

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Baru-baru ini pembalut luka berbasis hidrogel sedang gencar dikembangkan. Hidrogel telah menunjukkan potensi dan keuntungan yang besar dalam pembalut luka karena dapat mempertahankan lingkungan yang lembap untuk penyembuhan luka, menyerap eksudat luka berlebih, dan mempercepat penyembuhan luka (Gounden dkk., 2024). Hidrogel yang terbuat dari polimer alami banyak digunakan di bidang biomedis seperti kitosan (Feng dkk., 2022), natrium alginate (Hao dkk., 2020), karaginan (Bal, 2024), xanthan gum (Nasrollahzadeh dkk., 2021), dan carboxymethyl cellulose (CMC) (Chi dkk., 2018). Diantara biopolimer tersebut, karaginan merupakan kandidat ideal untuk aplikasi dalam rekayasa jaringan, penyembuhan luka, dan pemberian obat (Yegappan dkk., 2018). Karaginan merupakan suatu polisakarida hidrofilik tersulfasi linier dan terdiri dari unit berulang disakarida galaktosa dan (3,6)-anhidrogallaktosa, yang dibentuk oleh ikatan α -(1,3)- dan β -(1,4)-glikosidik yang bergantian (Graham dkk., 2019). Hidrogel berbasis karaginan digunakan sebagai bahan penyembuhan luka karenabiokompatibilitasnya yang sangat baik dan kemampuannya untuk menciptakan lingkungan sel yang lembap dan terkendali, menyerap sekresi, dan mendorong pergerakan keluar masuknya oksigen dari area luka (Derakhshandeh dkk., 2018, Mir dkk., 2018).

Meskipun hidrogel berbahan dasar polisakarida memiliki sebagian besar sifat yang diinginkan sebagai pembalut luka, hidrogel tersebut juga memiliki keterbatasan, seperti sifat mekanik yang relatif rendah, stabilitas kimia rendah terhadap air, dan permeabilitas air yang rendah (Wang dkk., 2025). Strategi yang mungkin dilakukan untuk memperbaiki sifat hidrogel berbasis polisakarida dalam penyembuhan luka adalah dengan mengkombinasikan polisakarida tersebut dengan polimer sintetik yang sesuai. Sebagai contoh (Cascone dkk., 2001), menyiapkan campuran seperti PVA/pati dan PVA/kitosan untuk menyelidiki sifat mekanik dan biologisnya. Polivinil alkohol (PVA), merupakan polimer hidrofilik yang menunjukkan biokompatibilitas tinggi, fleksibilitas, kemampuan pembengkakan,

non-karsiogenik, dan sifat tidak beracun. Oleh karena itu, karaginan dikombinasikan dengan PVA untuk meningkatkan sifat mekanik plester pembalut luka (Adeli dkk., 2019, Venkataprasanna dkk., 2020).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa hidrogel karaginan memiliki aktivitas antibakteri yang rendah (Markale dkk., 2025), sehingga perlu dimodifikasi dengan penambahan bahan aktif seperti nanopartikel. Penggunaan nanopartikel sebagai bahan pengisi hidrogel karaginan telah berhasil dilakukan dengan nanopartikel ZnO dan CuO (Oun dkk., 2017). Berdasarkan keberhasilan tersebut, dilakukan penambahan nanopartikel lain yang berpotensi meningkatkan aktivitas antibakteri hidrogel karaginan seperti grafena oksida (GO) (Wu dkk., 2022). GO menunjukkan sifat antibakteri akibat stress oksidatif yang tinggi, pembungkus sel, dan ketegangan pada membran yang berasal dari strukturnya (Shamsi dkk., 2022). Penggunaan GO sebagai bahan pengisi juga dapat menjadi cara yang efektif untuk meningkatkan karakteristik mekanik dari pembalut luka berbasis polimer (Li dkk., 2020b). Gugus fungsi oksigen yang terdapat pada lembaran GO dapat menjalin interaksi yang kuat dengan gugus polar dari polimer sehingga menghasilkan komposit GO/polimer (Fu dkk., 2023).

GO memang memiliki aktivitas antibakteri, namun tidak ideal untuk digunakan secara langsung di luar ruangan. Aktivitas di luar ruangan yang memungkinkan produksi bakteri lebih banyak seiring dengan meningkatnya produksi keringat tubuh (Cundell, 2018). Agar hidrogel dapat digunakan dengan maksimal di luar ruangan, nanopartikel TiO_2 dengan doping sulfur perlu ditambahkan kedalam matriks hidrogel. Nanopartikel TiO_2 memiliki aktivitas fotokatalitik antibakteri yang menarik perhatian untuk aplikasi penyembuh luka. Nanopartikel TiO_2 merupakan salah satu semikonduktor oksida logam dengan celah pita sebesar 3,2 eV, sehingga efektivitas kinerja fotokatalitik antibakteri TiO_2 terbatas oleh celah pita yang lebih lebar (hanya dalam rentang UV). Sehingga diperlukan doping seperti sulfur untuk mengatasi pembatasan tersebut dan meningkatkan aktivitas fotokatalitik antibakterinya dalam sinar tampak serta menurunkan celah pita (Kunnamareddy dkk., 2023a).

