

EFEKTIVITAS KARAKTERISTIK ANTIBAKTERI PADA HIDROGEL KITOSAN/GO SEBAGAI WOUND DRESSING

¹⁾Pir Nanda Ningsih, ²⁾Diah Hari Kusumawati

¹⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: pirnanda.21037@mhs.unesa.ac.id

²⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: diahkusumawati@unesa.ac.id

Abstrak

Kitosan merupakan polimer alami yang memiliki potensi besar untuk aplikasi pembalut luka karena biokompatibilitas tinggi, toksisitas rendah, dan kemampuannya dalam merangsang respons imun. Penambahan *graphene oxide* (GO) diharapkan dapat meningkatkan sifat antibakteri dan daya serap material. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik morfologi dan aktivitas antibakteri dari komposit kitosan/GO dalam bentuk hidrogel sebagai kandidat bahan pembalut luka. Kitosan disintesis dari limbah udang dan GO berasal dari arang tempurung kelapa menggunakan metode *Hummers* termodifikasi, kemudian dikompositkan melalui stirer dan ultrasonifikasi. Karakterisasi dilakukan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan uji antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. Hasil FTIR menunjukkan keberadaan gugus fungsional khas dari kitosan dan GO. Analisis morfologi dengan SEM menunjukkan permukaan hidrogel yang halus dan padat tanpa struktur pori, yang kurang ideal untuk penyerapan luka. Uji antibakteri menunjukkan bahwa penambahan GO tidak memberikan peningkatan signifikan terhadap aktivitas antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*, kecuali pada komposit dengan 0,5 gr GO yang menunjukkan zona hambat sebesar 12,4 mm terhadap *S. aureus*.

Kata Kunci: Kitosan, GO, Hidrogel, Wound dressing

Abstract

Chitosan is a natural polymer with great potential for wound dressing applications due to its high biocompatibility, low toxicity, and ability to stimulate immune responses. The incorporation of graphene oxide (GO) is expected to enhance the antibacterial properties and fluid absorption capacity of the material. This study aims to evaluate the morphological characteristics and antibacterial activity of chitosan/GO composites in hydrogel form as a potential wound dressing material. Chitosan was synthesized from shrimp shell waste, and graphene oxide (GO) was derived from coconut shell charcoal using a modified *Hummers'* method. The two components were then composited using magnetic stirring followed by ultrasonication. Characterization was carried out using *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), and antibacterial testing against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. FTIR results confirmed the presence of functional groups characteristic of chitosan and GO. SEM analysis revealed a smooth and dense surface morphology without porous structures, which is less favorable for optimal wound exudate absorption. Antibacterial tests showed that the addition of GO did not significantly enhance antibacterial activity against *S. aureus* and *E. coli*, except for the composite containing 0.5 g of GO, which exhibited an inhibition zone of 12.4 mm against *S. aureus*.

Keywords: Chitosan, GO, Hydrogel, Wound Dressing

I. PENDAHULUAN

Luka merupakan kondisi rusaknya jaringan kulit akibat berbagai faktor seperti panas, bahan kimia, trauma benda tajam maupun tumpul, serta gesekan (Purnama *et al.*, 2017; Sjamsuhidajat, 2010). Luka terbuka sangat rentan terhadap infeksi, terutama oleh bakteri seperti *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*, yang dapat memperlambat proses penyembuhan dan menimbulkan komplikasi serius. Oleh karena itu, dibutuhkan perawatan yang tidak hanya mempercepat regenerasi jaringan tetapi juga mampu mencegah infeksi secara efektif (Abbaszadeh *et al.*, 2019).

Lingkungan yang lembab telah terbukti secara mikroskopik dan klinis mampu mempercepat penyembuhan luka melalui stimulasi migrasi sel, proliferasi fibroblas dan keratinosit, aktivitas faktor pertumbuhan, serta sintesis kolagen. Secara klinis, luka dalam lingkungan lembab cenderung memiliki tampilan yang lebih estetik dan menimbulkan rasa nyeri yang lebih rendah (Ghomi *et al.*, 2019). Sejalan dengan konsep tersebut, perawatan luka modern kini mengandalkan teknologi pembalut luka (*wound dressing*) berbasis hidrogel yang mampu menjaga kelembaban dan menciptakan lingkungan penyembuhan yang optimal dengan risiko infeksi yang rendah (Liang *et al.*, 2020).

Kitosan adalah salah satu polimer alami yang banyak digunakan dalam pembuatan hidrogel karena sifatnya yang biokompatibel, tidak toksik, dan mampu merangsang respons imun (Chen *et al.*, 2018). Selain itu, beberapa studi menunjukkan aktivitas antibakteri kitosan terhadap bakteri patogen. Namun, efektivitasnya masih terbatas, terutama dalam hal kekuatan mekanik dan aktivitas antimikroba yang belum optimal. Untuk mengatasi kekurangan ini, ditambahkan *graphene oxide* (GO), material karbon berstruktur dua dimensi yang memiliki sifat antibakteri, kekuatan mekanik tinggi, dan kapasitas penyerapan cairan yang baik (Lin *et al.*, 2021).

