

Potential of marine algae polysaccharides as bioactive agents in dental polymers

Potensi polisakarida alga laut sebagai agen bioaktif dalam polimer kedokteran gigi

¹Erika Ramadhani, ¹Yusnita Damayanti, ¹Shohwah Zakiyah, ²Lenni Indriani

¹Mahasiswa Tingkat Profesi, Fakultas Kedokteran, Gigi Universitas Hasanuddin

²Departemen Ilmu Material Teknologi Kedokteran Gigi, Fakultas Kedokteran, Gigi Universitas Hasanuddin Makassar, Indonesia

Corresponding author: **Shohwah Zakiyah**, e-mail: **zakiyahs20j@student.unhas.ac.id**

ABSTRACT

The use of natural biomaterials in dentistry has grown significantly in recent decades due to increasing demand for bioactive, biocompatible, and environmentally friendly materials. Marine algae-derived polysaccharides—such as alginic acid, fucoidan, carrageenan, ulvan, and agarose—have emerged as promising candidates due to their antibacterial, anti-inflammatory, antioxidant, and bioadhesive properties. This article reviews the potential of algal polysaccharides as foundational materials for bioactive polymers in dentistry. Their applications include regenerative scaffolds, local drug delivery systems, root canal filling materials, and membrane guided tissue regeneration. Studies show these polysaccharides are safe, biocompatible, and support tissue regeneration and therapeutic outcomes in oral care. However, further *in vivo* and clinical research, along with standardized methods for extraction and chemical modification, are necessary to ensure consistent quality and clinical effectiveness.

Keywords: algae polysaccharides, dental biomaterials, bioactive polymers

ABSTRAK

Dalam beberapa dekade terakhir, penggunaan biomaterial alami dalam kedokteran gigi meningkat pesat karena tingginya permintaan akan bahan yang bioaktif, biokompatibel, dan ramah lingkungan. Salah satu sumber menjanjikan adalah polisakarida dari alga laut. Polisakarida seperti alginat, fucoidan, karagenan, ulvan, dan agarosa memiliki aktivitas biologis seperti antibakteri, anti-inflamasi, antioksidan, dan sifat bioadesif, sehingga relevan untuk aplikasi kedokteran gigi. Artikel ini meninjau potensi polisakarida alga sebagai bahan dasar polimer bioaktif. Aplikasinya mencakup scaffold regeneratif, bahan pengisi saluran akar, dan membran guided tissue regeneration. Polisakarida alga menunjukkan biokompatibilitas serta mendukung regenerasi jaringan dan efektivitas terapeutik dalam perawatan oral. Untuk memastikan kualitas dan efektivitas klinis yang konsisten, dibutuhkan studi *in vivo* dan klinis lebih lanjut, serta pengembangan metode ekstraksi dan modifikasi kimia yang terstandarisasi.

Kata kunci: polisakarida alga, biomaterial kedokteran gigi, bioaktif polimer

Received: 10 October 2025

Accepted: 15 November 2025

Published: 01 December 2025

PENDAHULUAN

Dalam beberapa dekade terakhir, bidang kedokteran gigi telah mengalami transformasi signifikan dalam hal pemanfaatan biomaterial yang tidak hanya bersifat restoratif, bioaktif, biokompatibel, dan *biodegradable*, tetapi juga terapeutik dan regeneratif.¹ Seiring meningkatnya kebutuhan akan bahan tidak toksik, ramah lingkungan, dan memiliki sifat biologis unggul, perhatian mulai tertuju pada biomaterial alami, khususnya bahan yang berasal dari laut. Salah satu sumber potensial yang tengah berkembang adalah polisakarida yang diekstraksi dari alga, yang telah mendapatkan perhatian luas sebagai komponen yang berpotensi dalam pengembangan polimer bioaktif untuk aplikasi kedokteran gigi, seperti scaffold/jaringan periodontal, matriks resin komposit, bahan pengisi saluran akar, serta membran guided tissue regeneration (GTR).¹⁻³

Alga merupakan organisme fotosintetik yang hidup di lingkungan perairan laut dan diklasifikasikan menjadi tiga kelompok utama berdasarkan pigmennya. Ketiga jenis ini memproduksi polisakarida dengan struktur dan fungsi unik, yaitu alga hijau (*Chlorophyceae*) walaupun lebih sedikit diteliti, menghasilkan ulvan, suatu polisakarida sulfat yang telah menunjukkan efek imunomodulator dan proliferasi sel fibroblas gingiva; alga coklat (*Phaeophyceae*) mengandung alginat dan fucoidan, yang menunjukkan aktivitas anti-inflamasi, antibakteri, dan osteoinduktif, menjadikannya sangat potensial untuk aplikasi regeneratif dalam kedokteran gigi; alga merah (*Rhodophyta*) menghasilkan agarose dan karagenan, yang me-

miliki sifat gelifikasi dan muatan negatif, cocok untuk peningkatan protein dan ion kalsium.²⁻⁴

