

KARAKTERISTIK NANOKOMPOSIT GO/AgNPs BERBASIS BAHAN ALAM SEBAGAI MATERIAL ANTIBAKTERI

¹⁾Shilvy Ninda Anggraini, ²⁾Diah Hari Kusumawati

¹⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: shilvyninda.21050@mhs.unesa.ac.id

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

Abstrak

Infeksi kulit akibat bakteri seperti *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* merupakan masalah kesehatan umum di Indonesia, terutama pada individu dengan kondisi medis seperti diabetes. Diperlukan agen antibakteri yang efektif, aman, dan ramah lingkungan. Nanopartikel perak (AgNPs) memiliki kemampuan antibakteri tinggi, namun sering mengalami agregasi yang menurunkan stabilitas dan efektivitasnya. Kombinasi AgNPs dengan graphene oxide (GO) dapat meningkatkan stabilitas dan efektivitas tersebut. Penelitian ini mengembangkan nanokomposit GO/AgNPs berbasis bahan alam, dengan GO disintesis menggunakan metode Hummers termodifikasi dan AgNPs melalui green synthesis. Variasi rasio GO/AgNPs (1:0,4; 1:0,5; 1:0,6; 1:0,7; 1:0,8) menunjukkan potensi peningkatan antibakteri. Aktivitas diuji dengan metode difusi cakram terhadap *S. aureus* dan *E. coli*, dengan zona hambat sebagai indikator. Hasil menunjukkan komposit GO/AgNPs mampu menghambat kedua bakteri, dengan efektivitas tertinggi pada rasio 1:0,5, yaitu 94,48% untuk *S. aureus* dan 94,82% untuk *E. coli*. Mekanisme antibakteri meliputi pelepasan ion Ag^+ yang merusak protein dan DNA bakteri, pembentukan ROS yang memicu stres oksidatif, serta interaksi lembaran GO yang mengganggu membran sel. Dibandingkan laporan sebelumnya dengan sintesis konvensional, nanokomposit berbasis bahan alam ini lebih stabil dan efektif akibat distribusi AgNPs yang lebih merata dan pelepasan ion yang lebih terkontrol. Kombinasi GO-AgNPs ini berpotensi besar untuk aplikasi medis, terutama penanganan infeksi kulit secara aman dan berkelanjutan.

Kata Kunci: Nanokomposit, Graphene Oxide, Nanopartikel Perak, Green Synthesis, Antibakteri

Abstract

Skin infections caused by bacteria such as *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* are common health issues in Indonesia, particularly among individuals with medical conditions like diabetes. Effective, safe, and environmentally friendly antibacterial agents are needed. Silver nanoparticles (AgNPs) possess strong antibacterial activity but tend to aggregate, reducing their stability and effectiveness. Combining AgNPs with graphene oxide (GO) can improve both stability and performance. This study developed a natural-based GO/AgNPs nanocomposite, with GO synthesized using a modified Hummers method and AgNPs produced through green synthesis. Variations in the GO/AgNPs ratios (1:0.4; 1:0.5; 1:0.6; 1:0.7; 1:0.8) showed potential for enhanced antibacterial activity. Antibacterial performance was tested using the disk diffusion method against *S. aureus* and *E. coli*, with inhibition zones as indicators. Results showed that the GO/AgNPs composite could inhibit both bacteria, with the highest effectiveness at a 1:0.5 ratio – 94.48% for *S. aureus* and 94.82% for *E. coli*. The antibacterial mechanism includes the release of Ag^+ ions that damage bacterial proteins and DNA, ROS formation that induces oxidative stress, and GO sheet interactions that disrupt cell membranes. Compared to previous studies using conventional synthesis, this natural-based nanocomposite demonstrated higher stability and effectiveness due to more uniform AgNP distribution and more controlled ion release. The GO-AgNPs combination holds strong potential for medical applications, particularly for safe and sustainable skin infection treatment.

Keywords: Nanocomposite, Graphene Oxide, Silver Nanoparticles, Green Synthesis, Antibacterial.