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengevaluasi komposit kitosan/GO dalam aplikasi pembalut luka. Khalil *et al.* (2020) menunjukkan bahwa komposit ini mampu menghambat pertumbuhan bakteri, meskipun zona hambat yang dihasilkan masih tergolong rendah. Sementara itu, studi oleh Feng *et al.* (2022) menunjukkan bahwa penambahan GO dapat meningkatkan kerapatan ikatan silang hidrogel, dan memperkuat struktur. Hasil ini menunjukkan potensi besar kombinasi kitosan/GO sebagai bahan pembalut luka yang lebih efektif.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh variasi berat GO terhadap karakteristik morfologi, daya serap cairan, dan aktivitas antibakteri dari komposit hidrogel kitosan/GO. Variasi berat GO yang digunakan meliputi 0,2 g; 0,3 g; 0,4 g; 0,5 g; dan 0,6 g, dengan berat kitosan yang dikontrol. Penelitian ini diharapkan dapat mengidentifikasi formulasi paling optimal yang dapat digunakan sebagai pembalut luka dengan efektivitas tinggi.

II. METODE

A. Rancangan Penelitian

1. Alat dan Bahan

Peralatan yang diperlukan dalam penelitian ini seperti, gelas beaker, neraca digital, cawan petri, vakum, ayakan 100 mesh, *magnetic stirrer*. Bahan yang digunakan aquades, arang tempurung kelapa, cangkang udang (meliputi kepala, kulit dan ekor udang), asam *asetate glasial*, HCl (Hidrogen Klorida), NaOH (Natrium Hidroksida), NaNO₃ (Natrium Nitrat), H₂SO₄ (Asam Sulfat), KMnO₄ (Kalium Permanganat), H₂O₂ (Hidrogen Peroksida), kertas pH.

2. Sintesis Kitosan

Sintesis kitosan ini menggunakan limbah udang berupa kepala, ekor, dan kulit yang telah dikeringkan serta dihaluskan hingga berukuran serbuk yang mengacu pada penelitian (Mahin *et al.*, 2025). Proses pembuatan kitosan terbagi menjadi tiga tahapan utama, yaitu demineralisasi, deproteinisasi, dan deasetilasi. Tahap demineralisasi, serbuk udang ditambahkan dengan 100 mL larutan HCl 1,25 N. Campuran diaduk menggunakan stirrer pada suhu 70°C. Setelah proses ini, larutan diendapkan, disaring, dan dicuci

menggunakan aquades hingga mencapai pH netral. Endapan yang telah mencapai pH netral kemudian dikeringkan dalam oven. Hasil dari proses demineralisasi akan dilanjutkan pada tahap deproteinasi, endapan kering hasil proses demineralisasi ditambahkan larutan NaOH 5% dan diaduk menggunakan stirrer pada suhu 75°C. Larutan yang telah diaduk akan diendapkan, disaring, dan dicuci menggunakan aquades hingga mencapai pH netral. Endapan yang telah mencapai pH netral kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C. Hasil dari tahap ini adalah kitin dalam keadaan kering. Tahap deasetilasi, kitin yang telah diperoleh ditambahkan larutan NaOH 40%, lalu campuran diaduk menggunakan stirrer pada suhu 100°C. Setelah proses ini selesai, larutan diendapkan, disaring, dan dicuci menggunakan aquades hingga mencapai pH netral. Endapan yang telah mencapai pH netral kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C. Endapan yang telah dioven akan dihaluskan dan menjadi serbuk kitosan.

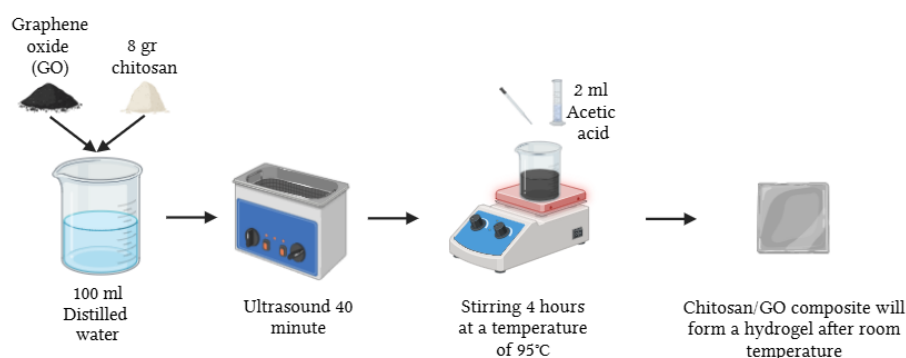
3. Sintesis GO (Graphene Oxide)

GO disintesis menggunakan metode *Hummer's* termodifikasi dengan bahan alam berupa arang tempurung kelapa yang mengacu pada penelitian (Putri & Supardi., 2023). Langkah awal yang dilakukan untuk membuat GO adalah membuat karbon aktif terlebih dahulu dari arang tempurung kelapa yang dihaluskan menggunakan mesin *ball mill*. Dihasilkan serbuk halus, kemudian direndam dengan NaOH 0,5 M selama 24 jam. Setelah perendaman 24 jam, dikalsinasi selama 5 jam dengan suhu 500°C. Hasil dari kalsinasi dilakukan pencucian menggunakan HCL 1 M dan aquades sampai pH netral, lalu sampel di oven dengan suhu 110°C selama 1 jam. Sampel yang telah dioven kemudian dihaluskan sehingga menjadi serbuk karbon aktif.