Dalam bidang kedokteran gigi, keunggulan polisakarida alga meliputi biokompatibilitas tinggi, yang mengurangi risiko reaksi imunologis, sifat hidrofilik, yang meningkatkan adesi dan interaksi dengan jaringan lunak, potensi bioaktivitas, termasuk stimulasi pertumbuhan sel, remineralisasi dentin, dan efek antibakteri terhadap patogen oral seperti *Streptococcus mutans* dan *Porphyromonas gingivalis*, kemampuan membentuk gel dan film, sangat penting dalam aplikasi scaffolding dan pembawa obat lokal agen antimikroba dan remineralisasi.^{5,6}

Melihat prevalensi penyakit periodontal dan kebutuhan akan bahan yang aman, efektif, dan terbarukan, maka pengembangan biopolimer berbasis alga menjadi salah satu fokus penting dalam biomaterial kedokteran gigi masa depan. Artikel ini menelaah potensi polisakarida alga sebagai agen bioaktif dalam pengembangan polimer untuk aplikasi kedokteran gigi.

TINJAUAN PUSTAKA

Alga dan kandungan polisakarida

Alga pertama kali diperkenalkan oleh Linnaeus pada tahun 1753 dan de Jussieu pada tahun 1789. Alga merupakan organisme fotosintetik yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi kimia yang disimpan dalam bentuk senyawakimia dalam proses fotosintesis.^{7,8}

Alga diklasifikasikan secara besar berdasarkan pigmatasinya *Chlorophyceae* adalah alga hijau yang mengandung pigmen klorofil a dan b (*Chlamydomonas*,

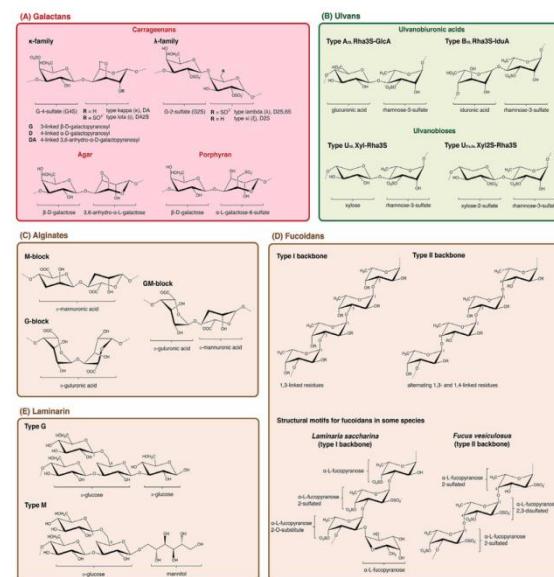
Spirogyra, dan *Chara*); *Rhodophyceae* adalah alga yang mengandung pigmen merah, *r-phycoerythrin* (*Porphyra*, *Gracilaria*, dan *Gelidium*) tipe alga ini ditemukan di kedalaman yang lebih dalam dari alga coklat dan hijau karena membutuhkan sinar biru; dan *Phaeophyceae* yang merupakan alga coklat yang mengandung pigmen seperti klorofil A,C, karotenoid, dan xantofil (*Dictyota*, *laminaria*, dan *Sargassum*). Tipe alga keempat adalah alga biru-hijau (*Cyanobacteria*) yang sering disebut sebagai rumput laut. Tipe alga tersebut banyak ditemukan di akuarium rumah. Perbedaannya tidak hanya menyangkut pigmentasi, tetapi juga jenis bahan penyimpanan dan kandungan polisakarida dinding sel.^{8,9}

Polisakarida merupakan biopolimer yang berasal dari alga yang memiliki potensi sangat besar untuk mendapatkan senyawa bioaktif. Pada alga, polisakarida dapat ditemukan di dinding sel, ruang intrasel, dan lingkungan ekstrasel sebagai bagian dari zat polimerekstrasi yang disekresikan. Polisakarida yang umum ditemukan meliputi alginat, laminaran, fucoidan, agarosa, porfirin, karagenan, dan ulvan pada makroalga. Selulosa, β -glukan, pektin, kitin, agaropektin, dan lignin pada mikroalga dan sianobakteri. Industri makanan umumnya memanfaatkan beberapa polisakarida ini untuk sifat pengentalan hidrokoloidnya, seperti aplikasi karagenan, agar, dan alginat dalam gel, *gums*, *viscosity modifiers* dan *stabilizers*.¹⁰