I. PENDAHULUAN

Infeksi kulit yang disebabkan oleh bakteri merupakan salah satu masalah kesehatan utama di Indonesia, dengan prevalensi sekitar 8,6% dari populasi, di mana *Staphylococcus aureus* menjadi patogen dominan yang memicu sebagian besar kasus tersebut (Alfadli & Khairunisa, 2024). Infeksi ini mencakup berbagai kondisi, mulai dari impetigo, folikulitis, selulitis, hingga infeksi luka kronis yang umumnya berkembang akibat adanya luka terbuka, iritasi kulit, ataupun prosedur medis tertentu. Situasi ini menjadi lebih kompleks pada individu dengan penyakit penyerta seperti diabetes, karena daya tahan tubuh yang lebih rendah membuat mereka jauh lebih rentan terhadap infeksi yang dapat berkembang menjadi ulkus diabetikum, infeksi mendalam, hingga berujung pada amputasi apabila tidak memperoleh penanganan yang cepat dan tepat (Bhelqis et al., 2024). Dengan mempertimbangkan risiko dan kompleksitas tersebut, pengembangan material antibakteri yang lebih efektif, aman digunakan, serta ramah lingkungan menjadi kebutuhan penting untuk mendukung penanganan infeksi kulit secara lebih optimal dan berkelanjutan.

Nanopartikel perak (AgNPs) dikenal sebagai salah satu agen antibakteri yang sangat efektif, bekerja melalui pelepasan ion Ag^+ yang dapat merusak struktur dan fungsi membran sel bakteri serta menghambat replikasi DNA, sehingga menyebabkan kematian sel (Lange et al., 2022). Namun, AgNPs memiliki kecenderungan untuk mengalami agregasi yang dapat mengurangi luas permukaan aktif dan menurunkan efektivitas antibakterinya. Selain itu, penggunaan AgNPs dalam konsentrasi tinggi dapat menimbulkan potensi toksisitas terhadap lingkungan maupun sel inang (Pambudi et al., 2024). Oleh karena itu, diperlukan strategi untuk meningkatkan stabilitas, efektivitas, dan keamanan penggunaan AgNPs. Graphene Oxide (GO) merupakan salah satu turunan dari graphene, menjadi kandidat material pendukung yang menarik karena memiliki luas permukaan yang besar dan mengandung berbagai gugus oksigen fungsional seperti hidroksil ($-\text{OH}$), epoksi, dan karboksil ($-\text{COOH}$). Gugus-gugus ini memungkinkan GO menstabilkan AgNPs dan mencegah agregasi. Selain itu, GO memiliki sifat antibakteri bawaan melalui mekanisme oksidatif dan interaksi fisik dengan membran bakteri, dimana struktur lembaran GO yang tajam dapat merusak dinding sel bakteri (Sjahriza & Herlambang, 2021). Kombinasi GO dan AgNPs diketahui menghasilkan mekanisme antibakteri ganda, yaitu pelepasan ion Ag^+ yang menyebabkan kerusakan protein dan DNA bakteri, serta kemampuan GO dalam menghasilkan reactive oxygen species (ROS) dan menyebabkan stres oksidatif pada sel bakteri. Interaksi sinergis antara kedua material ini terbukti meningkatkan efektivitas antibakteri lebih tinggi dibandingkan penggunaan material tunggal (Lange et al., 2022; Zielińska-Górska et al., 2023).

Pengembangan material antibakteri berbahan alam menjadi semakin penting, terutama melalui pendekatan green synthesis yang lebih aman dan ramah lingkungan dibandingkan sintesis kimia konvensional. Ekstrak daun teh hijau (*Camellia sinensis*) yang kaya polifenol dan katekin dapat berfungsi sebagai agen pereduksi sekaligus penstabil dalam pembentukan AgNPs, menghasilkan ukuran partikel lebih kecil dan stabil dibandingkan metode kimia (Miu et al., 2024). Sementara itu, GO disintesis melalui metode Hummer's termodifikasi menggunakan tempurung kelapa sebagai sumber karbon alami, menghasilkan struktur GO dengan distribusi partikel yang seragam, luas permukaan besar, dan gugus oksigen fungsional yang optimal (Sjahriza & Herlambang, 2021). Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa ukuran dan distribusi partikel GO/AgNPs sangat berpengaruh terhadap aktivitas antibakteri. Misalnya, nanokomposit GO/AgNPs berukuran 200–500 nm dilaporkan mampu menghasilkan zona hambat 5–7 mm terhadap *S. aureus*, dengan efektivitas berkisar antara 70–85% bakteri (Widatalla et al., 2022; Fauzi et al., 2021). Namun, penelitian terbaru menunjukkan bahwa optimasi rasio GO/AgNPs dapat meningkatkan efektivitas hingga lebih dari 90%, terutama ketika AgNPs terdistribusi merata pada permukaan GO (Jin et al., 2023). Dengan demikian, pengembangan nanokomposit GO/AgNPs berbasis bahan alam memiliki potensi besar sebagai material antibakteri yang lebih efektif, stabil, dan aman untuk aplikasi medis, khususnya dalam penanganan infeksi kulit.

