarankan penelitian lebih lanjut mengenai uji stabilitas mikrosfer EPO-alginat dengan mengamati denaturasi EPO. Karakterisasi mikrosfer dilakukan dengan analisis menggunakan FT-IR, DTA, kadar air, morfologi menggunakan SEM, distribusi ukuran partikel dengan mikroskop optik serta penentuan indeks pengembangan dan rendemen.

Pada Penelitian yang dilakukan Suratman dkk, (2020) prinsip dasar dari metode *freeze drying* adalah pengeringan pada suhu rendah dengan tekanan vakum. Dalam metode ini, zat aktif dan

bahan penyalut terlebih dahulu didispersikan dalam air. Setelah itu, dilakukan pre-treatment berupa pembekuan material, kemudian proses pengeringan dilakukan melalui sublimasi langsung pada suhu dan tekanan rendah. Adapun metode enkapsulasi yang dilakukan yaitu dengan melarutkan 0,75 g natrium alginat dalam 12,50 mL pupuk NPK kemudian dicampur dengan zeolit 0,25 g dilarutkan dalam 12,50 mL pupuk NPK. Larutan A/NPK dan A/Z/NPK diteteskan dalam CaCl_2 . *Bead* dicuci dengan aquadest dan disaring. *Bead* kemudian dikeringkan pada suhu ruang selama 48 jam dan dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared* dan *Scanning Electron Microscopy*. Diperoleh hasil menunjukkan bahwa butiran komposit A/Z/NPK dapat digunakan sebagai pupuk NPK Pelepasan Terkendali dan memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan butiran komposit A/NPK. Metode *freeze drying* saat pembentukan butiran menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode pengeringan udara.

Pada Penelitian yang dilakukan Sukri dkk, (2023) mikroenkapsulasi menggunakan koaservasi kompleks merupakan salah satu metode yang dapat diterapkan untuk meminimalkan karakteristik ekstrak propolis yang tidak diinginkan. Penelitian mengenai mikroenkapsulasi propolis dengan metode koaservasi kompleks dengan konsentrasi propolis yang berbeda belum banyak dilakukan. Koaservasi kompleks didasarkan pada interaksi asosiatif antara polimer bermuatan berlawanan, biasanya antara protein dan polisakarida. Biopolimer yang digunakan sebagai pelapis adalah gelatin dan natrium alginat. Gelatin merupakan protein amfoter dengan muatan positif di bawah titik isoelektriknya dan dapat membentuk koaservat dengan natrium alginat yang memiliki muatan negatif pada pH lebih rendah. Adapun metode enkapsulasi yang dilakukan yaitu ekstrak propolis dimasukkan ke dalam larutan gelatin kemudian dihomogenisasi menggunakan homogenizer. Setelah itu ditambahkan larutan natrium alginat dan diaduk selama 5 menit. Larutan homogen diatur hingga pH akhir 4 menggunakan 1 M HCl, dan ditambahkan larutan maltodekstrin. Larutan kemudian disimpan dalam lemari es selama 24 jam, kemudian dikeringkan menggunakan alat *spray dryer* pada suhu masuk 150°C, suhu keluar 70–74°C, aspirator 90% dan pompa 30%. Diperoleh hasil menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi propolis dapat meningkatkan rendemen, kandungan total fenolik, higroskopisitas, dan kelarutan. Namun, peningkatan konsentrasi propolis juga

menyebabkan penurunan efisiensi enkapsulasi, kadar air, aktivitas air, dan waktu pelarutan. Mikrokapsul propolis memiliki morfologi bulat dengan beberapa cekungan di permukaannya.