Struktur polisakarida terkait erat dengan fungsinya dan banyak polisakarida laut memiliki residu aleatories, sehingga menyulitkan karakterisasi struktural, seperti alginat tersusun dari dua residu asam uronat monomerik yaitu asam β -D-mannuronat (ManA) dan asam α -L-guluronat (GulA). Ikatan 1,4 dapat secara acak menyusun kopolimer ini menjadi blok poli-ManA, blok poli-GulA, atau blok ManA-GulA [15]. Alginat dengan kandungan GulA yang lebih tinggi memiliki sifat pembentuk gel yang lebih besar, sedangkan alginat dengan kandungan ManA yang lebih tinggi terikat pada viskositas yang lebih tinggi. Selain itu, karagenan adalah polisakarida yang menghasilkan campuran molekul polimolekul dan polidispersi. Sementara karagenan ada sebagai campuran isomeryang terjadi secara alami, seperti yang ditunjukkan pada (κ -, ι -, dan λ -karagenan yang semuanya menunjukkan derajat dan lokasi sulfasi yang bervariasi dalam monomer 3,6 anhidrogalaktosa), proses ekstraksi dapat menyebabkan perubahan dalam distribusi masing-masing isomer. Ekstraksi alkali dapat mengubah λ -karagenan menjadi tipe κ - atau ι -, memungkinkan kepastian dalam struktur asli, serta memengaruhi sifat-sifat yang mengarah pada aplikasi penggunaan akhir. Derajat sulfatasiterbukti memengaruhi bioaktivitas, misalnya sulfasi yang lebih tinggi menyebabkan peningkatan aktivitas anti-HIV dari κ -karagenan. Mirip dengan alginat, rasio isomer akan memengaruhi keseluruhan struktur dan sifat biopolimer dan dapat menginduksi atau menghambat pembentukan gel.¹⁰

Sifat dan aktivitas bioaktif polisakarida alga Antibakteri

Sifat antimikroba dari polisakarida yang berasal dari



Gambar 1 Polisakarida laut utama dan blok penyusunnya masing-masing; **A** galaktan tersulfatisasi, komponen polisakarida utama dalam alga laut merah, **B** ulvan, jenis polisakarida utama yang ditemukan dalam makroalga hijau, **C-E** polisakarida yang terutama ditemukan dalam makroalga coklat (Sumber: Sasaki and Yoshikuni. Metabolic engineering for valorization of macroalgae biomass. *Metabolic Engineering* 2022;71:42-61. Copyright 2022, with permission from Elsevier).

alaberkaitan dengan kemampuannya berinteraksi dengan glikoreseptor pada dinding sel bakteri, komponen membran, serta asam nukleat dan polisakarida seluler. Interaksi ini menyebabkan gangguan pada kestabilan membran dan fungsi sel secara keseluruhan. Aktivitas antimikroba tersebut dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk berat molekul, kepadatan muatan, struktur kimia, dan konformasi molekulnya.¹¹

Polisakarida dari *Enteromorpha prolifera* dilaporkan memiliki aktivitas antibakteri. Sebagai contoh, penelitian oleh Shao et al. menunjukkan bahwa polisakarida yang mengalami degradasi dengan hidroksamat memiliki efek penghambatan yang lebih tinggi terhadap bakteri Gram-positif (*Bacillus subtilis* dan *Staphylococcus aureus*) maupun Gram-negatif (*Salmonella*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Escherichia coli*). Selain itu, dalam kondisi eksperimental, kompleks polisakarida-selenida dari *E. prolifera* juga menunjukkan efek penghambatan terhadap pertumbuhan *E. coli* dan *S. aureus*.^{11,12}

Anti-inflamasi

Polisakarida laut yang bersifat anti-inflamasi menunjukkan efek terapeutik melalui modulasi berbagai mekanisme molekuler dan seluler yang terlibat dalam proses inflamasi. Mekanisme ini mencakup penekanan produksi dan pelepasan mediator proinflamasi seperti TNF- α , IL-1 β , iNOS, dan COX-2, serta penghambatan jalur penyalian inflamasi utama seperti NF- κ B dan MAPK. Fucoidan, polisakarida sulfat utama dari alga coklat, merupakan salah satu senyawa yang paling banyak diteliti karena kemampuannya dalam menurunkan sekresi sitokin proinflamasi tersebut. Dengan menekan ekspresi TNF- α , IL-6, dan IL-1 β , fucoidan berpotensi mencegah kerusakan jaringan periodontal yang diakibatkan oleh

inflamasi kronis.^{13,14}

Selain fucoidan, polisakarida lain dari alga laut juga menunjukkan aktivitas anti-inflamasi yang relevan dalam konteks kesehatan mulut. Ulvan, yang berasal dari matriks ekstrasel alga hijau, memiliki aktivitas anti-inflamasi secara in vitro dan berpotensi dalam mengurangi inflamasi gingiva serta menurunkan keparahan periodontitis. Sementara itu, karagenan yang diperoleh dari alga merah terbukti secara eksperimen dapat meredakan inflamasi jaringan sekitar rongga mulut. Aktivitas ini diduga berkaitan dengan kemampuannya dalam mengganggu jalur produksi mediator inflamasi.^{15,16}

