

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengembangan ilmu pengetahuan tentang nanoteknologi semakin berkembang pesat, dalam struktur nano, material yang dihasilkan memiliki banyak fungsi, salah satu keunikan nanoteknologi adalah potensi besar sebagai bahan antibakteri (Kamea dkk, 2018). Nanopartikel logam adalah nanomaterial yang dapat digunakan sebagai bahan antibakteri. Nanomaterial logam yang mempunyai fungsi sebagai antibakteri adalah logam tembaga (Cu), seng (Zn), dan perak (Ag) (Godoy *et al.*, 2021).

Sintesis partikel perak, tembaga, dan seng oksida dengan skala nanometer dapat dilakukan dengan beberapa metode diantaranya metode elektrokimia, reduksi kimia, abrasi laser, fotokimia, dan sonokimia. Metode reduksi kimia efektif dalam pembuatan nanopartikel perak, hal tersebut dikarenakan langkah kerja yang mudah, cepat, murah, peralatan, sederhana dan penggunaan temperatur yang rendah. Prinsip kerja metode reduksi kimia adalah mereduksi ion logam dengan agen pereduksi dan menstabilkan nanopartikel dengan penambahan agen protektif (Karim *et al.*, 2021).

Sintesis nanopartikel perak menggunakan metode reduksi kimia dengan mereaksikan 5 mL larutan perak nitrat (AgNO_3) 0,01 M dengan larutan natrium tetrahidroborat (NaBH_4) 0,002 M sebagai reduktor. Volume larutan NaBH_4 divariasikan dalam rentang 10 hingga 95 mL. Agen penstabil digunakan poliasam akrilat (PAA) 1% dengan variasi volume antara 0,05 hingga 0,2 mL, serta polivinilpirolidon (PVP) 17% dengan variasi volume antara 0,05 hingga 0,25 mL. Proses sintesis dilakukan dengan menambahkan larutan AgNO_3 tetes demi tetes ke dalam larutan reduktor yang telah dicampur dengan agen penstabil, menggunakan buret di bawah kondisi pengadukan kontinu dengan pengaduk magnetik. Pembentukan nanopartikel perak dapat diamati secara visual melalui perubahan

warna larutan menjadi kuning hingga kemerahan, yang mengindikasikan terbentuknya nanopartikel. Hasil karakterisasi PSA menunjukkan distribusi ukuran nanopartikel Ag dengan zat penstabil PAA rata-rata 71,8 nm dengan nilai *Polydispersity index* (PI) 0,293. Distribusi ukuran nanopartikel perak hasil sintesis menggunakan zat penstabil PVP, memperoleh rata-rata 96,0 nm dengan nilai *Polydispersity index* (PI) 0,245. Pengujian aktivitas antimikroba larutan koloid nanopartikel perak dilakukan sesuai dengan metode standard AATCC 147-1998 yaitu mengevaluasi seberapa lebar zona bening media bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus* yang terjadi setelah kontak permukaan dengan cakram kertas yang sebelumnya telah dibasahi dengan larutan koloid nanopartikel perak dengan beberapa variasi pengenceran yaitu kadar perak 25%, 50% dan 100% (larutan induk). Zona hambat terhadap *S. aureus* diperoleh berturut-turut sebesar 10,75 mm, 16 mm, dan 23 mm, kemudian zona hambat terhadap *E. coli* berturut-turut sebesar 8 mm, 11,75 mm, dan 17 mm (Wahyudi *et al.*, 2011).

Penelitian Rehman *et al.* (2020) melakukan sintesis nanopartikel CuO dengan metode reduksi kimia, tiga jenis prekursor yaitu tembaga (II) suksinat, adipat, dan malonat. Setiap sintesis, larutan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (2,5 g dalam 20 mL air suling) disiapkan dan diaduk dengan pengaduk magnetik. Larutan prekursor organik dibentuk dengan melarutkan 0,80 g NaOH bersama dengan 1,18 g asam suksinat, 1,46 g asam adipat, atau 1,04 g asam malonat (masing-masing dalam 10 mL air suling), untuk membentuk natrium suksinat, natrium adipat, dan natrium malonat. Larutan natrium ini kemudian ditambahkan tetes demi tetes ke dalam larutan CuSO_4 sambil diaduk selama ± 50 menit, hingga terbentuk endapan kompleks tembaga(II) berwarna hijau atau hijau tua, yang kemudian dicuci, disentrifugasi, dan dikeringkan. Masing-masing prekursor kompleks kemudian direduksi menggunakan larutan NaBH_4 (1,3 g dalam 10 mL air suling), sebelumnya, kompleks dilarutkan dalam air suling sebanyak 10 mL dengan massa masing-masing: 1,80 g (suksinat), 2,07 g (adipat), dan 1,65 g (malonat). Larutan NaBH_4 ditambahkan perlahan sambil diaduk, lalu campuran dimasukkan ke dalam ultrasonik bath selama 60 menit. Perubahan warna dari hijau menjadi hitam (suksinat & malonat) atau cokelat tua (adipat) menandakan terbentuknya nanopartikel CuO yang kemudian disaring dan dikeringkan. Analisis X-ray

diffraction (XRD) dilakukan untuk mengidentifikasi struktur kristal dan indeks Miller (hkl) dari nanopartikel CuO, NP CuO prekursor asam malonat, puncak utama muncul pada $2\theta = 7,55^\circ$ hingga $69,67^\circ$, dengan ukuran kristalit berkisar $9,06\text{--}33,98$ nm. NP CuO dari asam suksinat menunjukkan puncak antara $2\theta = 6,55^\circ\text{--}44,10^\circ$ dan ukuran kristalit $9,05\text{--}13,91$ nm, kemudian NP CuO dari asam adipat memiliki puncak pada $2\theta = 7,64^\circ\text{--}62,19^\circ$ dengan ukuran kristalit $11,27\text{--}13,75$ nm. Nanopartikel CuO dengan tiga jenis prekursor menunjukkan aktivitas penghambatan terhadap enam jenis bakteri patogen, baik Gram positif maupun Gram negatif. Nanopartikel CuO prekusor asam malonat menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus* diameter zona hambat sebesar $(12,0 \pm 0,11)$ mm, pada *Bacillus subtilis* dengan zona hambat $(25,0 \pm 2,50)$ mm, sementara terhadap MRSA zona hambat $(5,0 \pm 0,51)$ mm, *Escherichia coli* dengan zona hambat $(20,0 \pm 0,10)$ mm, *Klebsiella pneumoniae* $(8,0 \pm 0,13)$ mm, *Salmonella typhi* $(10,0 \pm 0,55)$ mm. Nanopartikel CuO dengan prekursor asam suksinat menunjukkan aktivitas terhadap *Staphylococcus aureus* dengan zona hambat $(18,0 \pm 1,1)$ mm, dan *Bacillus subtilis* sebesar $(22,0 \pm 0,12)$ mm, MRSA dengan zona hambat $(10,0 \pm 0,33)$ mm, *Escherichia coli* dengan zona hambat $(25,0 \pm 0,02)$ mm, *Klebsiella pneumoniae* dan *Salmonella typhi* dengan zona hambat masing-masing $(10,0 \pm 0,11)$ mm dan $(15,0 \pm 0,12)$ mm. Nanopartikel CuO dengan prekursor asam adipat menunjukkan aktivitas terhadap *Staphylococcus aureus* $(15,0 \pm 0,15)$ mm, *Bacillus subtilis* $(20,0 \pm 0,11)$ mm, dan $(8,0 \pm 0,18)$ mm, *Escherichia coli* dengan zona hambat $(22,0 \pm 0,41)$ mm, sedangkan *Klebsiella pneumoniae* dan *Salmonella typhi* masing-masing $(10,0 \pm 0,15)$ mm dan $(12,0 \pm 0,17)$ mm.