Sebanyak 1 gram serbuk karbon aktif dicampurkan dengan 0,5 gram NaNO₃ dan 25 mL asam sulfat (H₂SO₄), lalu diaduk menggunakan stirrer dalam kondisi *ice bath* selama 30 menit. Selanjutnya, 3 gram kalium permanganat (KMnO₄) ditambahkan secara bertahap sambil terus diaduk selama 3 jam dalam suhu dingin. Campuran tersebut akan berubah warna menjadi hijau tua. Setelah itu, proses pengadukan dilanjutkan tanpa *ice bath* pada suhu 35°C selama 1 jam. Secara perlahan, 50 mL air suling (aquades) ditambahkan dan diaduk kembali selama 1 jam hingga larutan berubah menjadi kuning kecoklatan. Penambahan aquades kemudian dilanjutkan sebanyak 100 mL dan diaduk selama 1 jam, yang menyebabkan warna larutan menjadi coklat. Untuk menghilangkan sisa KMnO₄, 5 mL larutan H₂O₂ ditambahkan secara perlahan sambil tetap diaduk selama 30 menit. Larutan hasil reaksi kemudian disentrifugasi untuk memisahkan endapan, lalu dicuci menggunakan aquades hingga pH-nya netral. Akhirnya, sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 20 jam hingga diperoleh serbuk *graphene oxide* (GO).

4. Komposit Hidrogel Kitosan/GO

Pembuatan hidrogel kitosan/GO mengacu pada penelitian (Feng & Wang., 2022). Proses pembuatan komposit tampak seperti pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Proses komposit hidrogel kitosan/GO

Serbuk kitosan sebanyak 8 gram dan serbuk GO dicampurkan dalam gelas beaker 250 mL, lalu dituangkan 100 mL aquades ke dalam campuran dan ultrasonik selama 40 menit, larutan homogen berwarna abu-abu terbentuk. Kemudian sebanyak 2 ml asam asetat ditambahkan setetes demi setetes ke dalam larutan

campuran sambil distirrer selama 4 jam dengan suhu 95°C. Dan komposit kitosan/GO akan membentuk hidrogel setelah suhu ruang.

5. Karakterisasi Hidrogel

Hidrogel Kitosan/GO dikarakterisasi dengan uji FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk, uji SEM untuk mengetahui morfologi pada permukaan hidrogel, dan uji antibakteri mengevaluasi sejauh mana efektivitas hidrogel kitosan/GO dalam menghambat pertumbuhan bakteri.

B. Variabel Operasional Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam melakukan analisis data ada 3 diantaranya terdapat variabel manipulasi berupa massa GO 0,2 gr; 0,3 gr; 0,4 gr; 0,5 gr; 0,6 gr. Variabel terikat berupa banyaknya kitosan 8 gr, dan jenis bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. Serta variabel respon yang digunakan yaitu hasil uji aktivitas antibakteri.

C. Teknik Pengumpulan Data

1) Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Uji SEM digunakan untuk melihat struktur dan pori yang terdapat pada permukaan hidrogel. Dalam prosedur pengujian menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), salah satu sampel ditempatkan pada dudukan berbahan logam tembaga berbentuk bulat. Sebelum dianalisis, sampel terlebih dahulu dilapisi dengan lapisan tipis emas (*gold coating*) untuk meningkatkan konduktivitas permukaannya, sehingga memungkinkan pengambilan citra SEM yang lebih jelas dan akurat.

2) Uji Aktivitas Antibakteri Menggunakan Metode Difusi Cakram

Suspensi bakteri *S.aureus* dan *E.coli* (OD_{600 nm} 0,1) dimasukkan 100 µl dan diusapkan pada permukaan media *Muller Hinton Agar* (MHA) pada cawan petri menggunakan *cotton swab steril*. *Blank disk* dengan konsentrasi tertentu diletakkan di atas permukaan MHA. Inkubasi dilakukan selama 24 jam pada suhu 37°C. Zona bening yang terbentuk di sekitar cakram dinyatakan sebagai daya hambat senyawa terhadap pertumbuhan bakteri.