II. METODE

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam tiga tahap utama, yaitu sintesis *graphene oxide* (GO), sintesis nanopartikel perak (AgNPs) dan pembuatan nanokomposit GO/AgNPs. Selanjutnya dilakukan karakterisasi material serta uji aktivitas antibakteri untuk mengetahui efektivitas komposit yang dihasilkan.

a. Sintesis Graphene Oxide

Graphene oxide (GO) disintesis melalui metode Hummers termodifikasi dari arang tempurung kelapa sebagai sumber karbon. Proses dimulai dengan karbonisasi tempurung kelapa pada suhu 500°C selama 7 jam, diikuti dengan aktivasi menggunakan NaOH 0,5 M selama 24 jam dengan perbandingan karbon:aktivator sebesar 1:3. Sampel kemudian dikalsinasi pada suhu 800°C selama 5 jam. Hasil kalsinasi dicuci menggunakan HCl 1 M dan aquades hingga pH netral, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 1 jam sehingga diperoleh karbon aktif. Sintesis GO dilakukan dengan mencampurkan 0,5 gram NaNO₃ dan 25 mL H₂SO₄ dalam kondisi ice bath dan diaduk selama 30 menit. Selanjutnya ditambahkan 3 gr KMnO₄ dan diaduk selama 3 jam hingga warna larutan berubah menjadi hijau tua. Campuran kemudian dipanaskan hingga 35°C dan diaduk selama 1 jam, kemudian ditambahkan 50 mL aquades dan diaduk selama 1 jam hingga warna berubah menjadi kuning kecoklatan. Sebanyak 5 mL H₂O₂ ditambahkan untuk menghilangkan sisa KMnO₄. Larutan diendapkan, dicuci hingga pH netral, dan dikeringkan pada suhu 60°C selama 20 jam hingga diperoleh serbuk graphene oxide (GO).

b. Sintesis Nanopartikel Perak (AgNPs) Dengan Bioreduktor Ekstrak Daun Teh Hijau

Ekstrak daun teh hijau dibuat dengan menghaluskan daun teh hijau kering, kemudian mengekstrak 1 gram serbuk teh hijau dalam 20 mL aquades pada suhu 80°C selama 1 jam. Sintesis nanopartikel perak (AgNPs), dibuat dengan mencampurkan 10 mL larutan AgNO₃ (0,01 M) ke dalam ekstrak teh hijau dan mengaduknya pada suhu ruang selama 30 menit. Perubahan warna larutan dari kuning menjadi cokelat gelap menandakan terbentuknya AgNPs. Campuran disentrifugasi untuk memisahkan endapan AgNPs, yang kemudian dicuci dengan aquades dan dikeringkan pada suhu 60°C selama 20 jam.

c. Pembuatan Nanokomposit GO/AgNPs

Nanokomposit GO/AgNPs dibuat dengan mencampurkan GO dan AgNPs dalam variasi rasio GO:AgNPs (1:0,4; 1:0,5; 1:0,6; 1:0,7 dan 1:0,8). Serbuk GO dan AgNPs dilarutkan terpisah dalam aquades dan masing-masing diultrasonikasi selama 30 menit. Kedua larutan kemudian dicampur dan diaduk selama 2 jam, diikuti dengan ultrasonikasi tambahan selama 30 menit. Campuran diendapkan, disaring, dicuci, dan dikeringkan pada suhu 60°C selama 12 jam hingga diperoleh serbuk kering nanokomposit GO/AgNPs.

B. Variabel Penelitian

Penelitian ini melibatkan tiga aspek utama yang menjadi fokus pengukuran, yaitu variasi rasio GO/AgNPs, kondisi pengujian antibakteri, serta parameter hasil yang diamati secara menyeluruh. Rasio GO/AgNPs disiapkan dalam lima variasi berbeda, yaitu 1:0,4; 1:0,5; 1:0,6; 1:0,7; dan 1:0,8, untuk melihat pengaruh proporsi material terhadap performa antibakterinya. Kondisi pengujian mencakup jenis bakteri uji yang digunakan – *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* – serta parameter inkubasi berupa suhu 37°C dan durasi 24 jam untuk memastikan pertumbuhan bakteri berlangsung optimal. Parameter hasil yang diamati terdiri dari karakterisasi fisik dan morfologi nanokomposit menggunakan SEM-EDX untuk mengidentifikasi struktur dan distribusi material, serta aktivitas antibakteri yang dievaluasi melalui pengukuran diameter zona hambat sebagai indikator efektivitas penghambatan pertumbuhan bakteri.