Antioksidan

Polisakarida sulfat dalam dinding sel makroalga tidak ditemukan pada tumbuhan darat dan diketahui memiliki aktivitas antioksidan yang berperan penting dalam melawan berbagai penyakit seperti penuaan, peradangan kronis, dan gangguan kardiovaskular. Polisakarida tersebut, seperti fucoidan pada alga cokelat, ulvan pada alga hijau, dan karagenan pada alga merah, mampu bertindak sebagai antioksidan dengan menghambat reaksi oksidasi, termasuk dengan cara mengganggu pembentukan radikal bebas. Aktivitas ini berkaitan erat dengan struktur kimia polisakarida sulfat, seperti derajat sulfatisasi, berat molekul, jenis gula utama, dan pola percabangan glikosidik.¹⁷

Beberapa studi menunjukkan bahwa polisakarida sulfat dari makroalga memiliki aktivitas antioksidan yang kuat dan dalam beberapa kasus melebihi antioksidan sintetik. Kim et al. melaporkan bahwa fucoidan dari *Sargassum fulvellum* memiliki kemampuan menangkap radikal oksida nitrat yang lebih tinggi dibandingkan *butylated hydroxyanisole* (BHA), antioksidan sintetik yang umum digunakan. de Souza et al. juga menunjukkan bahwa fucoidan dan fukan dari *Fucus vesiculosus* dan *Padina gymnospora* secara signifikan menghambat pembentukan radikal hidroksil dan superoksida. Selain itu, Qi et al. menemukan bahwa ulvan dari *Ulva pertusa* dengan berat molekul rendah menunjukkan aktivitas antioksidan lebih kuat dibandingkan berat molekul tinggi, karena kemampuannya yang lebih baik dalam penetrasi sel dan donasi proton.¹⁷

Bioadesif

Polisakarida dari alga laut—seperti alginat, karagenan, dan fucoidan memiliki kapasitas bioadesif (mukoadesif) yang signifikan, terutama karena keberadaan gugus aktif seperti hidroksil, karboksil, dan sulfat yang mampu membentuk ikatan hidrogen dan interaksi elektrostatis dengan mukus atau permukaan sel epitel. Mekanisme utama adesi ini melibatkan penetrasi rantai polisakarida ke dalam jaringan mukosa, pembentukan interaksi hidrogen serta jaringan silang yang lemah, dan peningkatan viskositas serta retensi formulasi di lokasi aplikasi (misalnya rongga mulut, saluran pencernaan). Struktur fleksibel, bobot molekul tinggi, dan muatan ionik turut memperkuat kemampuan adesi ini.¹⁸

Selain itu, penggunaan film hidrokolik komposit berbasis alginat dan kitosan telah dieksplorasi dalam kon-

teks terapi stomatologi. Sebuah penelitian mengembangkan film bioadesif dari Ca^{2+} -crosslinked carboxymethyl cellulose nanofibers dan alginat, yang digunakan untuk mengantarkan dexamethasone dan dyclonine pada ulkus oral tikus. Film ini menunjukkan keseimbangan antara elastisitas dan fleksibilitas yang baik, dan adesi kuat pada mukosa oral, serta tahan terhadap cairan, uji biokompatibilitas, dan efektivitas penyembuhan ulkus dalam 7 hari.¹⁹

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa bahan berbasis polisakarida alga tidak memicu reaksi toksik pada jaringan, serta mampu mendukung pertumbuhan dan viabilitas sel in vitro dan in vivo. Sebuah penelitian menunjukkan bahwa scaffold berbasis alginat-fucoidan menunjukkan kompatibilitas sel yang baik dan degradasi yang terkendali saat diuji pada model hewan, tanpa indikasi reaksi penolakan jaringan. Ulvan dari *Ulva sp.* juga menunjukkan profil biokompatibilitas yang baik—penelitian in vitro pada sel fibroblas tikus tidak menemukan efek sitotoksik, dan uji in vivo pada tikus menunjukkan peningkatan angiogenesis tanpa respons asing yang merugikan. Karakteristik ini menjadikan polisakarida alga sebagai bahan alami yang aman dan efektif untuk dikembangkan lebih lanjut dalam bidang biomaterial dan teknologi medis.^{20,21}

HASIL

Hasil sintesis artikel yang potensi polisakarida alga laut sebagai agen bioaktif dalam polimer kedokteran gigi tampak pada Tabel 1.