Hidrogel berbasis karaginan juga memiliki keterbatasan dalam meningkatkan proliferasi sel (Rode dkk., 2018). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa ekstrak biji jeruk bali dalam hidrogel karaginan dapat meningkatkan proliferasi sel (Jaiswal dkk., 2019). Hal ini menunjukkan bahwa senyawa fitokimia yang terkandung dalam ekstrak tanaman memiliki kemampuan untuk meningkatkan proliferasi sel. Dalam penelitian ini digunakan ekstrak daun *Anredera Cordifolia* (Ten). Steenis (ACS) atau biasa dikenal dengan binahong yang mengandung zat-zat untuk proses regenerasi jaringan dan fase proliferaatif seperti saponin, alkaloid, steroid, tanan, triterpenoid, flavonoid, dan asam askorbat (Himmawan dkk., 2024).

Proses penyembuhan luka melibatkan mekanisme perbaikan kompleks yang meliputi hemostatis, inflamasi, proliferasi, dan remodelling (Yang dkk., 2021). Fase inflamasi dapat berlangsung lama jika terjadi infeksi mikroba yang berlangsung secara terus-menerus (Mohammadi dkk., 2019). Selain itu, faktor lain yang juga menghambat proses penyembuhan luka adalah menurunnya proliferasi, migrasi, dan pergeseran sel seperti fibroblas, yang sangat penting untuk membentuk jaringan baru (Bartold dkk., 2025). Akibatnya perlu dilakukan pengembangan pembalut luka ideal yang memiliki sifat mekanik yang memadai, retensi kelembapan, penyerapan eksudat, biokompatibilitas tinggi, hemostatis, aktivitas antibakteri yang sangat baik, berkurangnya peradangan, dan efektivitas biaya. Dengan demikian berdasarkan uraian diatas, mengembangkan pembalut luka hidrogel komposit karaginan/PVA/GO/TiO₂-S dengan ekstrak daun binahong dapat secara efektif mempercepat penyembuhan luka dengan mencegah infeksi bakteri pada fase inflamasi dan meningkatkan fase proliferasi secara signifikan. Dalam penelitian ini, pembalut luka hidrogel komposit karaginan/PVA/GO/TiO₂-S dengan ekstrak binahong yang digerakkan oleh sinar tampak disiapkan dan dievaluasi potensi antibakteri dan penyembuhan lukanya. Struktur kimia dan morfologi lengkap hidrogel komposit akan dikarakterisasi diikuti dengan uji derajat pembengkakan dan uji laju transmisi uap air.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka permasalahan yang perlu dirumuskan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara sintesis grafena oksida (GO) dan titanium doping sulfur ($\text{TiO}_2\text{-S}$), ekstraksi daun binahong, dan pembuatan hidrogel komposit berbasis karaginan/PVA?
2. Bagaimana hasil sintesis dan karakterisasi grafena oksida (GO), titanium doping sulfur ($\text{TiO}_2\text{-S}$), ekstrak daun binahong, dan hidrogel komposit berbasis karaginan/PVA?
3. Bagaimana pengaruh masing-masing material aktif seperti GO, $\text{TiO}_2\text{-S}$, dan ekstrak daun binahong terhadap karakteristik hidrogel komposit karaginan/PVA sebagai pembalut luka?

I.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang diajukan, tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mensintesis grafena oksida (GO), titanium doping sulfur ($\text{TiO}_2\text{-S}$), ekstraksi daun binahong, dan pembuatan hidrogel komposit berbasis karaginan/PVA.
2. Mengkarakterisasi grafena oksida (GO), titanium doping sulfur ($\text{TiO}_2\text{-S}$), ekstrak daun binahong, dan hidrogel komposit berbasis karaginan/PVA.
3. Mengetahui pengaruh masing-masing material GO, $\text{TiO}_2\text{-S}$ dan ekstrak daun binahong terhadap karakteristik hidrogel komposit karaginan/PVA sebagai pembalut luka ideal.
4. Menilai potensi aktivitas penyembuhan luka secara uji aktivitas antibakteri, uji sitotoksitas, dan uji proliferasi sel.