Pada Penelitian yang dilakukan Rahimi dkk, (2024) adapun metode enkapsulasi yang dilakukan yaitu isolat ragi yang dikultur semalaman disentrifugasi (5000 g pada suhu 4°C dicampur dengan 1 mL suspensi sel (10^8 CFU selama 10 menit) kemudian 9 mL larutan natrium alginat (2% b/v)). Selanjutnya campuran diteteskan perlahan ke dalam larutan yang mengandung CaCl_2 0,05 M. Manik-manik kemudian dibiarkan mengeras selama 45 menit. Untuk pelapisan tambahan menggunakan metode LBL, kitosan (0,4% b/v) diasamkan dengan asam asetat glasial dan pH diatur menjadi 5,7–6,0 menggunakan NaOH 1 N. Setelah itu, butiran alginat yang dibuat dengan metode ekstrusi disuspensikan dalam larutan kitosan dan dikocok selama 30 menit pada 100 rpm. Diperoleh hasil menunjukkan bahwa postbiotik dari isolat ragi PRO yang potensial serta efek enkapsulasi dengan alginat (Alg) dan kitosan (Ch) berpengaruh pada kelangsungan hidupnya dalam kondisi gastrointestinal simulasi (SGI). Hasil sekuensing produk PCR menunjukkan bahwa *Saccharomyces cerevisiae* adalah ragi PRO yang dipilih dan diisolasi dari sourdough berbasis gandum. Isolat ini menunjukkan kelangsungan hidup yang tinggi (95,74%) dalam kondisi SGI yang diuji memiliki kemampuan adhesi yang baik, serta menunjukkan aktivitas penghambatan yang signifikan terhadap *Listeria monocytogenes* (75,84%) dan *Aspergillus niger* (77,35%).

Berdasarkan hasil analisis data tujuh artikel, diketahui bahwa tujuh artikel yang dikaji membahas tentang penggunaan adsorben berbasis alginat untuk menghilangkan ion logam dalam larutan berair. Variabel bebas yang digunakan pada artikel meliputi waktu kontak, konsentrasi logam dan pH.

Pada penelitian yang dilakukan Wang dkk, (2016) digunakan adsorben alginat-fosfat untuk menyerap logam Pb(II) dan Cd(II) yang dibuat menggunakan metode gelasi ionik. Pada penelitian ini menunjukkan penyerapan logam Pb(II) dan Cd(II) memerlukan pH optimal masing-masing sebesar 4,0 dan 5,5 dengan konsentrasi awal Pb(II) dan Cd(II) masing-masing adalah 200 dan 25 mg/L. Diperoleh persen penyerapan sebesar 94,2% untuk Pb(II) dan 80% untuk Cd(II). Proses sorpsi terjadi ketika ion logam berat berinteraksi dengan *bead* yang memiliki luas permukaan besar, yang kemudian terikat pada OH^- dan mengendap dengan radikal fosfat, sesuai dengan analisis yang

dilakukan melalui FTIR dan XRD. Model isoterm Langmuir yang diperoleh dengan nilai R^2 sebesar 0,9957 untuk Pb(II) dan 0,988 untuk Cd(II) menunjukkan kecocokan yang tinggi, serta kapasitas sorpsi yang terukur untuk Pb(II) dan Cd(II) masing-masing sebesar 263,16 mg/g dan 82,64 mg/g. Temuan ini menunjukkan bahwa butiran kalsium alginat yang tertanam dalam fosfat dapat digunakan untuk mengolah air limbah yang mengandung Pb(II) atau Cd(II) dan *bead* kalsium alginat yang tersemat fosfat dapat dimanfaatkan untuk mengolah limbah yang mengandung Pb(II) dan Cd(II), serta berpotensi digunakan sebagai amelioran tanah untuk rehabilitasi lahan sawah yang terkontaminasi logam berat.