PEMBAHASAN

Aplikasi polisakarida alga dalam polimer kedokteran gigi meliputi sembilan hal.
 1) peran alginat dalam endodontik regeneratif. Bhoj et al menghasilkan lingkungan mikro berbasis alginat yang meniru bentuk *gutta-percha* dan mengekspresikan kondisi seluler dan molekuler internal yang diperlukan untuk regenerasi jaringan pulpa. Alginat arginin–glisin–aspartat (RGD) digunakan untuk membungkus sel endotel vascular umbilikalis manusia dan sel punca pulpa gigi dengan faktor pertumbuhan yang dipertahankan. Penelitian ini mencatat peningkatan proliferasi sel punca pulpa gigi dan sel endotel vena umbilikalis manusia yang mendukung efek regeneratif yang sangat baik. Demikian pula, Devillard et al. menciptakan perancah biologis yang terbuat dari alginat-kolagen untuk berfungsi sebagai *gutta-percha* biologis untuk perawatan endodontik regeneratif. Sel punca papila apikal manusia mampu menyebar, bertahan hidup, berkembang biak, dan berdiferensiasi menjadi sel-sel seperti osteoblas dengan matriks ekstrasel tulang yang terkalsifikasi pada perancah alginat-kolagen ini, menyediakan lingkungan penyembuhan saluran akar yang sangat baik;²²

2) peran alginat sebagai pembawa obat intrakanal. Klorheksidin (CHX) merupakan zat kimia yang umum digunakan sebagai agen irigasi saluran akar atau medikamen intrakanal selama terapi endodontik untuk mendisinfeksi dan membersihkan sistem saluran akar. Evelyn et al. memproduksi nanokomposit nanoselulosa-alginat

Tabel 1 Sintesis artikel

Penulis	Tahun	Judul	Simpulan
Chang Y, et al	2024	<i>Bioadhesive and drug-loaded cellulose nanofiber/alginate film for healing oral mucosal wounds</i>	Studi ini menghadirkan film yang bersifat mukoadesif dan mampu mengontrol pelepasan obat, serta memiliki kekuatan mekanis yang tinggi untuk pengobatan ulkus oral.
Lin G, et al	2022	<i>An Insight into the role of marine biopolymer alginate in endodontics: a review</i>	Kajian ini secara menyeluruh mengidentifikasi, merangkum, dan menilai penggunaan alginat sebagai biomaterial yang berpotensi bermanfaat dalam berbagai aplikasi endodontik. Dengan mempertimbangkan keterbatasan bukti yang tersedia, alginat telah muncul sebagai biomaterial baru sebagai pembawa sel dan perancah dalam endodontik regeneratif, sistem penghantaran mikrokapsul untuk medikamen intra-kanal, bahan penguat agen khelasi, dan sealer saluran akar.
Hao Y, et al	2021	<i>Marine polysaccharide-based composite hydrogels containing fucoidan: Preparation, physicochemical characterization, and biocompatible evaluation</i>	Hidrogel berbasis polisakarida laut yang mengandung kitosan (CS), agar (AG), atau fucoidan (FD) telah berhasil dikembangkan melalui proses crosslinking yang dimediasi oleh ECH dalam larutan alkali/urea. Hidrogel komposit yang dihasilkan menunjukkan struktur berpori yang relatif homogen, kemampuan pembengkakan yang dapat disesuaikan, serta sifat biodegradabilitas yang bergantung pada komposisi dan proporsi polisakarida yang digunakan
Kim M, et al	2022	<i>Effects of fucoidan powder combined with mineral trioxide aggregate as a direct pulp-capping material. Polymers.</i>	Fucoidan merupakan aditif yang efektif untuk bahan kaping pulpa tradisional (MTA) dan memiliki sifat yang memuaskan, terutama dalam hal aktivitas biologis. Penambahan fucoidan dapat mempercepat waktu <i>setting</i> , meningkatkan sifat mekanik dan sealing, sekaligus mendukung proliferasi dan diferensiasi pulpa/gigi.
Yang Z, et al	2022	<i>The applications of polysaccharides in dentistry</i>	Polisakarida alami seperti kitosan, asam hialuronat, selulosa, dan polisakarida alga laut memiliki potensi besar dalam kedokteran gigi karena sifatnya yang biokompatibel, <i>biodegradable</i> , non-toksik, dan mudah dimodifikasi. Bahan-bahan ini efektif digunakan untuk: Regenerasi jaringan keras (misalnya dentin, tulang alveolar) dan lunak (seperti gingiva dan mukosa), Penghantaran obat lokal untuk infeksi, peradangan, dan kanker mulut, Modifikasi bahan restoratif dan perekat, Produk perawatan mulut seperti pasta gigi, obat kumur, dan chewing gum.
Sudhaka r M, et al	2024	<i>Applications of seaweed biopolymers and its composites in dental applications</i>	Biopolimer dari rumput laut, seperti alginat, karagenan, agar, fucoidan, dan ulvan, memiliki potensi besar dalam aplikasi kedokteran gigi karena sifatnya yang biokompatibel, <i>biodegradable</i> , serta mendukung regenerasi jaringan. Meskipun penggunaannya masih terbatas dibandingkan polimer sintetik, kemajuan dalam pengembangan bioink, hidrogel, dan komposit berbasis nanoteknologi menjanjikan pengganti ramah lingkungan untuk bahan kedokteran gigi masa depan.
Duo W, et al	2023	<i>Probiotic-loaded calcium alginate/fucoidan hydrogels for promoting oral ulcer healing</i>	Penelitian ini berhasil mengembangkan hidrogel komposit berbasis kalsium alginat (CA) dan fucoidan (FD) yang dimuat dengan probiotik <i>Lactobacillus rhamnosus</i> sebagai plester bioaktif untuk penyembuhan ulkus oral. Kombinasi probiotik dan fucoidan dalam matriks hidrogel terbukti efektif menstimulasi migrasi fibroblas, menekan peradangan, serta mempercepat regenerasi jaringan mukosa oral.
Akshaya a L, et al	2025	<i>Preparation of carrageenan and fucoidan silica nanoparticle-based membrane for guided bone regeneration in dental implant sites.</i>	Membran berbahan dasar carrageenan dan fucoidan yang dimodifikasi dengan nanopartikel silika berhasil dikembangkan sebagai kandidat bahan untuk GBR di areaimplan gigi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran ini memiliki sifat antibakteri terhadap <i>S. mutans</i> , aktivitas antioksidan yang signifikan (~52,9%), dan kekuatan mekanik yang lebih tinggi dibandingkan membran kontrol. Kombinasi bahan-bahan ini juga menunjukkan biokompatibilitas yang baik, sehingga menjanjikan untuk aplikasi regeneratif pada tulang alveolar.