Penelitian Amrute *et al.* (2024) menghasilkan nanopartikel Ag doped ZnO dengan metode reduksi kimia, 1 M seng asetat ($(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Zn}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) disiapkan dalam 50 mL air deionisasi dan diaduk selama 30 menit, setelah itu, larutan NaOH ditambahkan perlahan ke dalam larutan seng asetat sambil terus diaduk hingga terbentuk endapan putih, dengan pH dijaga pada kisaran 5-6, kemudian diaduk selama 2 jam pada suhu ruang. Endapan yang terbentuk dipisahkan dari larutan dengan sentrifugasi selama 10 menit pada 6000 rpm. Endapan dicuci 3-4 kali menggunakan air deionisasi dan etanol, lalu dikeringkan dalam oven pada 80°C selama 20 jam. Setelah kering, endapan digerus dan dipijar dalam furnace pada suhu

400 °C selama 2 jam untuk menghasilkan ZnO tanpa doping. Pembuatan ZnO terdoping Ag, larutan perak nitrat (AgNO_3) ditambahkan ke larutan seng asetat sesuai dengan kadar doping (1%, 3%, 5%, dan 7%), prosedur selanjutnya sama dengan cara pembuatan sintesis ZnO murni. Hasil penelitian adalah nanopartikel ZnO terdoping Ag dengan berbagai konsentrasi Ag, sampel ini masing-masing diberi kode AZO-1, AZO-3, AZO-5, dan AZO-7 untuk konsentrasi Ag 1%, 3%, 5%, dan 7%, lalu analisis XRD menunjukkan bahwa ZnO dan sampel AZO (AZO-1, AZO-3, AZO-5, AZO-7) memiliki struktur heksagonal wurtzit sesuai JCPDS No. 800075. Puncak-puncak difraksi yang tajam mengindikasikan sifat kristalin yang baik. Pada ZnO yang didoping Ag, terjadi pergeseran puncak ke kanan akibat substitusi ion Ag^+ (0,126 nm) menggantikan Zn^{2+} (0,074 nm), serta muncul puncak tambahan dari logam Ag pada doping 3%, 5%, dan 7%. Ukuran kristalit dihitung menggunakan persamaan Debye–Scherrer memperoleh nanopartikel ZnO tanpa doping, AZO-1, AZO-3, AZO-5, DAN AZO-7 berturut-turut adalah 20,55 nm, 26,31 nm, 20,61 nm, 19,56 nm, 26,31 nm. Morfologi permukaan ZnO tanpa doping dan AZO-3 dianalisis menggunakan SEM. Kedua sampel menunjukkan butiran berbentuk sferis. Ukuran rata-rata partikel dihitung menggunakan perangkat lunak ImageJ, yaitu 46,89 nm untuk ZnO dan 67,33 nm untuk AZO-3, dengan standar deviasi masing-masing 1,22 nm dan 1,32 nm. Keberadaan unsur-unsur penyusun melalui pemetaan unsur menggunakan citra EDX memperoleh elemen Zn sebanyak 81,50%, elemen O sebanyak 18%, dan elemen Ag 0,5%. Analisis TEM menunjukkan nanopartikel AZO-3 memiliki morfologi heksagonal. Ukuran rata-rata partikel sebesar 58,09 nm dengan standar deviasi 1,39 nm. Citra HRTEM memperlihatkan *lattice fringes* yang jelas dengan jarak antar bidang (d-spacing) sebesar 0,23846 nm, menegaskan sifat kristalin partikel. Pola cincin tersebar pada citra SAED menunjukkan struktur nanokristalin AZO-3. Analisis Gugus Fungsi (FTIR) menunjukkan spektra FTIR ZnO tanpa doping dan yang didoping Ag dianalisis pada rentang $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$. Puncak pada 527 cm^{-1} dan 870 cm^{-1} mengindikasikan ikatan logam-oksida (Zn–O). Puncak 1434 cm^{-1} menunjukkan regangan C=O, sedangkan 2886 cm^{-1} berkaitan dengan ikatan C–H. Rentang $3679\text{--}3768\text{ cm}^{-1}$ menandakan getaran regangan O–H dari gugus hidroksil, dan puncak pada 2312 cm^{-1} menunjukkan adanya impuritas. Pergeseran kecil pada puncak

penyerapan setelah doping Ag menunjukkan adanya substitusi ion Ag^+ dalam kisi ZnO . Sifat optik ZnO dan ZnO ter-doping Ag dengan spektrometer UV-Vis pada suhu ruang dalam rentang 200–600 nm. ZnO tanpa doping menunjukkan puncak serapan pada 372 nm, sementara doping Ag menyebabkan *red shift* ke 374–378 nm (AZO-1 hingga AZO-7), yang menunjukkan perubahan pita energi (band gap). Band gap optik dihitung menggunakan metode *Tauc plot*. ZnO murni memiliki band gap sebesar 3,04 eV, yang menurun menjadi 3,00 eV, 2,94 eV, 2,88 eV dan 2,81 eV seiring peningkatan doping Ag. Aktivitas antibakteri ZnO dan ZnO ter-doping Ag diuji terhadap bakteri Gram-negatif *E. coli* dan Gram-positif *B. subtilis* menggunakan metode difusi sumur agar. Zona hambat nanopartikel ZnO tanpa doping, AZO-1, AZO-3, AZO-5, dan AZO-7 terhadap *E. coli* berturut-turut adalah 14 mm, 19 mm, 20 mm, 19 mm, 20 mm, terhadap *B. subtilis* adalah 13 mm, 16 mm, 17 mm, 17 mm, 18 mm.

Penelitian Shumbula *et al.* (2024) melakukan sintesis nanopartikel Cu-Ag. Larutan CuCl_2 dan AgNO_3 dicampur ke dalam 100 mL air destilasi lalu ditambahkan 50 mg dopamin hidroklorida, kemudian dipanaskan hingga mendidih (98°C) lalu 5 mL larutan hidrazin hidrat (3%) ditambahkan dan dibiarkan berlangsung selama 1 jam. Perbandingan mol Cu:Ag yang digunakan adalah 1:0, 0:1, 1:1, 1:2, dan 2:1, pada rasio 1:0 atau 0:1, kemudian hasilnya didinginkan, lalu dicuci dua kali dengan air destilasi menggunakan sentrifugasi dengan kecepatan 8000 rpm selama 10 menit. Spektra UV-Vis menunjukkan pita serapan khas *surface plasmon resonance* (SPR) dari Cu pada 590 nm (ratio mol Cu:Ag = 1:0) dan dari Ag pada 415 nm (0:1), menandakan keberhasilan sintesis masing-masing. Pada rasio 1:1, pita serapan sangat lebar muncul akibat gabungan efek SPR dari Cu dan Ag, mengonfirmasi terbentuknya nanorod bimetalik Cu-Ag. Pada rasio 1:2 dan 2:1, dua pita SPR terdeteksi dengan dominasi logam yang lebih tinggi. Lebarnya pita SPR menunjukkan kemungkinan aglomerasi atau distribusi ukuran partikel yang luas. Analisis FTIR menunjukkan pita khas dopamine pada 3341, 3165, dan 3089 cm^{-1} yang bergeser ke energi lebih rendah pada nanorod, mengindikasikan adanya interaksi gugus oksigen dengan permukaan Cu-Ag. TEM menunjukkan bahwa nanopartikel Cu dan Ag murni (1:0 dan 0:1) berbentuk sferis dengan diameter 22 nm dan 11 nm, tersokong oleh jaringan polidopamin akibat