Pada penelitian yang dilakukan Benettayeb dkk, (2017) digunakan adsorben alginat-urea dan alginat-biuret untuk menyerap logam Pb(II), Cu(II) dan Cd(II) yang dibuat menggunakan metode gelasi ionik. Pada penelitian ini menunjukkan pencangkakan urea dan biuret pada alginat meningkatkan efektivitas penyerapan biopolimer untuk perolehan Cd(II), Cu(II), dan Pb(II) dari larutan asam sedang (pH dalam kisaran 4,5 –5,5) sebesar 53%–84% yang terkonfirmasi melalui analisis spektrometri FTIR. Model isoterm sorpsi Langmuir dan Sips berhasil menjelaskan perilaku sorpsi dengan kapasitas sorpsi maksimal sebesar 3,7 mmol Cd/g, 4,7 mmol Cu/g, dan 4,8 mmol Pb/g untuk *bead* alginat-urea. Sifat elektronik (kelembutan) dan konfigurasi ion terhidrasi, serta sifat aturan asam-basa keras dan lunak dari ligan yang ada pada sorben, semuanya terkait dengan afinitas sorben terhadap ion logam. Fitur difusi sangat penting dalam mengendalikan profil kinetika serapan, tetapi PSORE juga memungkinkan penyesuaian kinetika serapan yang diamati. Selain itu, dalam larutan multi-komponen, sorben menunjukkan afinitas yang lebih kuat terhadap Pb(II) dibandingkan dengan kation divalen lainnya. Temuan ini menunjukkan potensi besar dari alginat yang dimodifikasi untuk aplikasi dalam pengolahan limbah logam berat.

Pada penelitian yang dilakukan Kumari dkk, (2017) digunakan adsorben alginat-EPS untuk menyerap logam Pb(II) yang dibuat menggunakan metode *freeze drying*. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa EPS yang dihasilkan oleh biofilm yang diimobilisasi memberikan kontribusi signifikan terhadap sekuestrasi Pb(II) dibandingkan dengan butiran alginat murni. Untuk menentukan kondisi optimal dalam penyisihan maksimum Pb(II), variabel pH diuji dalam rentang 3 hingga 8, serta variasi konsentrasi awal Pb(II) dari 100 hingga 600 mg/L. *Bead* alginat-EPS

menunjukkan kapasitas biosorpsi yang jauh lebih baik yaitu sebesar 416,67 mg/g dibandingkan dengan *bead* biomassa alginat sebesar 232,55 mg/g dan *bead* alginat murni sebesar 120,48 mg/g. Diperoleh pH optimum untuk proses ini yaitu pada pH 6. Selain itu, model isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich berhasil menjelaskan data eksperimen dengan koefisien determinasi (R^2) mencapai 0,99. Pengujian penggunaan kembali adsorben alginat-EPS melalui siklus adsorpsi/desorpsi menunjukkan efisiensi yang baik, dengan nilai adsorpsi sebesar 68,33% dan desorpsi 66,8% setelah tiga siklus. Temuan ini menunjukkan potensi EPS sebagai bahan adsorben yang efektif untuk pengelolaan limbah Pb(II) di lingkungan.

Pada penelitian yang dilakukan Saha dkk, (2019) digunakan adsorben alginat-gra untuk menyerap logam Au(III) yang dibuat menggunakan metode gelasi ionik. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa *bead* hidrogel Gra-Alg memiliki kapasitas adsorpsi maksimum mencapai 81,87 mg/g yang sangat dipengaruhi oleh pH larutan dengan persen penyerapan lebih dari 95% serapan Au tercatat pada rentang pH 2–4. Waktu kontak yang diperlukan untuk mencapai kesetimbangan serapan adalah 22 jam yang menunjukkan bahwa proses adsorpsi memerlukan waktu yang cukup untuk mencapai kestabilan. Berdasarkan analisis isoterm menunjukkan bahwa sistem ini mengikuti model isoterm Langmuir dengan kapasitas serapan maksimum (q_{max}) yang sama dengan 81,87 mg/g. Temuan ini menunjukkan bahwa *bead* hidrogel alginat-gra dapat efektif untuk pengolahan limbah yang mengandung ion emas.

Pada penelitian yang dilakukan Song dkk, (2019) digunakan adsorben alginat-ZIF-8 untuk menyerap logam Pb(II) yang dibuat menggunakan metode gelasi ionik. Pada penelitian ini menunjukkan natrium alginat dan ZIF-8 digunakan untuk membuat adsorben baru dengan mikropartikel ZIF-8/kalsium alginat. Berbagai parameter seperti konsentrasi awal Pb(II), waktu kontak, pH dan suhu reaksi dieksplorasi untuk memahami kinerja mikropartikel ZIF-8@CALg dalam mengadsorpsi Pb(II) dari larutan. Hasil menunjukkan bahwa setelah 120 menit, kapasitas adsorpsi maksimum mikropartikel ZIF-8@CALg mencapai 1,321 mg/g pada pH 5, dan proses adsorpsi ini sesuai dengan model isoterm Langmuir ($R^2 = 0,9856$) serta model kinetik PSORE ($R^2 = 0,9999$). Temuan ini juga mengindikasikan bahwa adsorpsi Pb(II) merupakan proses endotermik, yang menunjukkan bahwa peningkatan suhu dapat