untuk membungkus CHX dan menemukan bahwa laju pelepasan CHX jauh lebih besar di lingkungan saluran akar yang terinfeksi dengan bantuan nanokomposit ini. Nurdin et al. melakukan penelitian serupa dengan mensintesis mikrokapsul silika untuk membungkus CHX 2% dan kemudian melapisinya dengan kitosan dan natrium alginat. Penelitian ini mengungkapkan bahwa mikrokapsul dan CHX membentuk ikatan yang memfasilitasi pelepasan CHX dengan nilai tertinggi pada pH 5,5;²² 3) peran alginat sebagai bahan pengisi saluran akar. Salah satu dasar perawatan endodontik yang efektif adalah menutup sistem saluran akar dengan *gutta-percha bioinert dan sealer*. Huang et al. melaporkan bahwa penambahan natrium alginat 1% ke dalam komponen cair dari sealer saluran akar berbasis kaca bioaktif yang baru menghasilkan daya alir, ketebalan, waktu pengerasan, kelarutan, dan morfologi seragam yang memuaskan yang menunjukkan penggunaan endodontik klinis. Produk ini juga menunjukkan kemampuan menutup yang dapat di-

terima, serta sitotoksitas minimal dan biokompatibilitas yang sangat baik;²²

4) peran alginat sebagai bahan penguat dalam agen *chelating*. Agen ini digunakan dalam prosedur endodontik untuk membantu menyiapkan saluran akar yang terkalsifikasi dan menyempit dengan melunakkan struktur dentin saluran akar secara kimia dan melarutkan lapisan smear. Girard et al. mengembangkan agen khelasi saluran akar eksperimental baru yang mencakup 2% alginat, 3% aerosol, 10% Tween 80, dan 18% protein pengikat Heme (HEBP) dan membandingkannya dengan agen khelasi yang dikomersialkan. Agen khelasi eksperimental dengan penguatan alginat tidak berpengaruh pada residu klorin bebas dalam larutan hipoklorit dan menunjukkan sifat khelasi yang lebih baik dengan pengurangan yang signifikan pada lapisan smear di bagian akar koronal dan tengah;²²