polimerisasi dopamin oleh hidrazin hidrat. Pencampuran Cu dan Ag menghasilkan nanorod Cu-Ag pada rasio 1:1, 1:2, dan 2:1, dengan lapisan polidopamin tipis yang mengarahkan pertumbuhan struktur memanjang. Rasio 1:1 membentuk nanorod dengan sedikit gumpalan; 1:2 menghasilkan nanorod lebih panjang dan minim aglomerasi; sedangkan 2:1 menghasilkan nanorod bercampur partikel sferis akibat kejemuhan ion logam. Difraktogram PXRD menunjukkan bahwa Cu dan Ag NPs memiliki pola khas struktur FCC, masing-masing pada bidang (111), (200), dan (220) untuk Cu, serta (111), (200), (220), (311), dan (222) untuk Ag. Tidak adanya puncak lain menandakan kemurnian logam. Nanorod Cu-Ag (ENP-1 hingga ENP-3), puncak difraksi dari Cu dan Ag muncul bersamaan, menunjukkan terbentuknya struktur bimetalik. ENP-1 menunjukkan tumpang tindih puncak Cu (111) dan Ag (200), sementara ENP-2 dan ENP-3 menunjukkan pemisahan puncak yang lebih jelas, menandakan campuran antara logam murni dan aloi Cu-Ag. XPS menunjukkan keberadaan unsur Cu, Ag, O, N, dan C, tanpa kontaminan lain. Spektrum O1s menampilkan tiga puncak (533,1, 531,6, dan 530,1 eV) yang mengindikasikan keberadaan gugus quinon, catechol, dan metal-oksida (M-O), kemungkinan akibat oksidasi permukaan.

Spektrum Cu2p menunjukkan adanya Cu⁰ dan Cu²⁺, tanpa indikasi Cu⁺. Cu²⁺ dideteksi melalui puncak satelit lemah dan dikonfirmasi juga oleh M-O pada O1s. Sementara itu, spektrum Ag3d memperlihatkan hanya Ag⁰ (373,7 dan 367,7 eV), menandakan Ag dalam keadaan logam murni. Aktivitas antimikroba setiap sampel diuji menggunakan metode difusi sumur (well-diffusion) konvensional terhadap bakteri *E. coli* dan *S. aureus*. Kultur bakteri diinokulasi ke dalam media LB Broth dan diinkubasi dalam inkubator pengocok pada suhu 37 °C dengan kecepatan 250 rpm selama semalam. Setelah itu, kultur bakteri disebarluaskan ke permukaan media TSA (*Tryptic Soy Agar*). Lubang sumur dibuat pada permukaan media menggunakan pelubang gabus (*cork borer*), kemudian nanopartikel Cu-Ag (30 µg/mL) sebanyak 100 µL diteteskan ke dalam masing-masing sumur. Zona hambat yang terbentuk diukur menggunakan penggaris setelah inkubasi pada suhu 37 °C selama 18-24 jam. Zona hambat terhadap *E. coli* oleh nanopartikel Cu, nanopartikel Ag, dan nanopartikel rasio 1:1 (NP-1), rasio 1:2 (NP-2), dan rasio 2:1 (NP-3) berturut-turut sebesar 13 mm, 22 mm, 14 mm, 16 mm, dan 20 mm, kemudian

terhadap aureus, zona hambat yang dihasilkan berturut-turut 13 mm, 23 mm, 13 mm, 16 mm, dan 19 mm.

Penelitian Asamoah *et al.* (2020) melakukan sintesis dan karakterisasi nanopartikel CuO dan ZnO. Tembaga asetat konsentrasi 0,1 M dilarutkan dalam 100 ml air deionisasi. Larutan diaduk di *magnetic stirrer* dengan kecepatan 700 rpm suhu 80 °C, kemudian dicampurkan dengan larutan 2 M NaOH. Larutan diaduk terus menerus pada kecepatan dan suhu yang sama selama 60 menit sampai homogen. Suspensi hitam dengan endapan terbentuk, yang menunjukkan pembentukan tembaga oksida. Suhu dibiarkan mendingin secara bertahap hingga suhu kamar pada kecepatan pengadukan 700 rpm. Sintesis nanopartikel seng oksida dilakukan dengan melarutkan 0,1 M seng asetat dalam 100 rpm air deionisasi pada *magnetic stirrer* suhu 80°C. Larutan homogen diperoleh setelah menjaga larutan pada 700 rpm pada *magnetic stirrer* pada 80°C. Suhu dan kecepatan pengadukan dijaga konstan selama periode sintesis. NaOH 2 M ditambahkan ke larutan homogen untuk meningkatkan pH-nya menjadi 11, kemudian endapan putih terbentuk yang menandakan nanopartikel seng oksida telah berhasil dilakukan. Sintesis dibiarkan berlanjut selama 60 menit. Sampel dikaraktersasi dengan XRD, nanopartikel tembaga oksida memperoleh ukuran nanopartikel 21,68 nm dan nanopartikel seng oksida memperoleh ukuran nanopartikel sebesar 21 nm. Karakterisasi UV-Vis dilakukan terhadap sampel, memperoleh celah pita energi nanopartikel tembaga oksida dan nanopartikel seng oksida sebesar 2,7 eV dan 3,22 eV. Metode difusi cakram Kirby Bauer digunakan untuk menyelidiki aktivitas antibakteri oksida logam nano pada spesies bakteri. Suspensi berair oksida logam nano mulai dari 5 mg/ml hingga 0,01 mg/ml diuji pada E. coli dan S. aureus yang merupakan spesies bakteri gram positif dan gram negatif, dengan konsentrasi hambat minimum (KHM) CuO terhadap E. coli dan S. aureus masing-masing adalah 1 mg/ml dan 0,25 mg/ml, sedangkan ZnO terhadap S. aureus adalah 0,1 mg/ml. Hasil uji antibakteri memperoleh E. coli lebih resisten terhadap aktivitas antibakteri tembaga oksida dibandingkan dengan S. aureus. Nanopartikel seng oksida diuji dengan cara yang sama pada E. coli dan S. aureus, namun nanopartikel ZnO tidak menghasilkan penghambatan terhadap E. coli.

Penelitian Damayanti & Taufikurohmah (2019) melakukan sintesis nanosilver dengan metode reduksi kimia. Larutan induk ion perak 1000 ppm dibuat dengan melarutkan 1,573 g AgNO₃ ke dalam 1 liter aquades menggunakan *magnetic stirrer*, kemudian secara terpisah PVP 3% dicampur dengan dengan aquades dan natrium sitrat menggunakan magnetic stirrer dan *hot plate*, larutan diaduk sampai homogen, kemudian larutan PVP 3% ditambahkan tetes demi tetes larutan induk ion perak 1000 ppm, hingga berwarna kekuningan, yang menandakan nanosilver telah terbentuk. Hasil uji UV–Vis menunjukkan nanosilver memiliki serapan pada panjang gelombang 414,0 nm (absorbansi 1,577) pada hari ke-0, 416,5 nm (absorbansi 0,712) pada hari ke-30, dan 418,3 nm (absorbansi 0,736) pada hari ke-60. Puncak serapan sekitar 410–418 nm menandakan terbentuknya kompleks ion sitrat–perak. Puncak serapan yang berhimpitan pada hari ke-30 dan ke-60 menunjukkan kestabilan nanosilver. Absorbansi mencerminkan jumlah nanopartikel terbentuk. Sehingga ukuran partikel dihitung yaitu 33,26 nm (0 hari), 37,08 nm (30 hari), dan 39,83 nm (60 hari). Hasil uji TEM diperoleh bentuk klaster dominan adalah *spherical* dengan ukuran nanopartikel berkisar antara 18,60–42,97nm. Nanosilver diaplikasikan ke dalam variasi formulasi whitening cream F1 (10%), F2 (15%), dan F3 (20%) b/v lalu dilakukan uji aktivitas antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus* menghasilkan rata-rata diameter zona hambat masing-masing sebesar (7,36 ± 1,72) mm, (12,43 ± 2,43) mm dan (19,26 ± 2,23) mm.

