

Available online at: <http://reactor.poltekatiptdg.ac.id/>**REACTOR****Journal of Research on Chemistry and Engineering**

| ISSN Online 2746-0401 |



Pengaruh Variasi Prekursor Terhadap Morfologi dan Aktivitas Antibakteri Nanopartikel Tembaga Menggunakan Reduktor Ekstrak Daun Gambir

Netri Elisma^{1*}, Emriadi², Ahmad Darmawi³

¹ Program Studi Analisis Kimia, Politeknik ATI Padang, Padang, 25171, Indonesia

² Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Padang, 25175, Indonesia

³ Program Studi Teknik Pembuatan Benang, Akademi Komunitas Industri Tekstil dan Produk Tekstil Surakarta, Kota Surakarta, 57126, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: November 27, 2023

Revised: December 28, 2023

Available online: December 30, 2023

KEYWORDS

Antibacterial, Copper, Gambir Extract, Nanoparticles, Precursor Anions

CORRESPONDENCE

Name: Netri Elisma

E-mail: elismanetri@gmail.com

A B S T R A C T

Research on synthesis copper nanoparticles has been carried out by the reduction method with a green synthesis approach using extracts of gambir leaves (*Uncaria gambir* Roxb). Gambir leaf extract contains polyphenol compounds uses as a natural reducing agent to reduce copper cation from variations of prekursor ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ and $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). The formation of copper nanoparticles (CuNP) colloid is visually shown by color change from light brown to dark brown. Absorption peak in UV-Vis spectrophotometer analysis at 405 -427 nm which is a specific wavelength of copper nanoparticles base on phenomenon of Surface Plasmon Resonance (SPR). The X-Ray Diffraction (XRD) analysis showed formation of CuNP with a face centered cubic (fcc) crystal structure. The result of Transmission Electron Microscope show the synthesized CuNP was spherical with particle size diameter 15nm for CuSO_4 prekursor, 25 nm for $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ prekursor and 28 nm for CuCl_2 prekursor. The size of nanoparticles influenced of type prekursor anions. The antibacterial activity of the synthesized nanoparticles was also tested using pathogenic bacteria *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. The results showed that copper nanoparticles were promising antibacterial agents. Antibacterial activity test on copper nanoparticles were found to have higher antibacterial activity against Gram positive bacteria *S. aureus* than Gram negatif *E. coli*.

PENDAHULUAN

Dewasa ini, nanoteknologi menjadi bidang keilmuan yang berkembang pesat terutama pada sintesis dan pengendalian material pada skala nano dengan ukuran partikel 1-100 nm. Partikel pada skala ini menunjukkan sifat dan perilaku yang unik, memiliki sejumlah sifat kimia dan fisika yang lebih unggul dibandingkan dengan material berukuran besar (*bulk*) [1]. Keutamaan yang membuat nanopartikel berbeda dengan material sejenis dalam ukuran besar adalah ukurannya yang sangat kecil dan memiliki nilai perbandingan antara luas permukaan dan volume yang lebih besar, sehingga membuat nanopartikel bersifat lebih reaktif [2].

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk sintesis nanopartikel logam antara lain metode elektrokimia, presipitasi, sol-gel, hidrotermal, dan reduksi kimia [3]. Salah satu metode yang paling sederhana yang mudah diterapkan adalah reduksi kimia, namun metode ini umumnya menggunakan senyawa kimia yang berbahaya sebagai reduktor logamnya sehingga memberikan dampak negatif bagi kesehatan dan lingkungan. Oleh sebab itu, perlu dikembangkan metode sintesis reduksi kimia yang lebih ramah lingkungan yang disebut metode *green synthesis* [4]. Pada metode ini, reduktor yang digunakan adalah tumbuhan yang memiliki sifat tidak toksik, aman dan mudah didapat. Selain itu metode ini memerlukan waktu kontak yang relatif pendek dibandingkan dengan metode yang lain, mengurangi dampak penggunaan bahan kimia pada

pengguna dan menurunkan tingkat pencemaran lingkungan akibat pembuangan zat yang berbahaya [5].