5) fucoidan sebagai bahan digunakan untuk memodifikasi MTA. Penambahan fucoidan dapat mempercepat

waktu setting, meningkatkan sifat mekanik dan sealing, dan mendukung proliferasi dan diferensiasi pulpa/gigi;²³ 6) *probiotic-loaded calcium alginate/fucoidan hydrogels* digunakan sebagai *patch* bioaktif untuk mukosa mulut, menunjukkan adesi kuat, sifat antibakteri, dan kompatibilitas tinggi. Konsep serupa memungkinkan penerapan dalam intracanal *medicament* untuk efektivitas mikrobiologi lokal yang lebih baik;²⁴ 7) penggunaan film berbasis *k*-karagenan dan fucoidan yang ditambahkan nanopartikel silika terbukti efektif sebagai membran untuk GBR di area implantologi, memperlihatkan efek antibakteri terhadap *S. mutans* aktivitas antioksidan tinggi;²⁵ 8) peran alginat dalam bidang kedokteran gigi. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa natrium alginat dapat mengobati ulkus aftosa berulang. Senyawa ini dapat meringankan rasa sakit dan meningkatkan persistensi obat di mukosa mulut. Selain itu, alginat terutama digunakan untuk stomatologi sebagai cetakan bahan oral. Model oral merupakan langkah penting sebelum perawatan ortodontik dan prostodontik. Bahan cetak alginat memiliki fluiditas, ketahanan, plastisitas, dan akurasi penghantaran obat yang luar biasa, sehingga meningkatkan penggunaan klinisnya;²⁶

9) peran agarosa dalam bidang kedokteran gigi. Agarosa adalah polisakarida polimer linier yang diekstrak dari rumput laut yang terdiri atas β -Dgalactopyranose yang terhubung 1→3 dan unit 3,6 anhydro- α -L-galactopyranose yang terhubung 1→4 secara bergantian, masing-masing disebut sebagai residu G dan A. Agarosa adalah hidrogel potensial untuk pelepasan zat bioaktif yang terkendali, mengingat biokompatibilitasnya yang baik dan biodegradabilitas alaminya. Di rongga mulut, gel agarosa mengatur ukuran dan bentuk kristal hidro-

ksiapatit. Sistem mineralisasi biomimetik baru yang mengandung gel agarosa dapat menginduksi lapisan hidroksiapatit padat pada permukaan dentin yang mengalami demineralisasi untuk memblokir tubulus dentin guna remineralisasi dentin, suatu metode baru yang berpotensi untuk mengobati hipersensitivitas dentin dan karies gigi. Kedua polisakarida alga ini sangat biokompatibel dan memiliki aplikasi kedokteran gigi yang luas, termasuk mengobati penyakit mulut.²⁶

Disimpulkan bahwa polisakarida yang diperoleh dari berbagai jenis alga laut menunjukkan potensi besar sebagai bahan dasar dalam pengembangan polimer bioaktif untuk aplikasi kedokteran gigi. Karakteristiknya yang meliputi biokompatibilitas tinggi, aktivitas antibakteri, anti-inflamasi, antioksidan, serta potensi bioadesif menjadikannya kandidat ideal untuk digunakan dalam berbagai bidang, seperti regenerasi jaringan, sistem penghantaran obat, dan bahan pengisi saluran akar. Dengan sifat alami yang ramah lingkungan dan profil biologis yang menguntungkan, pemanfaatan polisakarida alga dapat menjadi solusi inovatif dan berkelanjutan dalam pengembangan biomaterial kedokteran gigi di masa mendatang.

Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan agar dilakukan lebih banyak penelitian *in vivo* dan uji klinis untuk mengevaluasi efektivitas serta keamanan jangka panjang dari polisakarida alga dalam aplikasi kedokteran gigi, terutama sebagai biomaterial regeneratif dan sistem penghantaran obat. Selain itu, standarisasi metode eksstraksi, pemurnian, dan modifikasi kimia polisakarida perlu dikembangkan agar menghasilkan kualitas produk yang konsisten dan optimal. Kolaborasi multidisiplin antara bidang kedokteran gigi, bioteknologi, dan ilmu bahan juga penting untuk mempercepat translasi temuan laboratorium ke dalam praktik klinis yang aplikatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Pacho MO, Deeney D, Johnson E. Characterization of ag-Ion releasing zeolite filled 3D printed resins. *J Funct Biomater* 2023;14:7
- Sudhakar MP, Nallasamy VD, Dharani G, Buschmann AH. Application of seaweed biopolymers and its composites in dental application. *J Appl Biol Biotechnol* 2024; 12(1): 62-8
- Devi Y, Nagendra A, Shenoy S, Chatterjee K, Venkatesan J. Fucoidan-incorporated composite scaffold stimulates osteogenic differentiation of mesenchymal stem cells for bone tissue engineering. *Mar Drugs*. 2022; 20(10): 589
- Ho CY, Wang CC, Wu TC. Advances in biomedical applications of hydrogels from seaweed-derived sulfated polysaccharides: carrageenan, fucoidan, and ulvan. *Bioeng Transl Med* 2023; 8(2): 10447
- Lin J, Jiao G, Kermanshahi-Pour A. Algal polysaccharides-based hydrogels: extraction, synthesis, characterization, and applications. *Mar Drugs*. 2022; 20(5): 306
- Atila D, Kumaravel V. Advances in antimicrobial hydrogels for dental tissue engineering: regenerative strategies for endodontics and periodontics. *Biomaterial Science* 2023; 11(5): 1-74.
- Sahoo D, Baweja P. The algae world. New Delhi: Springer Science+Business Media Dordrecht; 2015. P.1-29.
- Se-won K, Chojnacka K. Marine algae extracts; processes, products, and applications. Weinheim: Wiley-VCH;2015.p.1-34
- Veluchamy C, Palaniswamy R. A review on marine algae and its applications. *Asian J Pharmaceut Clin Res* 2020; 13:1-25
- Lesco KC, Williams SKR, Laurens LML. Marine algae polysaccharides: an overview of characterization techniques for structural and molecular elucidation. *Marine Drug* 2025; 23(3): 105.
- Matin M, Koszarska M, Atanasov AG, Król-Szmajda K, Jóźwik A, Stelmasiak A, Hejna M. Bioactive potential of algae and algae-derived compounds: focus on anti-inflammatory, antimicrobial, and antioxidant effects. *Molecules*. 2024;29:4695.
- Shao LL, Xu J, Shi MJ, Wang XL, Li YT, Kong LM, et al. Preparation, antioxidant and antimicrobial evaluation of hydroxamate degraded polysaccharides from Enteromorpha prolifera. *Food Chem* 2017;237:481-7. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.05.119
- Elbandy M. Anti-inflammatory effects of marine bioactive compounds and their potential as functional food ingredients in the prevention and treatment of neuroinflammatory disorders. *Molecules*. 2022;28(1):2.
- Yoon J, Lee SH, Kim HJ. The potential use of fucoidan from brown algae for oral health. *Mar Drugs* 2021;19:648.
- Lee KM, Kim DY, Lee SH. Carrageenan extracts from red algae as antibacterial agents in oral health care. *J Appl Phycol* 2018;30:553-60.
- Alagarsamy V, Jaiswal AK, Sharma R. Green algae polysaccharides in oral care: A novel approach. *Front Pharmacol* 2022; 13:824392.

17. El-Shafei R, Hegazy H, Acharya B. A review of antiviral and antioxidant activity of bioactive metabolite of macroalgae within an optimized extraction method. *Energies* 2021;14(11):3092.
18. Yermak IM, Davydova VN, Volod'ko AV. Mucoadhesive marine polysaccharides. *Marine Drug* 2022;20(8):522.
19. Chang Y, Zhao W, Li W, Zhang Q, Wang G. Bioadhesive and drug-loaded cellulose nanofiber/alginate film for healing oral mucosal wounds. *International J Biol Macromol* 2024;276:133858.
20. Hao Y, Zheng W, Sun Z, Zhang D, Sui K, Shen P, Li P, Zhou Q. Marine polysaccharide-based composite hydrogels containing fucoidan: Preparation, physicochemical characterization, and biocompatible evaluation. *Int J Biol Macromol* 2021;183: 1978-86.
21. Madub K, Goonoo N, Gimé F, Ait Arsa I, Schönher H, Bhaw-Luximon A. Green seaweeds ulvan-cellulose scaffolds enhance in vitro cell growth and in vivo angiogenesis for skin tissue engineering. *Carbohydrate Polymers* 2021;251:117025.
22. Lin G, Cher C, Goh Y. An insight into the role of marine biopolymer alginate in endodontics: a review. *Marin Drug* 2022; 20:539
23. Kim M, Hayashi M, Yu B, Lee TK, Kim RH, Jo D. effects of fucoidan powder combined with mineral trioxide aggregate as a direct pulp-capping material. *Polymers*. 2022; 14(12): 2315.
24. Dou X, Li G, Wang S, Shao D. Probiotic-loaded calcium alginate/fucoidan hydrogels for promoting oral ulcer healing. *Int J Biol Macromol* 2023; 31(244): 125273.
25. Akashayaa L, Ganesh BS. Preparation of carrageenan and fucoidan silica nanoparticle-based membrane for guided bone regeration in dental implant sites. *J Long Term Eff Med Implants*. 2025; 35(2): 25-32
26. Yang Z, Liu W, Liu H. The applications of polysaccharides in dentistry. *Front Bioengineer Biotechnol* 2022; 22(10): 970041.