meningkatkan efisiensi adsorpsi. Selain itu, bahkan setelah lima siklus regenerasi, efektivitas penyisihan Pb(II) tetap lebih baik dari 80%, menandakan potensi penggunaan kembali yang tinggi dari ZIF-8@CALg dalam aplikasi lingkungan. Penelitian ini membuka peluang baru untuk mengatasi tantangan dalam pengelolaan limbah logam berat, serta memperluas pemanfaatan MOF dalam teknologi adsorpsi.

Pada penelitian yang dilakukan Todorova dkk, (2019) digunakan adsorben alginat-karbon aktif-*B. cereus* untuk menyerap logam Pb(II), Cd(II), Hg(II) yang dibuat menggunakan metode ekstrusi. Pada penelitian ini menunjukkan penghapusan Pb(II), Cd(II), dan Hg(II) dari larutan berair diselidiki menggunakan biomassa limbah dari *Bacillus cereus* yang diimmobilisasi dalam natrium alginat dan ko-immobilisasi dengan karbon aktif menjadi gel alginat. Adsorben komposit yang terbuat dari biomassa limbah *B. cereus* yang diimmobilisasi dengan karbon aktif dalam butiran alginat memberikan hasil paling menjanjikan dalam menghilangkan logam berat. Immobilisasi pada kondisi optimal dengan pH 5,0, dosis adsorben 2 g/L, suhu 25°C, kecepatan pengadukan 120 rpm selama 120 menit, kapasitas adsorpsi sebesar 82,17 mg/g dan persen penyerapan maksimum ion Pb(II) mencapai 92,13%. Temuan ini menunjukkan potensi besar dari penggunaan biomassa limbah sebagai adsorben yang efisien dan ramah lingkungan untuk pengendalian pencemaran logam berat di perairan.

Pada penelitian yang dilakukan Wilan dkk, (2019) digunakan adsorben alginat-biomassa untuk menyerap logam Cu(II) yang dibuat menggunakan metode gelasi ionik. Pada penelitian ini menunjukkan *bead* adsorben dibuat dengan mencampurkan 0,5 g biomassa mati per gram polimer natrium alginat yang memungkinkan interaksi efektif antara ion Cu(II) dan butiran adsorben pada kisaran pH 4–6 dan waktu kontak 0–180 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persen penyerapan Cu(II) diperoleh sebesar 92% dengan konsentrasi limbah awal 25 mg/L pada pH 4, waktu kontak 120 menit dan suhu 25°C. Proses penyerapan ini mengikuti model isoterm Langmuir dengan nilai R^2 sebesar 0,9991 yang menandakan kesesuaian sangat baik antara data eksperimen dan model yang digunakan. Temuan ini membuktikan bahwa butiran adsorben dari mikroalga kultur campuran dapat digunakan sebagai metode yang efektif dan ramah lingkungan untuk mengelola polusi Cu(II) di lingkungan.

Berdasarkan kajian literatur yang telah dilakukan diketahui bahwa metode gelasi ionik

menjadi metode yang paling banyak digunakan dalam mikroenkapsulasi alginat dikarenakan prosesnya yang sederhana dan tidak memerlukan pemanasan atau penggunaan pelarut organik sehingga lebih aman bagi zat aktif yang sensitif terhadap suhu atau bahan kimia yang keras. Metode gelasi ionik memanfaatkan interaksi yang terjadi antara ion multivalen dengan polimer alginat untuk membentuk suatu struktur gel atau *bead* yang stabil. Mikrokapsul yang dibuat menggunakan metode gelasi ionik memiliki kemampuan yang sangat baik untuk mengikat ion logam, hal ini disebabkan adanya muatan negatif dari gugus karboksilat pada alginat yang dapat berinteraksi dengan ion logam yang bermuatan positif sehingga memungkinkan penyerapan ion secara efektif. Keunggulan dari metode gelasi ionik meliputi kemampuan menghasilkan mikrokapsul yang stabil dengan waktu sintesis yang relatif cepat, ramah lingkungan dan memiliki kapasitas adsorpsi yang baik sehingga sesuai untuk diterapkan dalam teknologi pengolahan limbah yang mengandung ion logam.