C. Teknik Pengumpulan Data

Nanokomposit GO/AgNPs yang telah disintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDX) untuk mengetahui morfologi permukaan serta komposisi unsur, termasuk karbon (C), oksigen (O), dan perak (Ag) pada nanokomposit GO/AgNPs. SEM memberikan gambaran visual mengenai distribusi dan ukuran partikel, sedangkan EDX mengidentifikasi unsur penyusun nanokomposit. Aktivitas antibakteri diuji menggunakan metode difusi cakram. Suspensi bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* ($OD_{600\text{ nm}} 0.1$) diambil sebanyak 100 μL dan diratakan secara

merata pada permukaan media Mueller Hinton Agar (MHA). Pada penelitian ini, kontrol positif menggunakan obat kumur komersial, sedangkan kontrol negatif menggunakan aquades steril, sesuai prosedur yang umum digunakan dalam uji zona hambat. Media selanjutnya diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Diameter zona hambat yang terbentuk diukur untuk menentukan efektivitas antibakteri. Diameter zona hambat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$D = \frac{Dv + Dh}{2} \quad (1)$$

Keterangan :

D = Diameter zona hambat (mm)

Dv = Diameter vertikal (mm)

Dh = Diameter horizontal (mm)

Efektivitas antibakteri dihitung berdasarkan diameter zona hambat yang terbentuk, yang menunjukkan kemampuan material untuk menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. Peningkatan diameter zona hambat sebanding dengan peningkatan efektivitas antibakteri nanokomposit. . Efektivitas antibakteri dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Efektivitas (\%)} = \frac{Dk^2 - Du^2}{Dk^2} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan :

Dk = Diameter zona hambat agen antibakteri standar (mm)

Du = Diameter zona hambat yang dihasilkan (mm)

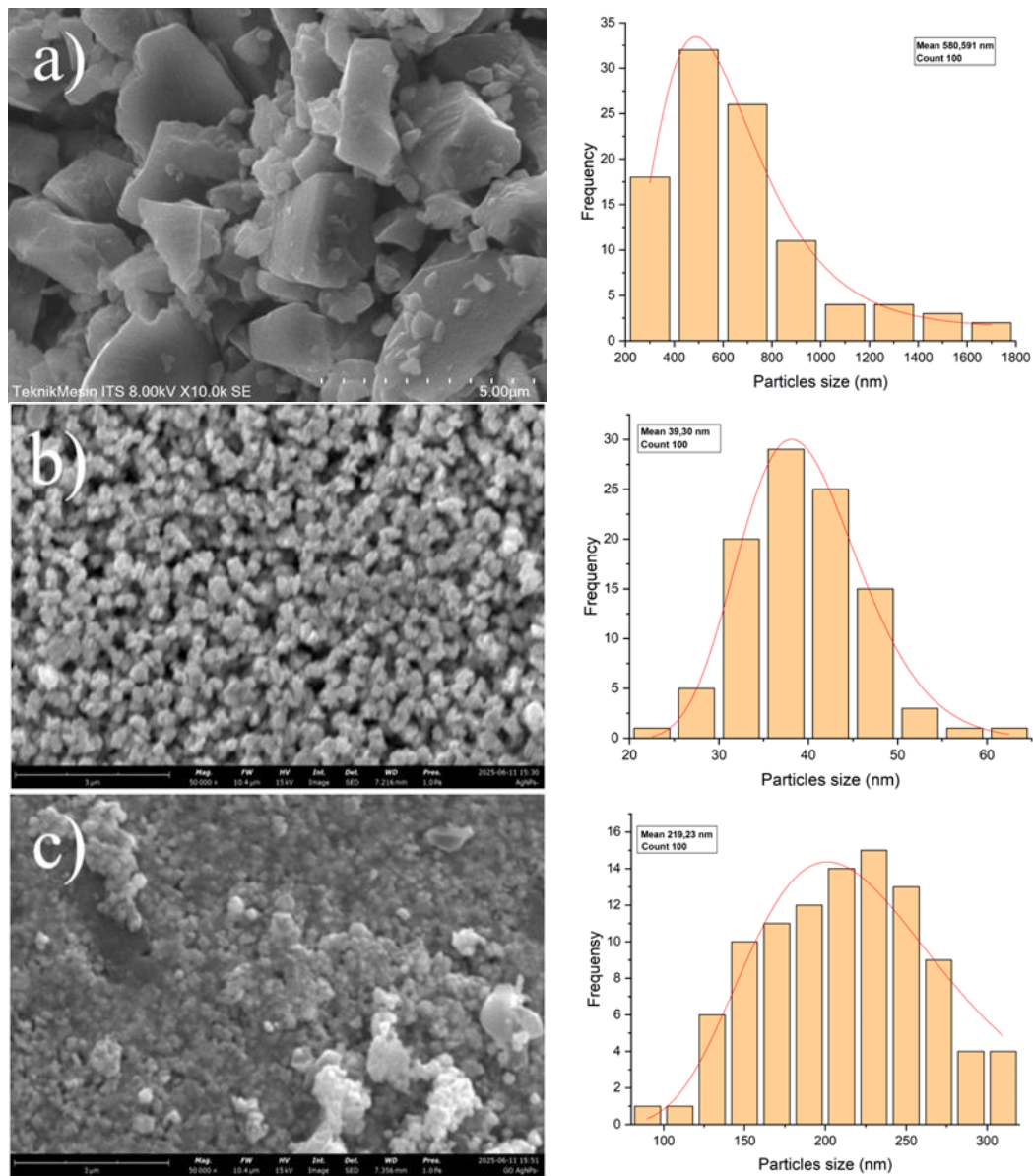
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