Penelitian Sener *et al.* (2024) melakukan sintesis Nanopartikel Cu@nano-CeO₂ dengan mencampurkan larutan CuCl₂·2H₂O (2% Cu) dan nano-CeO₂ pada suhu ruang 98 K, pengadukan 750 rpm selama 4 jam. Larutan NaBH₄ ditambahkan untuk mereduksi ion Cu²⁺ menjadi Cu⁰ pada permukaan CeO₂. Hasil reduksi disentrifugasi, dicuci dengan air, dan dikeringkan semalam dalam oven vakum pada suhu 80 °C. Pembuatan membran komposit Polyethersulfone (PES), butiran PES dikeringkan pada 70 °C selama 2 jam, selanjutnya, Cu@nano-CeO₂ dilarutkan dalam N-methyl-2-pyrrolidone menggunakan ultrasonikasi selama 10 menit, lalu dicampur dengan butiran PES dan diinkubasi semalam pada 60 °C hingga larut sempurna. Membran murni, digunakan larutan PES 14% (b/b) dalam NMP. Sedangkan untuk membran komposit, Cu@nano-CeO₂ ditambahkan dengan variasi konsentrasi 0,5; 1,0; dan 2,0% (b/b). Larutan polimer disonikasi selama 20 menit

untuk menghilangkan gelembung, kemudian dituangkan di atas kaca menggunakan pisau pencetak 200 μm dengan kecepatan 100 mm/s. Proses inversi fasa dilakukan dengan mencelupkan kaca ke dalam air deionisasi, lalu membran direndam semalam dalam air suling untuk menghilangkan sisa pelarut. Material Cu@nano-CeO₂ dikarakterisasi menggunakan ICP-OES, XRD, XPS, SEM, dan BET. Analisis ICP-OES menunjukkan kandungan Cu sebesar $(1,82 \pm 0,06)$ wt%, mendekati nilai teoritis 2,0 wt%. Pola XRD menunjukkan puncak khas struktur fluorit kubik CeO₂, sesuai dengan JCPDS 34-0394. Tidak terdeteksi puncak Cu, yang diduga akibat doping Cu yang rendah dan tidak mengubah struktur kristal CeO₂. Spektrum XPS menunjukkan keberadaan Cu, Ce, dan O pada permukaan. Puncak Cu 2p pada 933,2 eV dan 942,69 eV mengindikasikan Cu (0), sementara puncak 953,21 eV menunjukkan adanya CuO akibat oksidasi permukaan. Spektrum Ce 3d mengonfirmasi keberadaan Ce⁴⁺ dan Ce³⁺, dan spektrum O 1s menunjukkan keberadaan oksigen kisi dan oksigen teradsorpsi. Analisis SEM menunjukkan distribusi Cu yang merata pada permukaan nano-CeO₂. Spektrum EDX dan pemetaan unsur mengonfirmasi keberadaan Cu, Ce, dan O secara homogen. Isoterm BET menunjukkan tipe IV dengan loop histeresis H3, menandakan sifat mesopori. Luas permukaan Cu@nano-CeO₂ adalah 38,18 m²/g, lebih rendah dari CeO₂ murni (46,02 m²/g), disebabkan oleh penyumbatan pori oleh partikel Cu (0). Aktivitas antimikroba Cu@nano-CeO₂ dengan MIC: 16 mg/L (*E. hirae*, *E. faecalis*), 32 mg/L (*S. aureus*), hingga 256 mg/L (*C. albicans*, *C. tropicalis*). Mekanismenya melibatkan interaksi elektrostatis antara permukaan nanopartikel bermuatan positif dengan dinding sel bakteri bermuatan negatif dimana nilai zeta potensial: $(2,06 \pm 0,13)$ mV, yang memicu pelepasan ion Ce³⁺, Ce⁴⁺, Cu⁺ dan pembentukan ROS yang merusak membran sel. Cu@nano-CeO₂ menunjukkan efek anti-biofilm tergantung dosis terhadap *S. aureus* dan *P. aeruginosa*, pada konsentrasi 12,5; 25; dan 50 mg/L, Cu@nano-CeO₂ menghambat pembentukan biofilm *S. aureus* sebesar 82,63%, 90,13%, dan 98,27%; serta *P. aeruginosa* sebesar 68,26%, 75,49%, dan 82,14%. Aktivitas penghambatan membran PES/Cu@nano-CeO₂ terhadap *E. coli* diuji. Hasil menunjukkan aktivitas hambat terhadap viabilitas sel *E. coli* adalah: 9,69% (PES murni), 37,63% (0,5 wt%), dan 100% pada membran dengan 1,0 dan 2,0 wt% Cu@nano-CeO₂. Uji efisiensi penyaringan *E. coli* juga dilakukan menggunakan

filtrat dari masing-masing membran. Hasilnya konsisten: membran PES murni hanya menghambat 10,87%, sedangkan semua membran Cu@nano-CeO₂ (0,5-2,0 wt%) menunjukkan efisiensi 100%. Temuan ini menunjukkan bahwa kombinasi membran PES dengan Cu@nano-CeO₂ sangat efektif untuk menghilangkan *E. coli*, sehingga berpotensi besar digunakan dalam sistem pengolahan air dan air limbah.

Penelitian Mohan *et al.* (2024) melakukan sintesis nanopartikel tembaga dan perak, larutan tembaga nitrat dan perak nitrat dengan konsentrasi 0,01 M digunakan secara terpisah sebagai prekursor logam menggunakan agen penstabil, larutan kitosan 1% (b/v), sementara asam askorbat 10% (b/v) sebagai agen pereduksi. Proses dimulai dengan mencampurkan larutan garam logam ke dalam larutan kitosan dalam jumlah yang sama. Campuran tersebut kemudian dipanaskan menggunakan microwave selama 90 detik pada daya penuh. Pemanasan ini memicu reaksi reduksi ion logam menjadi nanopartikel logam yang distabilkan oleh kitosan. Berbagai karakterisasi telah digunakan untuk menganalisis nanopartikel tembaga dan perak, termasuk spektroskopi FTIR, UV-Vis, dan PL, difraksi sinar-X (XRD), EDAX, (TEM), serta pengukuran potensial zeta. Teknik-teknik ini memberikan informasi penting mengenai struktur kimia, sifat optik, morfologi, ukuran partikel, komposisi unsur, dan stabilitas permukaan nanopartikel yang disintesis. Karakterisasi UV-Vis menghasilkan nanopartikel tembaga menunjukkan puncak serapan pada sekitar 549 nm, sementara puncak eksitasi untuk kitosan terletak pada 316 nm. Puncak serapan NP Cu berkaitan dengan sifat optiknya, di mana lebarnya puncak menunjukkan distribusi ukuran partikel yang beragam, dan tidak ditemukan puncak lain yang menunjukkan material adalah tembaga murni. Nanopartikel perak menunjukkan puncak serapan sekitar 417 nm, yang menunjukkan keberadaan partikel perak murni, dan tidak ditemukan indikasi kontaminasi dari unsur lain pada spektrum, lalu energi celah pita (band gap) masing-masing diperoleh sebesar 2,023 eV dan 2,019 eV. Hasil fotoluminesensi menunjukkan struktur pita energi nanopartikel logam, dengan eksitasi NP Cu pada 549 nm menghasilkan emisi pada 600 nm, sementara NP Ag menunjukkan emisi pada 510 nm. Kitosan murni memiliki puncak emisi pada 376 nm (eksitasi 316 nm). Emisi ini berasal dari rekombinasi elektron dan lubang antara pita d dan pita konduksi sp. Struktur kristal nanopartikel dianalisis menggunakan XRD. Pola difraksi menunjukkan NP Cu dan