D. Teknik Pengolahan Data

1) Morfologi Permukaan

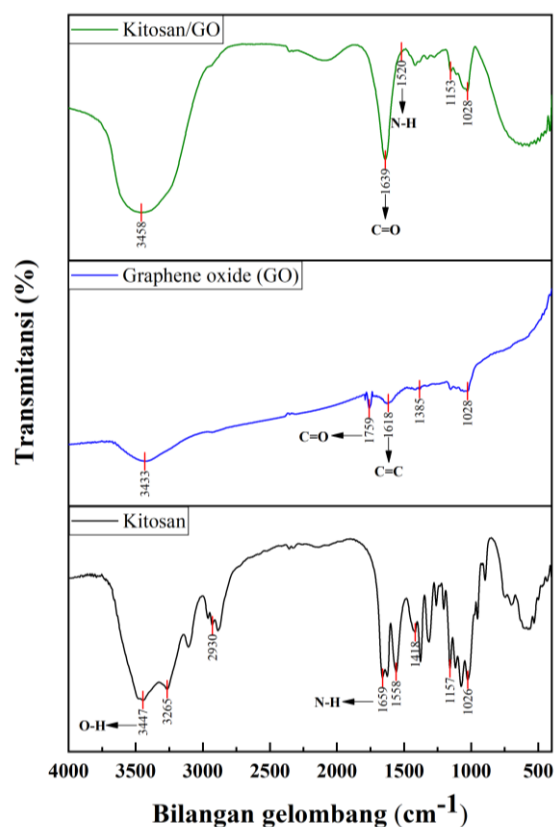
Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan untuk menganalisis karakteristik permukaan membran pembalut luka hidrogel kitosan/GO. Hasil pengujian berupa citra mikroskopis yang menampilkan morfologi permukaan dan struktur pori dari membran. Citra tersebut kemudian diproses dan dianalisis lebih lanjut menggunakan perangkat lunak *ImageJ*.

2) Daya Hambat Bakteri

Daya hambat bakteri ditentukan melalui pengamatan terhadap pertumbuhan bakteri di sekitar *disk* dan pengukuran diameter zona bening (zona hambat) menggunakan jangka sorong. Berdasarkan hasil pengukuran pada media, efektivitas antibakteri diklasifikasikan sebagai berikut: zona hambat dengan diameter lebih dari 20 mm termasuk kategori sangat kuat, antara 11–20 mm dikategorikan kuat, 6–10 mm tergolong sedang, dan kurang dari 5 mm dikategorikan sebagai antibakteri lemah. (Jamilatun *et al.*, 2020).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada sampel serbuk kitosan, serbuk *graphene oxide* (GO), dan hidrogel kitosan/GO dalam rentang bilangan gelombang 4000–400 cm⁻¹. Gugus fungsi pada masing-masing sampel dapat dikenali dengan membandingkan spektrum FTIR ketiga bahan tersebut, sehingga karakteristik fungsional yang unik dari setiap material dapat diidentifikasi, seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 1**.



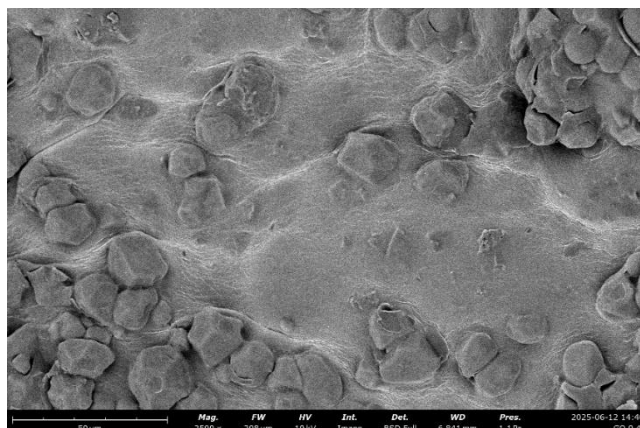
Gambar 2. Spektrum FTIR kitosan, GO, kitosan/GO

Tabel 1. Perbandingan hasil eksperimen dengan referensi

Material	Eksperimen (cm ⁻¹)	Jenis Ikatan	Referensi (cm ⁻¹)
Kitosan	1026	C-O stretching	1051 (Mahin <i>et al.</i> , 2025)
	1157	C-O stretching	1151 (Mahin <i>et al.</i> , 2025)
	1418	C-H ₃	1419 (Mahatmanti <i>et al.</i> , 2022)
	1558	N-H bending	1581 (Mahatmanti <i>et al.</i> , 2022)
	1659	C=O bending	1651 (Lucas <i>et al.</i> , 2021)
	2930	C-H ₂	2914 (Mahatmanti <i>et al.</i> , 2022)
	3265	N-H bending	3294 (Mahin <i>et al.</i> , 2025)
	3447	O-H stretching	3410 (Wang <i>et al.</i> , 2024)
GO (Graphene oxide)	1028	C-O stretching	1054 (Sujiono <i>et al.</i> , 2020)
	1385	C-OH stretching	1371 (Sujiono <i>et al.</i> , 2020)
	1618	C=C stretching	1620 (Giraldo <i>et al.</i> , 2025)
	1759	C=O stretching	1740 (Giraldo <i>et al.</i> , 2025)
	3433	O-H stretching	3449 (Sujiono <i>et al.</i> , 2020)
Kitosan/GO	1028	C-O stretching	1050 (Giraldo <i>et al.</i> , 2025)
	1146	C-O stretching	1150 (Feng & Wang., 2022)
	1520	N-H bending	1568 (Zuo <i>et al.</i> , 2013)
	1639	C=O stretching	1640 (Feng & Wang., 2022)
	3458	O-H stretching	3450 (Feng & Wang., 2022)