SEM-EDX (Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray)

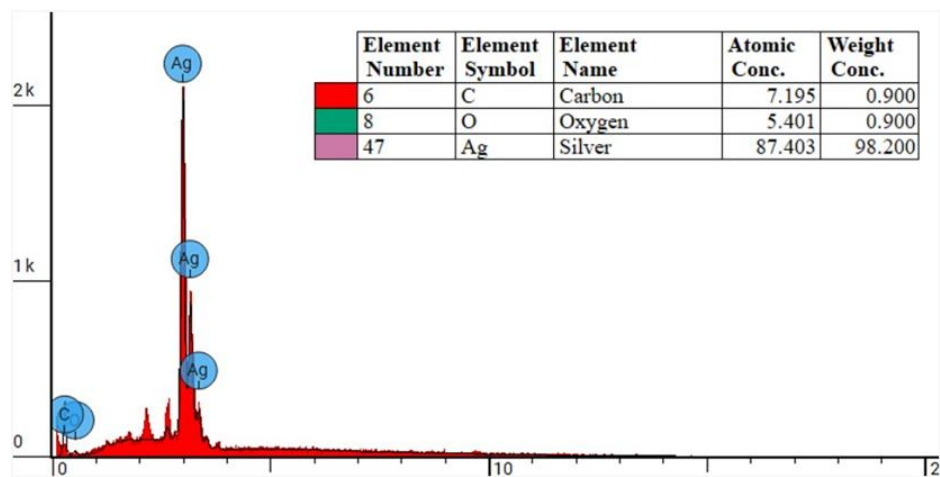
Hasil SEM dengan perbesaran yang berbeda menunjukkan morfologi dari GO, AgNPs dan nanokomposit GO/AgNPs (Gambar 1). Graphene oxide (GO) hasil sintesis dari tempurung kelapa memiliki struktur lembaran tidak beraturan dengan ukuran partikel rata-rata 580,59 nm. Distribusi ukuran GO yang berkisar antara 200-1000 nm pada perbesaran 10.000x menunjukkan adanya variasi ketebalan dan tumpukan lembaran GO, yang dapat meningkatkan luas permukaan untuk proses pengikatan nanopartikel. Ukuran GO yang diperoleh lebih kecil dibandingkan laporan Putri & Supardi, (2023). Ukuran partikel GO yang lebih kecil ini dapat meningkatkan luas permukaan spesifiknya, meskipun ukuran lebih besar memberikan keuntungan dalam stabilitas dan ketahanan terhadap oksidasi dan agregasi (Putri & Supardi, 2023).

Nanopartikel perak (AgNPs) yang disintesis menggunakan ekstrak daun teh hijau membentuk partikel bulat seragam dengan ukuran rata-rata 39,30 nm (30-50 nm pada perbesaran 50.000x) (Gambar 1 (b)). Distribusi ukuran yang seragam sangat penting untuk mengurangi agregasi serta memaksimalkan interaksi AgNPs dengan membran bakteri, sesuai laporan Widatalla et al., (2022) bahwa ukuran partikel ≤ 50 nm meningkatkan penetrasi terhadap sel bakteri.

Pada nanokomposit GO/AgNPs, AgNPs terdistribusi merata pada permukaan GO dengan ukuran rata-rata 219,23 nm (Gambar 1 (c)). Lembaran GO tampak lembaran tipis yang saling menumpuk, sedangkan AgNPs berbentuk butiran bulat tersebar merata di permukaan GO. Meskipun ukuran partikel komposit yang lebih besar mengurangi luas permukaan aktif, namun memberikan stabilitas struktural dan mengurangi risiko agregasi nanopartikel, sebagaimana dijelaskan oleh Jin et al., (2023). Ukuran partikel mempengaruhi aktivitas antibakteri, dengan partikel kecil meningkatkan luas permukaan dan penetrasi ke dalam sel bakteri, sedangkan partikel lebih besar memberikan keuntungan dalam hal stabilitas, mengurangi degradasi material, dan memperpanjang efektivitas antibakteri (Fauzi et al., 2021).