NP Ag yang distabilisasi kitosan memiliki struktur kristal face-centered cubic (FCC), sesuai dengan data JCPDS (Cu: 04-0836; Ag: 04-0783). Puncak difraksi untuk NP Cu muncul pada 2θ : $44,15^\circ$, $49,35^\circ$, dan $74,23^\circ$ ((111), (200), dan (220)), sedangkan NP Ag pada $38,08^\circ$, $44,32^\circ$, $64,43^\circ$, dan $77,38^\circ$ ((111), (200), (220), dan (311)). Puncak (111) memiliki intensitas tertinggi, pelebaran puncak menunjukkan ukuran partikel sangat kecil dan bersifat kristalin. Ukuran kristal dihitung menggunakan persamaan Scherrer, yang memperoleh ukuran rata-rata NP Cu 23,54 nm dan NP Ag 20,80 nm. Nilai zeta potensial dan ukuran partikel rata-rata menggunakan Malvern Zeta Sizer menunjukkan nilai zeta potensial NP Cu 59,7 mV dan NP Ag zeta potensial 70,3 mV, kemudian ukuran partikel NP Cu 53 nm dan ukuran partikel NP Ag 60,3 nm. Analisis SEM dan Edax menunjukkan nanopartikel berbentuk sferis dan relatif seragam, dengan ukuran berkisar antara 19–32 nm untuk NP Cu dan 16–28 nm untuk NP Ag, dengan ukuran rata-rata partikel adalah 23,8 nm (NP Cu) dan 20,95 nm (NP Ag). Hasil EDX menunjukkan keberadaan tembaga dan perak dalam matriks polisakarida, dengan sinyal tambahan dari karbon dan oksigen yang berasal dari kitosan. Hasil menunjukkan kedua jenis nanopartikel berbentuk sferis dan kitosan berhasil mencegah terjadinya agregasi. Ukuran rata-rata NP Cu berdasarkan histogram dari 20 partikel adalah 23,65 nm, dengan ukuran partikel tunggal sebesar 23,45 nm, jarak kisi (lattice spacing) yang diperoleh dari TEM adalah 0,29 nm menunjukkan bahwa CuNPs bersifat polikristalin. Nanopartikel Ag menunjukkan ukuran rata-rata 21,76 nm dan ukuran partikel tunggal sebesar 22,34 nm dan jarak kisi yang terukur adalah 0,25 nm menunjukkan struktur polikristalin. Uji antibakteri dengan metode difusi cakram memperoleh zona hambat dari nanopartikel tembaga yang distabilkan kitosan terhadap *Streptococcus pyogenes*, *Klebsiella pneumoniae*, dan *Candida albicans* pada volume (25, 50, 75, dan 100) μL . Volume 25 μL , zona hambat yang dihasilkan masing-masing sebesar $\pm 11,5$ mm untuk *S. pyogenes*, $\pm 11,3$ mm untuk *K. pneumoniae*, dan $\pm 10,2$ mm untuk *C. albicans*, pada volume 50 μL , zona hambat meningkat menjadi $\pm 13,9$ mm untuk *S. pyogenes*, $\pm 13,8$ mm untuk *K. pneumoniae*, dan $\pm 11,8$ mm untuk *C. albicans*. Volume 75 μL menghasilkan zona hambat terbesar, yaitu $\pm 15,5$ mm untuk *S. pyogenes*, $\pm 15,6$ mm untuk *K. pneumoniae*, dan $\pm 13,9$ mm untuk *C. albicans*, sementara itu, volume 100 μL , zona hambat $\pm 13,8$

mm untuk *S. pyogenes*, $\pm 13,6$ mm untuk *K. pneumoniae*, dan $\pm 11,7$ mm untuk *C. albicans*. Zona hambat nanopartikel perak yang distabilkan kitosan pada volume 25 μL , zona hambat sebesar $\pm 11,6$ mm untuk *S. pyogenes*, $\pm 11,2$ mm untuk *K. pneumoniae*, dan $\pm 9,4$ mm untuk *C. albicans*, pada volume 50 μL , zona hambat menjadi $\pm 14,1$ mm untuk *S. pyogenes*, $\pm 14,0$ mm untuk *K. pneumoniae*, dan $\pm 11,7$ mm untuk *C. albicans*. Volume 75 μL menghasilkan zona hambat tertinggi, yaitu $\pm 15,6$ mm untuk *S. pyogenes*, $\pm 15,8$ mm untuk *K. pneumoniae*, dan $\pm 13,8$ mm untuk *C. albicans*, pada volume 100 μL , zona hambat menurun menjadi $\pm 13,0$ mm untuk *S. pyogenes*, $\pm 12,8$ mm untuk *K. pneumoniae*, dan $\pm 11,1$ mm untuk *C. albicans*.

Penelitian Rajendran *et al.* (2020) melakukan sintesis nanopartikel Ag-ZnO menggunakan polyethylene glycol (PEG) sebagai agen pereduksi, penstabil, dan penutup (capping agent). PEG mengandung gugus hidroksil (-OH) yang dapat bertindak sebagai donor elektron untuk mereduksi ion perak (Ag^+) menjadi logam perak elemental (Ag^0). Sebanyak 0,1 M seng asetat dihidrat dilarutkan dalam air deionisasi, kemudian 0,01 M perak nitrat ditambahkan tetes demi tetes ke dalam larutan seng asetat dihidrat pada suhu 50 °C sambil diaduk dengan pengaduk magnetik selama 30 menit. Setelah itu, larutan PEG 4% ditambahkan tetes demi tetes sambil terus diaduk selama 30 menit, larutan penyanga natrium hidroksida (NaOH) 2 M ditambahkan secara tetesan ke dalam larutan tersebut sambil diaduk hingga pH mencapai 12, lalu larutan diaduk terus pada suhu 50 °C selama 2 jam, kemudian larutan disentrifugasi pada 10.000 gram selama 10 menit. Endapan yang terbentuk dikumpulkan dan dicuci dengan air deionisasi sebanyak 2–3 kali. Endapan akhir kemudian dikeringkan pada suhu 100 °C dalam oven udara panas selama 2 jam, lalu dikalsinasi pada suhu 400 °C selama 2 jam dalam *furnace muffle*. Karakterisasi UV-Vis-NIR menunjukkan spektrum dalam rentang 350–650 nm menunjukkan nanopartikel ZnO murni memiliki puncak serapan pada 378 nm, sedangkan Ag-ZnO menunjukkan pergeseran puncak ke 397 nm dan munculnya puncak tambahan pada 430 nm, yang menandakan keberadaan partikel Ag di permukaan ZnO. Energi bandgap dihitung menggunakan persamaan Tauc dengan mengekstrapolasi kurva $(\alpha h\nu)^2$ terhadap $h\nu$, memperoleh bandgap ZnO murni adalah 3,28 eV, sedangkan bandgap Ag-ZnO adalah 3,12 eV, mengalami penurunan sebesar 0,16 eV. Zeta potensial nanopartikel Ag-ZnO menggunakan