KESIMPULAN

Dari hasil kajian literatur yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa metode mikroenkapsulasi melalui gelasi ionik merupakan pendekatan yang lebih umum digunakan dalam pembuatan mikrokapsul alginat yang dapat dimodifikasi dengan berbagai material tambahan seperti karbon aktif, biomassa, dan bentonit. Efisiensi adsorpsi logam berat ini sangat dipengaruhi oleh sifat fisikokimia dari adsorben serta kondisi eksternal seperti pH dan konsentrasi ion logam. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan terhadap tujuh artikel diketahui adsorben berbasis alginat terutama yang telah dimodifikasi menunjukkan kapasitas yang lebih baik dalam menyerap logam berat dibandingkan dengan alginat murni, dengan kapasitas adsorpsi berkisar antara 0,025 mg/g hingga 416,67 mg/g dan persen penyerapan antara 53% hingga 96,33%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Apresiasi yang tinggi dan terima kasih kepada para penulis literatur yang telah berbagi pengetahuan melalui publikasi ilmiah serta ucapan terima kasih kepada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman Samarinda atas dukungan dan fasilitas yang diberikan sehingga artikel ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abhibawa, A., Sulardiono, B., & Rahman, A. (2022). Analisis Pencemaran Logam Berat Pb Pada Air Sungai Babon Kota Semarang. *Jurnal Pasir Laut*, 6(2), 75-80.
- Abka-Khajouei, R., Tounsi, L., Shahabi, N., Patel, A. K., Abdelkafi, S., & Michaud, P. (2022). Structures, properties and applications of alginates. *Marine drugs*, 20(6), 364.
- Agustin, D. A., & Wibowo, A. A. (2021). Teknologi Enkapsulasi: Teknik dan Aplikasinya. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 7(2), 202-209.
- Ang, L. F., Darwis, Y., Por, L. Y., & Yam, M. F. (2019). Microencapsulation curcuminoids for effective delivery in pharmaceutical application. *Pharmaceutics*, 11(9), 451.
- Arsita, M., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2023). Analisis Pencemaran Air Berdasarkan Baku Mutu Air Dengan Parameter Fisika Dan Kimia Pada Saluran Air Jalan Nias I Kabupaten Jember. *Fisitek: Jurnal Ilmu Fisika dan Teknologi*, 7(1).
- Benettayeb, A., Guibal, E., Morsli, A., & Kessas, R. (2017). Chemical modification of alginate for enhanced sorption of Cd (II), Cu (II) and Pb (II). *Chemical Engineering Journal*, 316, 704-714.
- Brandelli, A., Brum, L. F. W., & dos Santos, J. H. Z. (2016). Nanobiotechnology methods to incorporate bioactive compounds in food packaging. *Nanoscience in Food and Agriculture* 2, 27-58.
- Hariyadi, D. M., Rosita, N., & Amalia, K. (2017). Physical Characteristics of Erythropoietin Encapsulated into Alginate Polymer Using Aerosolization Technique. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1445, pp. 1-13).
- Kamisyah, S., Sapar, A., Brilliantoro, R., & Sayekti, E. (2020). Isolasi dan karakterisasi alginat dari rumput laut (*Sargassum polycystum*) asal Perairan Singkawang Kalimantan Barat. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 8(3).
- Karim, M. A., Juniar, H., & Ambarsari, M. F. P. (2022). Adsorpsi Ion logam fe dalam limbah tekstil sintesis dengan menggunakan metode batch. *Jurnal Distilasi*, 2(2), 68-81.
- Kumari, S., Mahapatra, S., & Das, S. (2017). Ca-alginate as a support matrix for Pb (II) biosorption with immobilized biofilm associated extracellular polymeric substances of *Pseudomonas aeruginosa* N6P6. *Chemical Engineering Journal*, 328, 556-566.
- Mardikasari, S. A., Akib, N. I., & Indahyani, R. (2020). Mikroenkapsulasi asam mefenamat menggunakan polimer kitosan dan natrium alginat dengan metode gelasi ionik. *Jurnal Farmasi Galenika (Galenika Journal of Pharmacy)(e-Journal)*, 6(2).
- Pratomo, S. W., Mahatmanti, F. W., & Sulistyarningsih, T. (2017). Pemanfaatan zeolit alam teraktivasi H₃PO₄ sebagai adsorben ion logam Cd (II) dalam larutan. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6(2), 161-167.
- Rahimi, D., Sadeghi, A., Kashaninejad, M., & Ebrahimi, M. (2024). Postbiotic characterization of a potential probiotic yeast isolate, and its microencapsulation in alginate beads coated layer-by-layer with chitosan. *Heliyon*, 10(7).
- Rusnadi, R., & Safitri, I. (2023). Pembuatan dan Penggunaan Bulir Kalsium Alginat-PVA untuk Adsorpsi Ion Cd (II). *Jurnal Kartika Kimia*, 6(1), 38-44.
- Saha, S., Venkatesh, M., Basu, H., Pimple, M. V., & Singhal, R. K. (2019). Recovery of gold using graphene oxide/calcium alginate hydrogel beads from a scrap solid state detector. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(3), 103134.
- Song, Y., Wang, N., Yang, L. Y., Wang, Y. G., Yu, D., & Ouyang, X. K. (2019). Facile fabrication of ZIF-8/calcium alginate microparticles for highly efficient adsorption of Pb (II) from aqueous solutions. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58(16), 6394-6401.
- Sukri, N., Putri, T. T. M., Mahani, & Nurhadi, B. (2023). Characteristics of propolis encapsulated with gelatin and sodium alginate by complex coacervation method. *International Journal of Food Properties*, 26(1), 696-707.
- Suratman, A., Pramita, N., Agasta, P. N., Purwaningsih, D. R., Kuncaka, A., Kunarti, E. S., & Wibowo, A. H. (2020, June). The effect of zeolite addition and freeze-drying method on alginat beads for controlled release fertilizer. In *AIP conference proceedings* (Vol. 2237, No. 1). AIP Publishing.
- Todorova, K., Velkova, Z., Stoytcheva, M., Kirova, G., Kostadinova, S., & Gochev, V. (2019). Novel composite biosorbent from