Gambar 1. Morfologi SEM (a) GO, (b) AgNPs, (c) GO/AgNPs-0,6

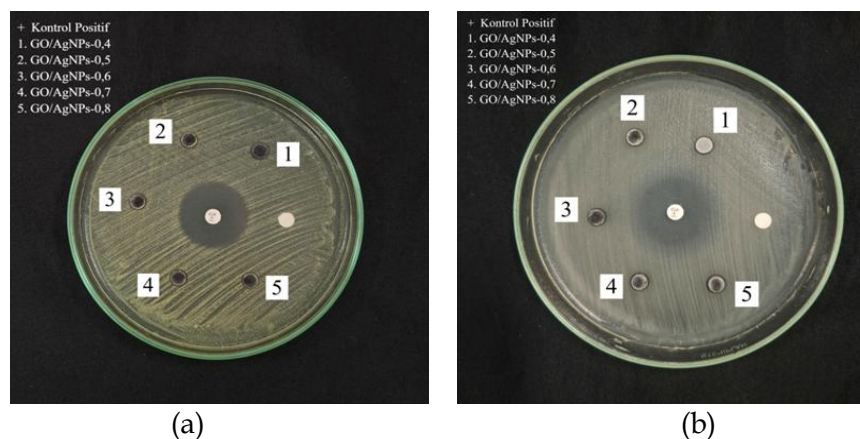


Gambar 2. Hasil Spektrum EDX GO/AgNPs-0,6

Spektrum EDX (**Gambar 2**) menunjukkan spektrum energi sinar X yang dihasilkan memberikan informasi mengenai komposisi unsur-unsur yang ada dalam material. Hasil EDX mengonfirmasi bahwa komposit GO/AgNPs mengandung tiga unsur utama yaitu karbon (C), oksigen (O), dan perak (Ag). Karbon (7.195% atomik) berasal dari GO, yang mendistribusikan AgNPs dan memberikan stabilitas. Oksigen (5.401% atomik) terdeteksi pada permukaan GO, berperan dalam menstabilkan AgNPs dan mencegah oksidasi. Perak (87.403% atomik) adalah elemen dominan, memberikan aktivasi antibakteri yang kuat. dan berat 98.200%, Kandungan perak (Ag) yang sangat tinggi (98.200% berat dan 87.403% atomik) menunjukkan distribusi AgNPs yang merata pada permukaan GO. Kandungan perak yang tinggi ini berkontribusi pada kemampuan antibakteri komposit GO/AgNPs. Konsentrasi perak yang tinggi meningkatkan interaksi antibakteri dengan membran bakteri, mempermudah penetrasi dan merusak komponen internal bakteri seperti DNA, protein, dan struktur membrane (Widatalla et al., 2022). Selain itu, stabilitas komposit GO/AgNPs yang terjaga melalui distribusi AgNPs yang merata pada permukaan GO memastikan ketahanan material terhadap oksidasi (Jin et al., 2023).

Aktivitas Antibakteri

Aktivitas antibakteri diuji untuk mengevaluasi kemampuan nanokomposit GO/AgNPs yang disintesis menggunakan ekstrak daun teh hijau dan arang tempurung kelapa dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. Uji dilakukan menggunakan metode difusi cakram, dimana kultur bakteri ditumbuhkan pada media Nutrient Broth, kemudian diencerkan ($OD_{600\text{ nm}} 0.1$). Sebanyak 100 μL suspensi bakteri diratakan pada permukaan media Mueller Hinton Agar (MHA). Pada penelitian ini, kontrol positif menggunakan obat kumur komersial, sedangkan kontrol negatif menggunakan aquades steril, sesuai prosedur yang umum digunakan dalam uji zona hambat. Media selanjutnya diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam, kemudian zona hambat yang terbentuk diukur untuk menentukan efektivitas antibakteri nanokomposit.