Dynamic Light Scattering (DLS) dalam kondisi cair memperoleh nilai zeta potensial adalah +13,82 mV, menunjukkan nanopartikel memiliki stabilitas yang baik di dalam air. Struktur kristal dan kemurnian nanopartikel ZnO dan Ag-ZnO dikonfirmasi melalui analisis X-Ray Diffraction (XRD) (Gambar 2(b)). Puncak-puncak difraksi pada $2\theta = 31,82^\circ$, $34,48^\circ$, $36,30^\circ$, $47,67^\circ$, dan $72,62^\circ$ sesuai dengan bidang (100), (002), (101), (102), dan (201), menunjukkan struktur kristal heksagonal wurtzit khas ZnO. Pada sampel Ag-ZnO, terdeteksi tiga puncak tambahan pada $2\theta = 38,09^\circ$, $44,38^\circ$, dan $64,51^\circ$ yang sesuai dengan bidang (111), (200), dan (220), menandakan keberadaan struktur face-centered cubic (FCC) dari logam perak sesuai dengan JCPDS No. 04-0783. Ukuran kristalit dihitung menggunakan persamaan Scherrer, diperoleh ukuran kristalit ZnO murni adalah 41,51 nm, sedangkan Ag-ZnO sebesar 62,58 nm. Morfologi dan ukuran partikel Ag-ZnO dikarakterisasi menggunakan FE-SEM dan HRTEM. Citra FE-SEM menunjukkan bahwa nanopartikel Ag-ZnO teraglomerasi dengan ukuran bervariasi dan berbentuk heksagonal, serta tampak struktur kubik pada perbesaran tinggi yang mengindikasikan keberadaan nanopartikel Ag. Permukaan yang tampak berpori juga menandakan partikel Ag terlapisi di permukaan ZnO. Citra HRTEM menunjukkan ukuran partikel berada dalam kisaran 30–120 nm dengan rata-rata diameter 73,64 nm. Pola SAED menunjukkan sifat polikristalin dari nanopartikel Ag-ZnO dan sesuai dengan struktur heksagonal ZnO. Analisis EDAX dan XRF menunjukkan kemurnian dan komposisi unsur dari nanopartikel dengan kehadiran puncak khas untuk Zn, Ag, dan O. Spektrum EDAX menunjukkan puncak intensitas tinggi dari Zn-L, Zn-K α , dan Ag-L, serta oksigen (O), yang menegaskan keberadaan ketiga unsur tersebut. Komposisi berat (Weight %) dan atomik (Atomic %) unsur-unsur tersebut adalah Zn: 64,86% (berat), 56,22% (atom), Ag: 24,69% (berat), 12,98% (atom), O: 10,45% (berat), 30,80% (atom). Efisiensi degradasi fotokatalitik nanopartikel ZnO murni dan Ag-ZnO terhadap pewarna Ponceau diuji di bawah cahaya lampu halogen. Hasil menunjukkan bahwa ZnO murni mampu menguraikan 57% pewarna dalam 140 menit, sementara Ag-ZnO mencapai degradasi lebih tinggi hingga 89%, dengan proses degradasi mengikuti kinetika orde pertama, dengan konstanta laju reaksi Ag-ZnO (17×10^{-3} menit $^{-1}$) lebih besar dibandingkan ZnO murni (6×10^{-3} menit $^{-1}$). Waktu paruh degradasi juga lebih

singkat pada Ag-ZnO (45 menit) dibanding ZnO (112 menit). Aktivitas antibakteri nanopartikel Ag-ZnO diuji dengan metode difusi cakram terhadap bakteri *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Staphylococcus aureus*. Hasil uji menunjukkan zona hambat terbesar ($24 \pm 0,4$) mm pada *K. pneumoniae* dengan konsentrasi 250 mg/ml NP Ag-ZnO, zona hambat yaitu ($18 \pm 0,5$) mm pada *E. coli*, ($16 \pm 0,35$) mm pada *B. subtilis*, ($18 \pm 0,24$) mm pada *P. aeruginosa*, dan ($16 \pm 0,39$) mm pada *S. aureus*.

Penelitian Amin *et al.* (2020) mengembangkan bahan kemasan makanan aktif berbasis film nanokomposit yang bersifat biodegradable, tahan terhadap paparan oksigen, dan memiliki aktivitas antimikroba yang baik. Bahan utama yang digunakan adalah polimer PVA (polyvinyl alcohol) dan Pluronic (PLUR), yang dikenal aman, fleksibel, dan mudah terdegradasi, dikombinasikan dengan nanopartikel seng oksida (ZnO) sebagai agen aktif. Sintesis nanopartikel ZnO dimulai dengan mencampurkan seng asetat ke dalam larutan asam akrilat dan air, kemudian disinari dengan radiasi gamma. Radiasi ini memicu proses polimerisasi sehingga terbentuk hidrogel poliakrilat yang mengandung ion Zn^{2+} , selanjutnya, hidrogel dipanaskan melalui proses pirolisis untuk menghasilkan ZnO dalam bentuk nanopartikel. Pembuatan film, PVA 5% (b/b) dan PLUR 2% (b/b) dilarutkan secara terpisah dalam air suling ganda pada suhu 60°C, kemudian dicampur dalam perbandingan 3:1 dan diaduk selama 60 menit hingga homogen, kemudian ditambahkan dengan ZnO dalam berbagai konsentrasi (5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% berat), lalu dicetak menggunakan metode casting ke dalam cawan petri dan dikeringkan pada suhu 50 °C selama 24 jam. Setelah mengering, film dikupas dan disimpan dalam desikator vakum.

Hasil karakterisasi menunjukkan nanopartikel ZnO memiliki struktur kristalin heksagonal wurtzit dengan puncak difraksi tajam sesuai pada $2\theta = 31,84^\circ$, $34,52^\circ$, $36,33^\circ$, tidak ditemukan puncak lain selain ZnO, yang menandakan kemurnian partikel. Pola XRD dari film PVA/PLUR menunjukkan karakter amorf, sementara film nanokomposit PVA/PLUR/ZnO menunjukkan kedua pola (amorf dan kristalin ZnO), menandakan ZnO berhasil tercampur tanpa membentuk senyawa baru. Penambahan ZnO juga meningkatkan tingkat kristalinitas film karena adanya pengaruh dari penataan ulang rantai polimer. Pengujian termal dengan TGA