Terjadi tekukan ikatan N-H pada bilangan gelombang 1558 cm⁻¹ yang merupakan karakteristik dari puncak serapan kitosan dan terlihat pada puncak kitosan/GO. Selain itu, terjadi peregangan ikatan C=O yang merupakan karakteristik dari puncak GO dan terlihat pada puncak kitosan/GO. Dengan demikian, hidrogel kitosan/GO telah berhasil dibuat.

Berdasarkan hasil analisis visual terhadap citra SEM hidrogel Kitosan/ GO pada **Gambar 3** terlihat bahwa morfologi permukaan cenderung halus dan padat, serta tidak menunjukkan struktur berpori yang jelas seperti pada penelitian yang dilakukan oleh (Feng & Wang., 2022).



Gambar 3. Morfologi permukaan hidrogel kitosan/GO

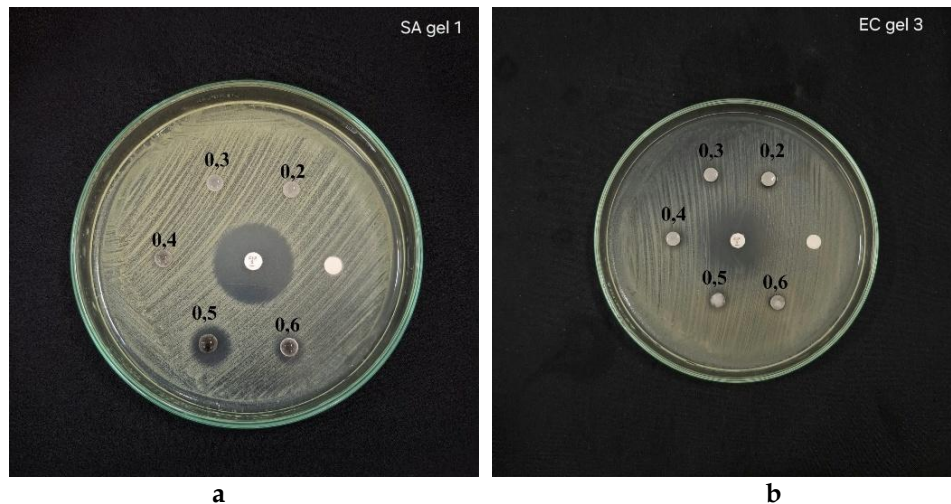
Permukaan yang demikian umumnya mengindikasikan bahwa GO tidak terdispersi secara homogen dalam matriks kitosan, melainkan mengalami agregasi atau penggumpalan di beberapa area. Agregasi ini dapat terjadi akibat interaksi kuat antara gugus fungsional kitosan (seperti $-NH_2$ dan $-OH$) dengan gugus oksigen fungsional pada GO (seperti $-COOH$ dan $-OH$), sehingga menyebabkan penumpukan partikel dan menutupi atau mengisi pori-pori dalam matriks (Wronska *et al.*, 2020). Selain itu, sebagian area menunjukkan tekstur berlapis (*lamellar*), yang merupakan ciri khas dari GO, namun tidak terdistribusi merata dalam keseluruhan struktur. Struktur permukaan yang tidak berpori dan teragregasi seperti ini dapat mengurangi sifat-sifat penting dari komposit, seperti kemampuan penyerapan cairan atau efektivitas antibakteri, karena terbatasnya interaksi permukaan dengan lingkungan sekitar. Temuan ini sejalan dengan penelitian oleh Sharma *et al.* (2018) yang melaporkan bahwa peningkatan kandungan GO dalam kitosan cenderung menyebabkan agregasi partikel dan menurunkan keteraturan serta porositas struktur permukaan komposit.

Kondisi agregasi pada partikel GO dalam matriks kitosan diperlukan modifikasi untuk meningkatkan struktur hidrogel lebih berpori, sehingga dapat meningkatkan kapasitas serap dan pelepasan zat aktif. Menurut penelitian yang dilakukan Sayed *et al.*, (2022), modifikasi dapat dilakukan dengan cara sonikasi GO sebelum pencampuran yang berfungsi memutus tumpukan antar lembaran sehingga meningkatkan homogenitas dispersi dan mencegah terbentuknya agregat yang berpotensi menutupi pori matriks.