Pemanfaatan tumbuhan pada biosintesis nanopartikel berkaitan dengan kandungan senyawa metabolit sekunder berupa senyawa polifenol [6]. Tumbuhan dengan kandungan polifenol mampu mengurangi penggunaan bahan-bahan kimia yang berbahaya termasuk limbah yang dihasilkan.

Beberapa jenis tumbuhan yang telah digunakan sebagai pereduksi antara lain *Papaver somniferum*, *Ferula galbaniflua Boiss*, *Ferula asa-foetida* dan *Hyoscyamus niger* yang mengandung senyawa kimia tertentu yang dapat berperan sebagai agen pereduksi [7]. Tumbuhan dengan kandungan polifenol mampu mengurangi penggunaan bahan-bahan kimia yang berbahaya termasuk limbah yang dihasilkan. Pada penelitian ini dilakukan sintesis nanopartikel tembaga dengan menggunakan reduktor dari ekstrak daun *Uncaria gambir Roxb (UgR)*. Indonesia merupakan salah satu negara penghasil gambir terbesar dengan kapasitas produksi sebesar 108,5 ribu ton/tahun [8]. *Uncaria Gambir Roxb* atau yang lebih dikenal dengan istilah gambir, merupakan salah satu tanaman yang memiliki khasiat sebagai obat tradisional dikarenakan kandungan polifenol yang berperan sebagai antioksidan alami, terutama katekin (7-33%), asam kateku tanat (20-50%), pirokatekol (20-30%) kateku merah, kuersetin, *fixed oil*, lilin dan alkaloid masing-masing berkisar antara 2-3% [9]. Senyawa-senyawa tersebut memiliki kemampuan sebagai agen pereduksi ion logam yang baik pada proses biosintesis.

Penggunaan gambir sebagai reduktor alami telah pernah dilakukan di antaranya pada studi sintesis nanopartikel perak dan emas menggunakan trietanolamin sebagai *capping agent* yang menghasilkan nanopartikel perak ukuran 2-18 nm [10] dan nanopartikel emas dengan ukuran 11-62 nm [11].

Pemilihan tembaga sebagai logam prekursor dikarenakan sifatnya yang stabil, penghantar panas yang baik, memiliki rasio luas permukaan dan volume yang tinggi, mudah dan murah didapatkan. Selain itu, nanopartikel tembaga juga memberikan efek yang sangat baik sebagai antibakteri [12].

Metode sintesis yang tepat akan menghasilkan nanopartikel dengan ukuran kecil. Semakin kecil ukuran nanopartikel semakin besar efek antibakterinya. Jika ukuran partikel semakin kecil, luas permukaan semakin besar, sehingga meningkatkan kontak nanopartikel dengan sel bakteri atau jamur, dan mampu meningkatkan efektivitas bakterisida dan fungisida. Mekanisme reaksi antara nanopartikel tembaga dengan

sel bakteri dan jamur dapat dipahami melalui peranan nanopartikel tembaga yang berfungsi dalam mempengaruhi metabolisme sel dan menghambat pertumbuhan sel [13]. Nanopartikel tembaga melakukan penetrasi ke dalam membran sel melalui dinding kemudian menghambat sintesis protein selanjutnya sehingga terjadi penurunan permeabilitas membran dan pada akhirnya menyebabkan kematian sel [14].

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari variasi prekursor terhadap morfologi dan kestabilan nanopartikel tembaga dan aktivitas antibakteri nanopartikel terhadap bakteri. Kombinasi antara nanopartikel tembaga yang memiliki sifat antimikroba dengan ekstrak daun gambir diharapkan dapat menciptakan suatu inovasi terbaru di bidang tekstil berupa peningkatan kemampuan fungsi tekstil sebagai penghambat pertumbuhan bakteri pada kain.

METODOLOGI

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah timbangan analitik, alat-alat gelas laboratorium, *mortal grinding*, pengaduk magnetic, sentrifugasi, oven, lemari pendingin, *hot plate*, *crusina*, furnace, spektrofotometer UV-Vis (Agilent Cary 60) dan spektrofotometer UV-Vis (Analytik Jena Specord 200), spektrometer XRD (Shimadzu XRD-7000S), X-Ray (Diffraction Rigaku Ultima IV), TEM (Jeol JEM-2100) dan spektrofotometer FT-IR (JEOL JSM 6950).