menunjukkan bahwa film PVA/PLUR mengalami dua tahap penurunan berat, yaitu di sekitar 100°C akibat penguapan air, dan di atas 300°C akibat degradasi termal polimer, namun, film PVA/PLUR/ZnO menunjukkan kestabilan termal yang lebih baik, karena penambahan ZnO yang membantu memperkuat struktur jaringan film dan memperlambat proses degradasi. Spektrum FT-IR untuk mengetahui interaksi antara ZnO dan matriks PVA/PLUR. Film PVA/PLUR dan PVA/PLUR/ZnO menunjukkan pita khas dari gugus hidroksil, CH₂, C-H, dan C-O-C. Munculnya pita baru di daerah 474 cm⁻¹ pada film nanokomposit menandakan adanya ikatan Zn-O. Meskipun intensitasnya lemah, hal ini cukup sebagai bukti bahwa ZnO telah berhasil terdispersi dalam matriks. Sedikit pelebaran dan perubahan intensitas pita pada rentang 3200-3400 cm⁻¹ mengindikasikan kemungkinan terbentuknya ikatan hidrogen antara ZnO dan gugus OH dari polimer, kemudian uji Oxygen Transmission Rate (OTR) memperoleh film PVA/PLUR memiliki OTR sebesar 1230 mL/m²/hari, sedangkan film dengan penambahan ZnO (PVA/PLUR/ZnO) menurun menjadi 710 mL/m²/hari. Penurunan sebesar 43% ini menunjukkan bahwa ZnO mampu mengisi celah antar molekul dalam polimer dan menciptakan jalur berliku (tortuous path), yang memperlambat laju difusi oksigen ke dalam kemasan. Ini menjadikan film lebih efektif dalam menjaga kualitas produk makanan selama penyimpanan. Uji zona hambat terhadap bakteri Gram positif (*Staphylococcus aureus* dan *Bacillus subtilis*), Gram negatif (*Escherichia coli* dan *Pseudomonas aeruginosa*), serta jamur (*Candida albicans*). Hasil menunjukkan bahwa film PVA/PLUR/ZnO menunjukkan aktivitas antimikroba terhadap semua mikroorganisme uji, dengan zona hambat antara 15 hingga 40 mm. Zona hambat tertinggi ditemukan pada *Candida albicans* (40 mm), dan terendah pada *Pseudomonas aeruginosa* (18 mm). Aktivitas ini meningkat seiring meningkatnya konsentrasi ZnO dalam film. Film PVA/PLUR/ZnO yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki sifat penghalang oksigen yang baik dan aktivitas antimikroba yang tinggi, sehingga film ini sangat potensial digunakan sebagai kemasan makanan aktif yang dapat memperpanjang masa simpan produk, menjaga kesegaran, dan mencegah kontaminasi mikroba secara lebih efektif dibandingkan film polimer biasa dan sifat biodegradabilitas dari bahan penyusunnya menjadikannya solusi ramah lingkungan untuk kebutuhan industri pangan modern.

Penelitian Sasunthon *et al.* (2025) mengembangkan kain rami antibakteri dengan daya tahan cuci yang baik menggunakan metode persiapan yang sederhana dan kompatibel dengan teknologi industri tekstil saat ini. Nanopartikel perak (AgNP) disintesis langsung pada kain rami menggunakan perak nitrat sebagai prekursor (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; dan 2,5 g/L) dan trisodium sitrat sebagai agen pereduksi yang mengubah ion perak (Ag^+) menjadi partikel perak (Ag^0), dan sebagai pelapis (penyelubung) agar partikel tidak menggumpal. Permukaan nanopartikel menarik anion sitrat karena adanya muatan, sehingga nanopartikel menjadi bermuatan negatif dan stabil karena saling tolak-menolak. Nanopartikel ini kemudian menempel kuat pada kain rami melalui ikatan hidrogen dan tersangkut secara mekanis di dalam serat kain.

Partikel diambil dari kain yang sudah diberi perlakuan menggunakan alat sonikasi, memperoleh larutan berwarna kuning, lalu hasil uji TEM menunjukkan NP Ag berbentuk hampir bulat dan berukuran rata-rata sekitar 9,4 nanometer. Perlakuan kain rami dengan nanopartikel perak menyebabkan perubahan warna signifikan dari putih kusam menjadi kuning kecokelatan, dengan intensitas warna yang meningkat seiring naiknya konsentrasi AgNO_3 . Analisis spektrofotometri menunjukkan penurunan nilai L^* dan peningkatan b^* , menandakan dominasi warna kuning. Nilai K/S meningkat sebanding dengan konsentrasi AgNP, namun menurun setelah 30 siklus pencucian, mengindikasikan pelepasan sebagian AgNP dari kain. Citra SEM menunjukkan permukaan serat rami yang tidak rata dengan distribusi AgNP yang tampak jelas pada kain yang dimodifikasi. Hasil SEM-EDS menunjukkan keberadaan dan sebaran unsur Ag di seluruh permukaan kain. Kandungan perak meningkat dari 0,97% hingga 1,82% seiring peningkatan konsentrasi AgNO_3 (Ag0.5 hingga Ag2.0), namun sedikit menurun pada Ag2.5. Setelah pencucian, semua sampel mengalami penurunan kandungan Ag hingga 22–33%, dengan kehilangan terbesar pada konsentrasi tertinggi, meskipun terjadi pelepasan sebagian AgNP, jumlah yang tersisa masih cukup untuk menjamin pelepasan ion Ag^+ secara berkelanjutan, sehingga mempertahankan efektivitas antibakteri selama masa pakai kain. Serat rami secara alami memiliki sifat antibakteri, namun efektivitasnya menurun setelah proses degumming. Kain rami tanpa perlakuan hanya menunjukkan reduksi bakteri sebesar 29% terhadap *S.*

aureus dan 11% terhadap *E. coli*. Setelah dimodifikasi dengan AgNP, aktivitas antibakteri meningkat seiring bertambahnya konsentrasi perak. Sampel Ag2.0 dan Ag2.5 mampu mempertahankan >90% efektivitas antibakteri bahkan setelah 30 kali pencucian. Hal ini menunjukkan bahwa sintesis in situ NP Ag menggunakan trisodium sitrat efektif menghasilkan kain rami antibakteri yang tahan lama tanpa memerlukan bahan kimia beracun atau prosedur sintesis kompleks.

Menurut Tessema *et al.*, (2024) nanopartikel yang terbuat dari seng (zinc), emas, perak, dan bahan lainnya, telah menunjukkan potensi luar biasa dalam menghambat pertumbuhan berbagai mikroba, seperti bakteri dan virus, hal tersebut merupakan penemuan yang sangat penting, karena resistensi terhadap antibiotik merupakan ancaman global yang serius dan membutuhkan solusi alternatif. Nanomaterial menawarkan cara baru untuk melawan bakteri patogen dan berpotensi merevolusi ilmu kedokteran.

Nanopartikel logam Ag, Cu, dan ZnO memiliki mekanisme kerja berbeda-beda dan menunjukkan efektivitas antibakteri yang tinggi, tetapi hasil yang diperoleh dari berbagai penelitian masih beragam. Efektivitas antibakteri sangat dipengaruhi oleh metode sintesis, ukuran partikel, stabilitas larutan, hingga jenis agen penstabil yang digunakan, hal ini menunjukkan perlunya pengujian lebih sistematis untuk menilai perbandingan efektivitas masing-masing logam.

Resistensi bakteri terhadap antibiotik konvensional telah menjadi ancaman serius di tingkat global. Kondisi ini mendorong kebutuhan akan solusi baru yang lebih efektif dan mampu bekerja melalui mekanisme yang berbeda dari antibiotik biasa. Nanopartikel logam menjadi kandidat kuat karena kemampuannya menghasilkan efek antimikroba yang bersifat multi-target, oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian terhadap nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO untuk mengevaluasi potensi antibakterinya, untuk memperoleh material antibakteri yang lebih optimal dan aplikatif dalam menghambat pertumbuhan bakteri patogen seperti *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*.