I.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dan memberikan informasi dalam bidang kesehatan, pendidikan, saintifik dan bidang lainnya yang memiliki kaitan dengan inovasi pengembangan hidrogel komposit karaginan/PVA/GO/ $\text{TiO}_2\text{-S}$ /ACS untuk uji aktivitas antibakteri, in vivo, in vitro dan kajian karakterisasi hidrogel komposit karaginan/PVA/GO/ $\text{TiO}_2\text{-S}$ /ACS.

I.5 Keaslian Penelitian

Pada subbab ini akan dibahas mengenai penelitian terdahulu yang sudah dilakukan. Daftar beberapa penelitian terdahulu terhadap hidrogel berbasis polisakarida sebagai penyembuh luka dapat dilihat pada Tabel I.1.

Tabel I.1 Beberapa penelitian hidrogel berbasis polisakarida dalam penyembuh luka

No	Penulis/Judul>Nama Jurnal/Tahun	Hasil
1.	Bajpai, S. K., and Pradeep Daheriya/Kappa-carrageenan/PVA films with antibacterial properties: Part 1. Optimization of preparation conditions and preliminary drug release studies/Journal of Macromolecular Science, Part A 51.4/2014	Hasil penelitian menunjukkan bahwa karaginan dan polivinil alkohol dapat dihubungkan silang oleh glutaraldehid membentuk film komposit. Film ini menunjukkan sifat penyerapan air yang baik dan menunjukkan aktivitas biosidal yang baik terhadap bakteri model <i>E.coli</i> ketika diisi dengan obat antibakteri GentswiftRR (Gentamicin sulfate). Ketika konsentrasi glutaraldehid meningkat maka kuat tarik film juga akan meningkat dari 1,97 menjadi 2,8 MPa.
2.	Oun, Ahmed A., and Jong-Whan Rhim/Carrageenan-based hidrogels and films: Effect of ZnO and CuO nanoparticles on the physical, mechanical, and antimicrobial properties/Food Hydrocolloids 67/2017	Kapasitas menahan air dan stabilitas termal film nanokomposit meningkat ketika nanopartikel ZnO dimasukkan masing-masing yaitu 3535% dan 252°C. Film hidrogel nanokomposit berbasis karaginan menunjukkan aktivitas antibakteri yang kuat terhadap <i>E.coli</i> dibandingkan <i>L.monocytogenes</i> .
3.	Jaiswal, Lily, Shiv Shankar, and Jong-Whan Rhim/Carrageenan-based functional hidrogel film reinforced with sulfur nanoparticles and grapefruit seed extract for wound healing application/Carbohydrate polymers/2019	Film hidrogel penyembuh luka berbasis karaginan (Carr) dibuat dengan memasukkan nanopartikel sulfur (SNP) bertutup kitosan dan ekstrak biji anggur (GSE). Film hidrogel (Carr/GSE/SNP) menunjukkan kekuatan mekanik, rasio pembengkakan dan sifat penghalang ultraviolet yang lebih tinggi dibandingkan film karaginan, namun permeabilitas uap air dan kelarutan dalam air menurun. Film hidrogel menunjukkan aktivitas antibakteri yang cukup kuat untuk menghancurkan epidermis <i>Staphylococcus</i> dan <i>Escherichia coli</i> dalam waktu 3 jam setelah inkubasi dan menunjukkan biokompatibilitas yang tinggi terhadap fibroblas tikus (garis sel L929). Film hidrogel juga menunjukkan efek penyembuhan luka yang sangat baik (1,3% area luka setelah 2 minggu) melalui uji penyembuhan luka in vivo.
4.	Venkataprasanna, K. S., et al/Development of chitosan/poly (vinyl alkohol)/graphene oxide loaded with vanadium doped titanium dioxide patch for visible light driven antibacterial activity and accelerated wound healing application/International Journal of Biological Macromolecules/2021	Kehadiran nanokomposit GO/TiO ₂ -V dalam patch CS/PVA telah meningkatkan kekuatan mekanik, permeabilitas pengukuran laju transmisi uap air dan O ₂ yang optimal, sifat pembengkakan dan degradasi yang sesuai, menyediakan lingkungan lembap yang ideal untuk penyembuhan luka. Peningkatan aktivitas antibakteri pada tempelan terlihat dengan adanya cahaya dari uji antibakteri. Studi in-vitro mendukung bahwa CS/PVA/GO/TiO ₂ -V bersifat biokompatibel, meningkatkan migrasi dan adhesi sel, dan hemokompatibel dengan perilaku pembekuan darah. Eksperimen in vivo pada tikus wistar mengungkapkan bahwa patch CS/PVA/GO/TiO ₂ -V menyembuhkan luka dengan cepat dengan infiltrasi inflamasi yang seimbang, ketebalan jaringan granulasi yang lebih besar, ledakan fibro dengan kepadatan lebih tinggi, dan deposisi kolagen dibandingkan control dan pembalut komersial.