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah daun gambir segar (*UgR*) yang diambil dari Kebun Percobaan Universitas Andalas, akuades, padatan/bubuk $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (p.a Merck), padatan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (p.a Merck), padatan $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (p.a Merck), akuades, etanol, biakan Bakteri *E. coli* dan *S. Aureus*, media MSA (*Manitol Salt Agar*), media NA (*Nutrient Agar*), kapas, kertas saring whatman No 41 dan aluminium foil.

Preparasi Ekstrak Daun Gambir

Daun gambir dipetik dalam keadaan segar, kemudian dicuci bersih dari debu atau kotoran yang menempel. Selanjutnya dikering anginkan pada suhu ruang yang terlindung dari sinar matahari langsung selama 4-5 hari. Daun gambir yang telah kering dibersihkan dari pengotor yang masih ada dan selanjutnya dihaluskan menggunakan *grinder*. Serbuk daun gambir halus yang didapatkan disimpan dalam wadah yang bersih dan terlindung dari cahaya matahari langsung untuk mencegah terjadinya kerusakan dan penurunan mutu.

Sebanyak 10 gr daun gambir yang telah dihaluskan

selanjutnya dilarutkan dengan 100 mL akuades. Dipanaskan di *hot plate* pada suhu 70-80°C sambil diaduk selama 2-3 jam. Ekstrak yang didapat disaring dan ampasnya dibuang. Filtrat disimpan pada suhu 4°C.

Sintesis Koloid Nanopartikel Tembaga

Sintesis Cu^{2+} menjadi Cu^0 dilakukan menggunakan metode reduksi kimia dengan cara mencampurkan ekstrak daun gambir dengan masing-masing larutan prekursor menggunakan perbandingan 5:7. Konsentrasi larutan prekursor yang digunakan adalah 0,001 M (sama untuk semua prekursor). Campuran diaduk pada suhu ruang dengan kecepatan pengadukan 200 rpm. Selanjutnya sampel diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 200-700 nm.

Karakterisasi Nanopartikel Tembaga

Analisis Spektroskopi UV-Vis

Untuk mengetahui terjadinya pembentukan koloid nanopartikel tembaga serta menentukan kestabilan koloid yang terbentuk dilakukan analisis spektrofotometer UV-Vis (Agilent Cary 60) pada panjang gelombang 200 s.d 700 nm. Larutan induk Cu yang telah direduksi, diambil sebanyak 1 mL dan dimasukkan ke dalam kuvet kemudian diencerkan dengan akuades sebanyak 10 mL, selanjutnya diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis.

Analisis XRD Nanopartikel Tembaga

Analisis struktur nanopartikel tembaga dilakukan dengan spektrometer XRD (Shimadzu XRD-7000S X-Ray Diffractometer) di laboratorium Universitas Negeri Padang dan LIPI Serpong. Sampel yang digunakan dalam bentuk powder/bubuk hasil pembentukan nanopartikel tembaga. Analisis XRD bertujuan untuk mengetahui kristalinitas dan ukuran kristal dari sampel yang didapatkan.

Analisis Transmission Electron Microscopy (TEM)

Analisis TEM dilakukan untuk mengetahui morfologi nanopartikel berupa bentuk dan ukuran nanopartikel tembaga yang didapatkan dengan menggunakan alat TEM (JEOL-4000 TEM) di Universitas Gajah Mada, Yogyakarta. Sampel yang diukur adalah powder/bubuk dari tembaga nanopartikel yang dihasilkan.

Uji Aktivitas Antibakteri

Uji antibakteri dilakukan di Laboratorium Biota Sumatera (LBS) dan Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Andalas. Untuk uji antibakteri digunakan 2 jenis bakteri, bakteri gram positif dan gram negatif yaitu *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus* dengan kontrol positif Amoxicilin dan kontrol negatif akuades. Metode yang

digunakan dalam uji antibakteri ini adalah metode difusi cakram.