Peneliti akan melakukan penelitian lebih lanjut terhadap nanopartikel perak, tembaga dan seng oksida sebagai antibakteri. Sintesis nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO menggunakan metode reduksi kimia dengan karakterisasi nanopartikel logam Ag, Cu, dan ZnO menggunakan *Zeta Potential Analyzer*, *PSA*, *Spektometri ICP*-

OES. Analisis *Zeta Potential Analyzer* melihat stabilitas muatan nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO, analisis Particle Size Analyzer menghitung ukuran nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO, analisis Spektometri IPC-OES melihat kadar senyawa nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO. Uji antibakteri menggunakan metode difusi cakram dengan menumbuhkan bakteri pada media *nutrient both* yang ada pada cawan petri, kemudian nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO dengan variasi konsentrasi 5%, 10%, dan 15% di masukkan ke setiap cawan petri yang berbeda. Bakteri uji dalam analisis aktivitas antimikroba adalah bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*, maka judul daripada penelitian adalah **Sintesis Nanopartikel Logam Perak, Tembaga Dan Seng Oksida Sebagai Bahan Antibakteri Dalam Menghambat Pertumbuhan Staphylococcus Aureus Dan Escherichia Coli**.

1.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dijabarkan sebagai berikut:

- 1) Agregasi nanopartikel mempengaruhi hasil karakterisasi ukuran, sifat muatan, dan kadar logam nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO.
- 2) Perbedaan prekusor mempengaruhi proses sintesis nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO dari segi ukuran partikel dan stabilitas muatan, dan kadar logam.
- 3) Material agen reduksi yang tepat dalam proses sintesis yang relevan agar prekusor material logam dapat menghasilkan nanopartikel logam Ag, Cu, dan ZnO.
- 4) Jenis agen penstabil yang berbeda memengaruhi ukuran, sifat muatan, dan kadar elemen nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO.
- 5) Jenis karakterisasi ukuran nanopartikel yang berbeda menghasilkan ukuran nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO yang berbeda
- 6) Penggunaan variasi konsentrasi nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO terhadap *S. aureus* dan *E. coli*.
- 7) Metode yang paling tepat untuk menguji efektivitas antibakteri nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO sebagai agen antibakteri
- 8) Perbedaan ukuran antara nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO menyebabkan efektivitas antibakteri antara nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO berbeda.

- 9) Perbedaan stabilitas muatan di permukaan partikel antara nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO memengaruhi efektivitas antibakteri terhadap *S. aureus* dan *E. coli*
- 10) Perbandingan langsung efektivitas antibakteri antara ketiga jenis nanopartikel (Ag, Cu, ZnO) dalam satu sistem uji yang sama terhadap dua jenis bakteri *S. aureus* dan *E. coli*, untuk melihat jenis nanopartikel yang paling efektif dalam menghambat daya pertumbuhan kedua bakteri uji.
- 11) Perbedaan efektivitas antibakteri nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO terhadap bakteri Gram-positif (*S. aureus*) dan Gram-negatif (*E. coli*).

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah dijabarkan sebagai berikut:

- 1) Metode sintesis nanopartikel logam Ag, Cu, dan ZnO menggunakan metode reduksi kimia.
- 2) Prekursor yang digunakan adalah perak nitrat untuk perak (Ag), tembaga(II) nitrat trihidrat untuk tembaga (Cu) dan seng asetat untuk seng oksida (ZnO).
- 3) Agen reduksi yang dipakai adalah natrium borohidrida (NaBH_4) untuk Ag, asam askorbat untuk Cu, serta kombinasi urea dan larutan basa (NaOH) untuk ZnO
- 4) Agen penstabil untuk proses sintesis nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO adalah PEG (Polietilen glikol).
- 5) Karakterisasi ukuran nanopartikel dengan Particle Size Analyzer (PSA), stabilitas muatan permukaan dengan Zeta Potential Analyzer, dan kadar logam menggunakan ICP-OES.
- 6) Variasi konsentrasi nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO untuk uji antibakteri adalah 5%, 10%, 15%.
- 7) Pengujian aktivitas antibakteri dilakukan terhadap dua jenis bakteri uji: *Staphylococcus aureus* (Gram positif) dan *Escherichia coli* (Gram negatif)
- 8) Uji antibakteri memakai metode difusi cakram.
- 9) Analisis hubungan ukuran partikel (dari PSA), nilai zeta potential, kandungan logam dari karakterisasi ICP-OES terhadap kemampuan antibakteri dari nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO.

- 10) Analisis perbedaan efektivitas antibakteri nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO terhadap bakteri Gram-positif (*S. aureus*) dan Gram-negatif (*E. coli*).

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dijabarkan sebagai berikut:

- 1) Bagaimana proses sintesis nanopartikel perak (Ag), tembaga (Cu), dan seng oksida (ZnO) menggunakan metode reduksi kimia?
- 2) Bagaimana hasil karakterisasi nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO berdasarkan: ukuran partikel melalui analisis Particle Size Analyzer (PSA), stabilitas muatan permukaan melalui Zeta Potential Analyzer, dan kadar logam melalui spektrometri ICP-OES?
- 3) Bagaimana efektivitas antibakteri dari masing-masing nanopartikel (Ag, Cu, dan ZnO) terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*?
- 4) Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi nanopartikel (5%, 10%, dan 15%) terhadap daya hambat pertumbuhan *S. aureus* dan *E. coli*?
- 5) Bagaimana hubungan antara ukuran partikel, nilai zeta potential, dan kadar logam terhadap aktivitas antibakteri dari nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO?
- 6) Apakah ada perbedaan efektivitas antibakteri nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO terhadap bakteri Gram-positif (*S. aureus*) dan Gram-negatif (*E. coli*)?

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dilakukan untuk:

- 1) Mensintesis nanopartikel logam perak (Ag), tembaga (Cu), dan seng oksida (ZnO) dengan metode reduksi kimia.
- 2) Mengkarakterisasi ukuran, muatan permukaan, dan kadar logam nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO dengan Particle Size Analyzer (PSA), Zeta Potential Analyzer, dan ICP-OES.
- 3) Menentukan efektivitas antibakteri masing-masing nanopartikel (Ag, Cu, dan ZnO) terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*.
- 4) Menganalisis pengaruh variasi konsentrasi nanopartikel (5%, 10%, dan 15%) terhadap zona hambat pertumbuhan *S. aureus* dan *E. coli*.

- 5) Menganalisis hubungan ukuran partikel, nilai zeta potential, dan kadar logam dengan aktivitas antibakteri dari nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO.
- 6) Menganalisis perbedaan efektivitas antibakteri nanopartikel Ag, Cu, dan ZnO terhadap bakteri gram positif (*S. aureus*) dan bakteri gram negatif (*E. coli*).

1.6 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan bermanfaat untuk:

- 1) Memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang nanoteknologi, khususnya mengenai sintesis dan karakterisasi nanopartikel logam Ag, Cu, dan ZnO.
- 2) Menambah wawasan tentang hubungan antara ukuran partikel, stabilitas muatan permukaan (zeta potential), dan kadar logam dengan aktivitas antibakteri terhadap bakteri Gram positif dan Gram negatif.
- 3) Menjadi referensi dalam pengembangan bahan antibakteri alternatif berbasis nanopartikel logam.
- 4) Memberikan data eksperimental yang dapat dimanfaatkan untuk penelitian lanjutan dalam bidang biomedis, farmasi, atau teknologi pengolahan air.
- 5) Memberikan informasi tentang jenis nanopartikel yang paling efektif dalam menghambat pertumbuhan *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*, sehingga dapat dipertimbangkan dalam aplikasi produk antibakteri.