Berdasarkan hasil uji antibakteri terhadap hidrogel kitosan/ GO menunjukkan bahwa tidak terbentuk zona hambat pada sebagian besar variasi, baik terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* (gram positif) maupun *Escherichia coli* (gram negatif), dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **Tabel 2**. Zona hambat hanya teramati pada satu sampel, yaitu variasi kitosan/GO 0,5 dengan diameter sebesar 12,4 mm terhadap *S. aureus*. Tidak munculnya zona hambat pada sebagian besar sampel menandakan bahwa komposit kitosan/GO dalam bentuk hidrogel belum mampu menunjukkan aktivitas antibakteri yang efektif pada metode difusi cakram.

Tabel 2. Hasil uji antibakteri diameter zona hambat

Variasi Komposit	Zona hambat (mm)	
	<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>
Kitosan/GO 0,2	0	0
Kitosan/GO 0,3	0	0
Kitosan/GO 0,4	0	0
Kitosan/GO 0,5	12,4	0
Kitosan/GO 0,6	0	0



Gambar 4. (a) Hasil uji antibakteri pada bakteri *S. aureus*, (b) Hasil uji antibakteri pada bakteri *E. coli*

Salah satu penyebab utama tidak munculnya zona hambat adalah sifat fisik dari hidrogel itu sendiri. Hidrogel memiliki struktur yang cenderung padat dan tidak mudah melepaskan komponen aktif ke medium, sehingga pelepasan atau difusi zat antibakteri ke agar menjadi terbatas. Akibatnya, senyawa aktif seperti gugus amino dari kitosan dan lembaran GO yang bersifat tajam serta reaktif terhadap bakteri tidak mampu berdifusi keluar secara optimal untuk menghasilkan zona hambat. Ningsih *et al.* (2022) menyebutkan bahwa bentuk hidrogel dapat menghambat penyerapan zat aktif oleh cakram kertas selama perendaman, yang berdampak langsung pada efektivitas penghambatan bakteri.

Selain itu, GO memiliki kecenderungan membentuk aglomerat dalam medium biologis. Aglomerasi ini akan mengurangi luas permukaan aktif yang diperlukan untuk kontak langsung dengan dinding sel bakteri, yang akan berdampak pada penurunan aktivitas antibakteri melalui mekanisme fisik seperti penetrasi membran atau induksi stres oksidatif. Seperti dijelaskan oleh Ashry *et al.* (2022), “the interaction between GO and chitosan may suppress the antibacterial functionality of both components due to reduced surface availability and lack of diffusion in agar-based assays.”

Kemunculan zona hambat hanya pada variasi kitosan/GO 0,5 terhadap *S. aureus* berkaitan dengan faktor formulasi yang secara tidak langsung meningkatkan efektivitas kontak permukaan dengan bakteri, misalnya distribusi GO yang lebih merata atau keseimbangan interaksi kitosan/GO yang memudahkan pelepasan zat aktif lebih optimal. Secara teori, pada bakteri gram positif, kitosan yang bermuatan positif mampu berinteraksi elektrostatis dengan dinding sel bakteri yang bermuatan negatif akibat adanya asam teikoat. Interaksi ini mengganggu stabilitas lapisan peptidoglikan serta meningkatkan permeabilitas membran sel bakteri, sehingga sel menjadi lebih rentan terhadap kerusakan (Ashry *et al.* 2022). Hal ini mempermudah GO melalui tepi tajamnya merusak membran sel, yang menyebabkan kebocoran komponen intraseluler dan kematian sel bakteri (Pulingam *et al.*, 2019).

Pada bakteri *E. coli*, tidak terlihat adanya zona penghambatan yang berarti. Ini menunjukkan bahwa komposit kitosan/GO belum berhasil dalam menghambat perkembangan bakteri gram negatif. Ketidakmampuan untuk menghambat *E. coli* secara khusus mungkin juga disebabkan oleh efisiensi kitosan yang lebih rendah terhadap bakteri gram negatif. Dinding sel bakteri gram negatif seperti *E. coli* memiliki struktur yang lebih rumit dan mengandung lapisan lipopolisakarida (LPS) yang dapat menghalangi masuknya senyawa antibakteri (Maher *et al.*, 2023).

Di samping itu, kitosan dalam penelitian ini berbahan dasar limbah udang, yang dalam beberapa penelitian menunjukkan efektivitas antibakteri yang lebih terbatas. Wardani *et al.* (2018) melaporkan bahwa kitosan dari limbah udang lebih efektif terhadap *Mycobacterium tuberculosis* dibandingkan *E. coli*. Hal ini juga diperkuat dengan penelitian Kusumawati *et al.* (2017) yang menunjukkan bahwa kitosan dari sumber tersebut memiliki daya hambat lemah terhadap *S. aureus* dan *E. coli*. Selain faktor bahan dasar kitosan, aktivitas antibakteri juga dipengaruhi oleh metode pengujian yang digunakan. Sarelo *et al.*, (2025) menyampaikan

pengujian aktivitas antibakteri dengan metode perhitungan jumlah koloni memiliki hasil yang lebih efektif dibandingkan metode difusi cakram, sehingga perbedaan metode uji antibakteri juga bisa mempengaruhi aktivitas antibakteri yang dihasilkan.