Gambar 3. Pembentukan Zona Hambat Pada Bakteri (a) *Staphylococcus aureus* (b) *Escherichia coli*

Tabel 1. Hasil Pengukuran Zona Hambat

Sampel	<i>Staphylococcus aureus</i>		<i>Escherichia coli</i>	
	Kontrol Positif (mm)	Zona Hambat (mm)	Kontrol Positif (mm)	Zona Hambat (mm)
GO/AgNPs-0,4	26,5	6,8	24,6	5,7
GO/AgNPs-0,5	26,4	6,2	22,9	5,6
GO/AgNPs-0,6	26,4	6,6	24,6	5,8
GO/AgNPs-0,7	26,4	6,3	24,6	5,7
GO/AgNPs-0,8	26,4	6,3	24,6	5,7

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh variasi rasio GO/AgNPs memiliki kemampuan dalam menghambat pertumbuhan *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*, yang terlihat dari pembentukan zona hambat disekitar cakram (**Gambar 3**). Pada *Staphylococcus aureus*, zona hambat terbesar terbentuk pada komposit dengan rasio 1:0,4 sebesar 6,8 mm, sedangkan efektivitas antibakteri tertinggi tercatat pada rasio 1:0,5, dengan nilai 94,48%. Pada *Escherichia coli*, zona hambat terbesar terbentuk pada komposit dengan rasio 1:0,6, namun efektivitas antibakteri tertinggi tercatat pada rasio 1:0,5, mencapai 94,82%. Fenomena ini menunjukkan bahwa ukuran zona hambat tidak selalu berbanding lurus dengan efektivitas antibakteri. Distribusi AgNPs yang merata pada rasio 1:0,5 menghasilkan pelepasan ion Ag^+ yang lebih stabil, sehingga meningkatkan aktivitas antibakteri meskipun diameter zona hambat tidak terbesar. Mekanisme antibakteri nanokomposit GO/AgNPs bekerja melalui tiga jalur utama, yaitu pelepasan ion Ag^+ , pembentukan reactive oxygen species (ROS), dan interaksi fisik GO dengan membran bakteri. Ion Ag^+ yang dilepaskan dari AgNPs berdifusi menuju membran bakteri, berikatan dengan protein dan komponen fosfolipid, sehingga mengganggu permeabilitas membran dan menyebabkan kebocoran isi sel. Ion Ag^+ juga diketahui mampu berinteraksi dengan DNA dan ribosom, menghambat replikasi dan sintesis protein. Selain itu, AgNPs dan GO dapat memicu pembentukan ROS, seperti OH dan O_2 , yang menyebabkan stres oksidatif dan kerusakan oksidatif pada protein sel, lipid, dan asam nukleat. Struktur lembaran GO turut memperkuat mekanisme ini melalui kontak langsung dengan membran sel bakteri, yang dapat menyebabkan penetrasi fisik, distorsi struktur, hingga lisis sel. Kombinasi ketiga mekanisme ini menghasilkan efek sinergis, dimana GO meningkatkan kestabilan dan dispersi AgNPs, sementara AgNPs memberikan kontribusi utama dalam merusak struktur internal bakteri. Pada rasio GO/AgNPs yang lebih tinggi, potensi antibakteri cenderung menurun karena meningkatnya risiko agregasi nanopartikel. Agregasi dapat mengurangi luas permukaan aktif dan menghambat pelepasan ion Ag^+ , sehingga efektivitas antibakteri berkurang. Hal ini sejalan dengan laporan Jin et al., (2023) dan Fauzi et al., (2021), yang menyatakan bahwa distribusi AgNPs yang baik serta pelepasan ion Ag^+ yang terkontrol memiliki peran penting dalam meningkatkan aktivitas antibakteri, bukan karena ukuran zona hambat yang terbentuk. Hasil ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa distribusi AgNPs yang baik dan pelepasan ion Ag^+ secara optimal dapat meningkatkan aktivitas antibakteri meskipun zona hambatnya tidak selalu lebih besar.

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

Kombinasi graphene oxide (GO) dan nanopartikel perak (AgNPs) dalam nanokomposit GO/AgNPs berbasis bahan alam menunjukkan efektivitas antibakteri yang tinggi, dengan rasio GO/AgNPs 1:0,5 memberikan efektivitas antibakteri terbaik, dengan nilai 94,48% untuk *Staphylococcus aureus* dan 94,82% untuk *Escherichia coli*, yang disebabkan oleh pelepasan ion Ag^+ yang terkontrol dan distribusi AgNPs yang merata. Karakteristik nanokomposit menunjukkan bahwa ukuran rata-rata partikel GO adalah 580,59 nm, sementara AgNPs berukuran rata-rata 39,30 nm dengan kandungan perak sebesar 87,403% atomik, yang memastikan stabilitas optimal dan meningkatkan interaksi antibakteri. Penggunaan bahan alam seperti ekstrak daun teh hijau dan arang tempurung kelapa memberikan keuntungan dalam hal keberlanjutan dan pengurangan bahan kimia berbahaya dalam sintesis, menjadikan nanokomposit ini memiliki potensi besar untuk aplikasi medis, khususnya dalam penanganan infeksi kulit.