- Bacillus cereus* for heavy metals removal from aqueous solutions. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 33(1), 730-738.
- Vila, M. M., Chaud, M. V., & Balcão, V. M. (2015). Microencapsulation of natural anti-oxidant pigments. In *Microencapsulation and microspheres for food applications* (pp. 369-389). Academic Press.
- Wang, Y. Y., Yao, W. B., Wang, Q. W., Yang, Z. H., Liang, L. F., & Chai, L. Y. (2016). Synthesis of phosphate-embedded calcium alginate beads for Pb (II) and Cd (II) sorption and immobilization in aqueous solutions. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26(8), 2230-2237.
- Wilan, T., Hadisoebroto, R., & Rinanti, A. (2019, December). Copper biosorption using beads biosorbent of mixed culture microalgae. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1402, No. 2, p. 022110). IOP Publishing.
- Yari, M., Derakhshi, P., Tahvildari, K., & Nozari, M. (2021). Preparation and characterization of magnetic iron nanoparticles on alginate/bentonite substrate for the adsorptive removal of Pb 2+ ions to protect the environment. *Journal of Polymers and the Environment*, 29, 2185-2199.
- Yuni, D. P. (2020). Dampak Pencemaran Logam Berat (Timbal, Tembaga, Merkuri, Kadmium, Krom) Terhadap Organisme Perairan dan Kesehatan Manusia. *Jurnal Akuatek*, 1(1), 59-65.