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Kitosan/GO dapat dikompositkan dalam bentuk hidrogel. Hal ini dapat dibuktikan hasil karakterisasi FTIR menemukan adanya gugus kitosan dan GO pada hidrogel kitosan/GO. Berdasarkan hasil analisis morfologi menggunakan SEM, permukaan hidrogel kitosan/GO cenderung halus dan padat tanpa menunjukkan struktur berpori, yang secara umum kurang ideal untuk mendukung sirkulasi udara atau penyerapan luka secara optimal. Penambahan GO dalam hidrogel kitosan/GO tidak dapat meningkatkan aktivitas antibakteri, hasil uji menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh signifikan terhadap kemampuan antibakteri, baik terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* maupun *Escherichia coli*. Kecuali pada komposit kitosan/GO 0,5 menunjukkan zona hambat sebesar 12,4 mm terhadap bakteri *Staphylococcus aureus*.

B. Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan metode uji aktivitas antibakteri selain metode difusi cakram, guna memperoleh hasil yang lebih optimal dalam menilai efektivitas antibakteri. Selain itu, penambahan agen antibakteri tambahan, baik alami seperti minyak atsiri atau ekstrak tanaman, maupun sintetik seperti nanopartikel perak (AgNP) atau ZnO, juga dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan aktivitas antibakteri.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbaszadeh, A., Tehmasebi-Foolad, A., Rajabzadeh, A., Beigi-Brojeni, N., & Zarei, L. 2019. Effects of Chitosan/Nano Selenium Biofilm on Infected Wound Healing in Rats; An Experimental Study. *Bulletin of Emergency and Trauma*, 7(3), 284–291. <https://doi.org/10.29252/beat-0703012>
- Ashry, N. M., El Bahgy, H. E. K., Mohamed, A., Alsubhi, N. H., Alrefaei, G. I., Binothman, N., Alharbi, M., Almuhayawi, M. S., Alharbi, M. T., Nagshabandi, M. K., & Saad, A. M. 2022. Evaluation of graphene oxide, chitosan and their complex as antibacterial agents and anticancer apoptotic effect on HeLa cell line. *Front. Microbiol.* 13.922324. doi: 10.3389/fmicb.2022.92232
- Chen, E., Yang, L., Ye, C., Zhang, W., Ran, J., Xue, D., & Hu, Q. 2018. An asymmetric chitosan scaffold for tendon tissue engineering. In vitro and in vivo evaluation with rat tendon stem/progenitor cells. *Acta Biomaterialia*, 73, 377–387.
- Feng, W., & Wang, Z. 2022. Shear-thinning and self-healing chitosan-graphene oxide hydrogel for hemostasis and wound healing. *Carbohydrate Polymers*, 294. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119824>
- Ghomi, E. R., Khalili, S., Khorasani, S. N., Neisiany, R. E., & Ramakrishna, S. 2019. Wound dressings: Current advances and future directions. In *Journal of Applied Polymer Science* (Vol. 136, Issue 27). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/app.47738>
- Giraldo, L., Fajardo, C. A. G., & Piraján, J. C. M. 2025. Innovative chitosan/graphene oxide composites: A thermodynamic and calorimetric approach to pharmaceutical waste removal from water. *Results in Engineering*, 25. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103697>
- Jamilatun, M., Aminah, A., & Shufiyani, S. 2020. Uji Daya Hambat Antibakteri Kapang Endofit Dari Tanaman Alang-Alang (*Imperata Cylindrica* (L) Beauv.) Terhadap Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus Aureus* Dan *Escherichia Coli*. *Jurnal Medikes (Media Informasi Kesehatan)*, 7(2): 335–346.
- Khalil, W. F., El-Sayyad, G. S., el Roubi, W. M. A., Sadek, M. A., Farghali, A. A., & El-Batal, A. I. 2020. Graphene oxide-based nanocomposites (GO-chitosan and GO-EDTA) for outstanding antimicrobial potential against some Candida species and pathogenic bacteria. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 1370–1383. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.205>