B. Saran

Penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan metode lain untuk mengevaluasi efektivitas antibakteri komposit GO/AgNPs dalam kondisi yang lebih mendekati aplikasi nyata. Teknik **karakterisasi lanjutan** juga dapat memberikan wawasan lebih mendalam tentang mekanisme antibakteri dan interaksi material dengan bakteri.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfadli, R., & Khairunisa, S. (2024). *Prevalensi Penyakit Kulit Infeksi dan Non-infeksi di Poliklinik Kulit dan Kelamin RSUD Jagakarsa Periode Februari 2023 - Januari 2024* Prevalence of Infectious and Non-infectious Skin Diseases in the Dermatology and Venereology Outpatient Department at Jag. 30(3), 151–156.
- Bhelqis, Q., Melita, N., & Zulissetiana, E. F. (2024). *Manifestasi Kulit Pada Pasien Diabetes Melitus : Systematic Review Skin manifestations in patients with diabetes mellitus : A Systematic Review*. 5(3), 851–861.
- Fauzi, F., Musawwa, M. M., Hidayat, H., Kusumaatmaja, A., & Dwandaru, W. S. B. (2021). Nanocomposites based on biocompatible polymers and graphene oxide for antibacterial coatings. *Polymers and Polymer Composites*, 29(9_suppl), S1609–S1620. <https://doi.org/10.1177/09673911211020601>
- Jin, H., Cai, M., & Deng, F. (2023). Antioxidation Effect of Graphene Oxide on Silver Nanoparticles and Its Use in Antibacterial Applications. *Polymers*, 15(14). <https://doi.org/10.3390/polym15143045>
- Lange, A., Sawosz, E., Wierzbicki, M., Kutwin, M., Daniluk, K., Strojny, B., Ostrowska, A., Wójcik, B., Łojkowski, M., Gołębiewski, M., Chwalibog, A., & Jaworski, S. (2022). Nanocomposites of Graphene Oxide–Silver Nanoparticles for Enhanced Antibacterial Activity: Mechanism of Action and Medical Textiles Coating. *Materials*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/ma15093122>
- Miu, B. A., Stan, M. S., Mernea, M., Dinischiotu, A., & Voinea, I. C. (2024). Pure Epigallocatechin-3-gallate-Assisted Green Synthesis of Highly Stable Titanium Dioxide Nanoparticles. *Materials*, 17(2). <https://doi.org/10.3390/ma17020275>
- Pambudi, S. R., Rahmawati, I., & Sulaiman, T. N. S. (2024). Green Synthesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Daun Bayam Duri (*Amaranthus spinosus* L.) dan Aktivitasnya Sebagai Antibakteri. *Jurnal Ilmu Farmasi Dan Farmasi Klinik*, 2(1), 1. <https://doi.org/10.31942/jiffk.v2i1.10224>
- Putri, N. A., & Supardi, Z. A. I. (2023). Sintesis Dan Karakterisasi Graphene Oxide (Go) Dari Bahan Alam Tempurung Kelapa. *Inovasi Fisika Indonesia*, 12(2), 47–55. <https://doi.org/10.26740/ifi.v12n2.p47-55>
- Sjahriza, A., & Herlambang, S. (2021). Sintesis Oksida Grafena dari Arang Tempurung Kelapa Untuk Aplikasi Antibakteri dan Antioksidan. *Al-Kimiya*, 8(2), 51–58. <https://doi.org/10.15575/ak.v8i2.13473>
- Widatalla, H. A., Yassin, L. F., Alrasheid, A. A., Rahman Ahmed, S. A., Widdatallah, M. O., Eltilib, S. H., & Mohamed, A. A. (2022). Green synthesis of silver nanoparticles using green tea leaf extract, characterization and evaluation of antimicrobial activity. *Nanoscale Advances*, 4(3), 911–915. <https://doi.org/10.1039/d1na00509j>
- Zielińska-Górska, M., Sosnowska-Iawnicka, M., Jaworski, S., Lange, A., Daniluk, K., Nasiłowska, B., Bartosewicz, B., Chwalibog, A., & Sawosz, E. (2023). Silver Nanoparticles and Graphene Oxide Complex as an Anti-Inflammatory Biocompatible Liquid Nano-Dressing for Skin Infected with *Staphylococcus aureus*. *Journal of Inflammation Research*, 16(November), 5477–5493. <https://doi.org/10.2147/JIR.S431565>