Uji antibakteri *Escherichia coli* (Gram Negatif)

Biakan *Escherichia Coli* dibuat dengan menimbang sebanyak 2 gr media NA kemudian dilarutkan dalam 100 mL aquades. Campuran diaduk sambil dipanaskan sampai terjadi perubahan warna kuning menjadi bening. Selanjutnya kultur biakan diambil dengan menggunakan jarum ose (10^4 - 10^6 sel/mL) dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang sudah berisi akuades, kemudian dikocok sampai keruh. Larutan kultur dituang ke dalam cawan petri yang telah berisi media NA. Selanjutnya diinkubasi selama 24 jam pada suhu ruang.

Untuk uji aktivitas antibakteri, cawan petri yang telah berisi media NA dibagi menjadi 9 bagian. Bagian pertama dibuat sumur dengan diameter 4 mm, kemudian masukkan kedalamnya akuades sebagai kontrol negatif. Bagian kedua totolkan dengan ekstrak gambir, bagian ketiga, keempat dan kelima dengan koloid nanopartikel tembaga (CuSO_4 , $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, CuCl_2) bagian keenam, ketujuh dan kedelapan dengan larutan prekursor dan bagian kesembilan dengan antibiotik amoxicilin sebagai kontrol positif. Inkubasi selama 24 jam pada suhu ruang.

Uji Antibakteri *Staphylococcus aureus* (Gram Positif)

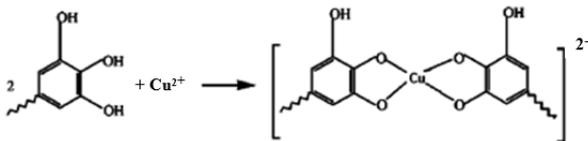
Biakan *Staphylococcus aureus* dibuat dengan menimbang 2 gr media MSA kemudian larutkan dalam 100 mL akuades. Campuran diaduk sambil dipanaskan sampai terjadi perubahan warna. Kultur biakan diambil dengan menggunakan jarum ose (10^4 - 10^6 sel/mL) dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang sudah berisi akuades, kemudian dikocok sampai keruh. Larutan kultur dituang ke dalam cawan petri yang telah berisi media MSA. Selanjutnya diinkubasi selama 24 jam pada suhu ruang.

Untuk uji aktivitas antibakteri, cawan petri yang telah berisi media MSA, dibagi menjadi 9 bagian. Bagian pertama dibuat lubang dengan diameter 4 mm, kemudian masukkan kedalamnya akuades sebagai kontrol negatif. Bagian kedua totolkan dengan ekstrak gambir, bagian ketiga, keempat dan kelima dengan koloid nanopartikel tembaga setiap prekursor (CuSO_4 , $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, CuCl_2) bagian keenam, ketujuh dan kedelapan dengan larutan prekursor dan bagian kesembilan dengan antibiotik amoxicilin sebagai kontrol positif. Inkubasi selama 24 jam pada suhu ruang. Setelah inkubasi ukur Zona Inhibisi atau zona hambat yang terbentuk dalam satuan mm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Nanopartikel Tembaga

Terbentuknya nanopartikel tembaga ditandai dengan adanya perubahan warna campuran larutan masing-masing prekursor CuSO_4 , $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, dan CuCl_2 dengan ekstrak gambir (Gambar 2). Perubahan warna larutan dari coklat muda menjadi coklat tua untuk ketiga jenis prekursor. Fenomena ini terjadi karena adanya *Surface Plasmon Resonance* (SPR) dan reduksi dari ion tembaga Cu^{2+} menjadi Cu^0 [15]. Pada kondisi ini ion Cu^{2+} relatif banyak membutuhkan donor. Ligan pada senyawa polifenol mulai berkurang sehingga ligan cenderung terionisasi melepas ion H^+ . Muatan ligan pada senyawa polifenol menjadi negatif sehingga terjadi interaksi elektrostatik antara ligan dengan ion Cu^{2+} . Kemungkinan interaksi yang terjadi pada adsorpsi ion Cu^{2+} adalah interaksi penukaran ion dan interaksi pembentukan senyawa kompleks. Prediksi geometri senyawa kompleks ion Cu^{2+} dengan senyawa polifenol yaitu $[\text{Cu}(\text{polifenol})_2]$ yang mempunyai struktur tetrahedral [16].