- Kusumawati, E., Supomo., dan Libiyah. 2017. Uji Daya Antibakteri pada Sediaan Hand Sanitizer Kitosan Terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia Coli*. *Jurnal Sains dan Terapan Politeknik Hasnur*; 5(1): 1-8.
- Liang, Y., Chen, B., Li, M., He, J., Yin, Z., & Guo, B. 2020, Injectable antimicrobial conductive hydrogels for wound disinfection and infectious wound healing. *Biomacromolecules*, 21(5), 1841-1852.
- Lin, X., Shen, Y., & Wang, L. 2021. Multi-scale photoacoustic assessment of wound healing using chitosan graphene oxide hemostatic sponge. *Nanomaterials*, 11(11), 2879.
- Lucas, A.J., da-Silva, E.Q., Oreste, H., Leão, G., Costa, A., H'ector, M., L'opez, C.C.D., Medeiros, S.A., & Prentice, C., 2021. Extraction, Physicochemical Characterization, and Morphological Properties of Chitin and Chitosan from Cuticles of Edible Insects. *Food Chemistry*, 343, pp.128550.
- Mahatmanti, F. W., Kusumastuti, E., Jumaeri, J., Sulistyani, M., Susiyanti, A., Haryati, U., & Dirgantari, P. S. 2022. Pembuatan Kitin dan Kitosan dari Limbah Cangkang Udang sebagai Upaya Memanfaatkan Limbah menjadi Material Maju. *Inovasi Kimia*, 1, 1-38. <https://doi.org/10.15294/ik.v1i1.60>
- Maher, C., & Hassan, K. A. 2023. The Gram-negative permeability barrier: tipping the balance of the in and the out. In *mBio* (Vol. 14, Issue 6). American Society for Microbiology. <https://doi.org/10.1128/mbio.01205-23>
- Mahin, M. I., Rashid, M. H. A., & Mredul, A. R. 2025. Effects of shrimp chitosan based edible coating on the shelf life of selected vegetables in context of attaining SDGs. *Applied Food Research*, 5(1). <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100682>
- Ningsih, S. N. R., Tania, E., Azizah, N. N., Lutfiah, S. L., & Gunarti, N. S. 2022. Aktivitas Antibakteri Kitosan dari Berbagai Jenis Bahan Baku Kewani: Review Journal. *Jurnal Buana Farma*, 2(4), 25-30. <https://doi.org/10.36805/jbf.v2i4.576>
- Pulingam, T., Thong, K. L., Ali, M. E., Appaturi, J. N., Dinshaw, I. J., Ong, Z. Y., & Leo, B. F. 2019. Graphene oxide exhibits differential mechanistic action towards Gram-positive and Gram-negative bacteria. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 181, 6-15. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.05.023>
- Purnama, H., Sriwidodo, & Ratnawulan, S. 2017. Review Sistematis: Proses Penyembuhan dan Perawatan Luka. *Farmaka*, 15, 251-258.
- Putri, N. A., & Supardi, Z. A. I. 2023. Sintesis dan Karakterisasi Graphene Oxide (GO) dari Bahan Alam Tempurung Kelapa. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, 12, 47-55.
- Sareło, P., Wiśniewska-Wrona, M., Sikora, M., Mielan, B., Gerasymchuk, Y., Wędyńska, A., Boiko, V., Hreniak, D., Szymonowicz, M., Sobieszkańska, B., & Wawrzyńska, M. 2025. Development and Evaluation of Graphene Oxide-Enhanced Chitosan Sponges as a Potential Antimicrobial Wound Dressing for Infected Wound Management. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(15). <https://doi.org/10.3390/ijms26157403>
- Sayed, A., Mazrouaa, A. M., Mohamed, M. G., & Abdel-Raouf, M. E. S. 2023. Green synthesis of chitosan/erythritol/graphene oxide composites for simultaneous removal of some toxic species from simulated solution. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(10), 25903-25919. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23951-4>
- Sharma, B., Malik, P., & Jain, P. 2018. Biopolymer reinforced nanocomposites: A comprehensive review. *Materials Today Communications*, 16, 353-363.
- Sjamsuhidajat. 2010. *Buku Ajar Ilmu Bedah; Sistem organ dan Tindak Bedahnya* (1).
- Sujiono, E. H., Zurnansyah, Zabrian, D., Dahlan, M. Y., Amin, B. D., Samnur, & Agus, J. 2020. Graphene oxide based coconut shell waste: synthesis by modified Hummers method and characterization. *Heliyon*, 6(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04568>
- Wang, S., Li, X., Zhang, Y., Abou-Eloud, M., Ahn, D. U., Shu, D., Liu, M., & Huang, X. 2024. Eggshell membrane hydrolysate incorporated GO/CS as an novel dressing for promoting wound healing in vivo. *Food Bioscience*, 61. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104699>
- Wardani, G., Mahmiah & Sudjarwo, S.A. 2018. Antibacterial Activity of Chitosan Nanoparticles against *Mycobacterium tuberculosis*. 10(1);162-166
- Wrońska, N., Anouar, A., Achaby, M. el, Zawadzka, K., Kędzierska, M., Milowska, K., Katir, N., Draoui, K., Różalska, S., Piwonski, I., Bryszewska, M., Kadib, A. el, & Lisowska, K. 2020. Chitosan-functionalized

graphene nanocomposite films: Interfacial interplay and biological activity. *Materials*, 13(4).
<https://doi.org/10.3390/ma13040998>

Zuo, P.-P., Feng, H.-F., Xu, Z.-Z., Zhang, L.-F., Zhang, Y.-L., Xia, W., & Zhang, W.-Q. 2013. *Fabrication of biocompatible and mechanically reinforced graphene oxide-chitosan nanocomposite films*.
<http://journal.chemistrycentral.com/content/7/1/39>