Gambar 1. Struktur Kompleks $[\text{Cu}(\text{polifenol})_2]$

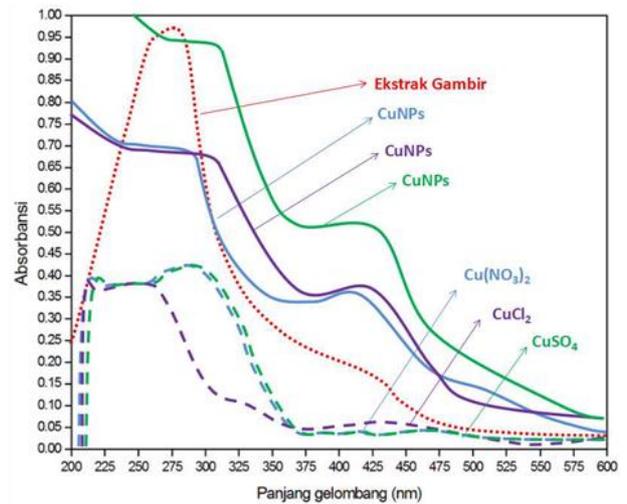


Gambar 2. Perubahan Warna NpCu dengan waktu reaksi a) 0 hari b) 14 hari

Hasil Karakterisasi Spektrofotometri UV-Vis NpCu

Analisis spektrofotometri UV-Vis dilakukan untuk memberikan informasi pembentukan nanopartikel tembaga berdasarkan fenomena *Surface Plasmon Resonansi* (SPR). Spektrum UV-Vis sampel nanopartikel tembaga diukur pada setiap variasi prekursor yang digunakan. Mekanisme reduksi oleh kandungan senyawa dalam ekstrak daun gambir terhadap garam logam dapat dijelaskan dalam beberapa tahap. Fase pertama adalah fase dimana terjadi reduksi

ion logam dan nukleasi dari atom logam yang telah tereduksi, dilanjutkan dengan koalisi spontan dari sejumlah nanopartikel yang berdekatan membentuk partikel dengan ukuran yang lebih besar, seiring dengan peningkatan stabilitas termodinamik dari nanopartikel [17]. Gambar 3 berikut memperlihatkan perbandingan spektrum UV-Vis larutan prekursor dengan nanopartikel tembaga (NpCu) yang dihasilkan. Puncak serapan CuCl_2 berada pada 265 nm, sedangkan pada prekursor CuSO_4 dan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ puncak serapan terbentuk pada 298 nm.

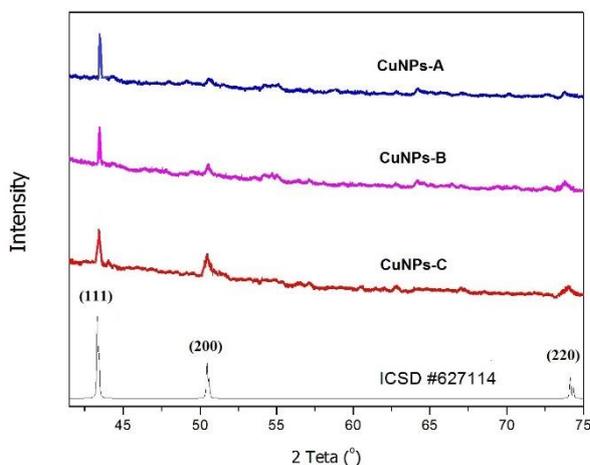


Gambar 3. Perbandingan Spektrum UV-Vis NpCu, Ekstrak Gambir dengan Larutan Prekursor a) CuSO_4 , b) $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, dan c) CuCl_2

Pada Gambar 3 terlihat adanya pergeseran panjang gelombang Cu ke arah panjang gelombang yang lebih besar (*red shift*) dari panjang gelombang 265 bergeser menjadi 405-450 nm setelah mengalami reduksi oleh ekstrak daun *Uncaria gambir Roxb.* Panjang gelombang 405-450 nm merupakan panjang gelombang spesifik NpCu. Disamping itu, terjadinya pergeseran puncak menunjukkan ekstrak daun gambir dapat berperan sebagai pereduksi dan *capping agent* pada proses sintesis nanopartikel tembaga [18]. Perbedaan absorbansi pada ketiga prekursor selain dipengaruhi oleh afinitas anion, juga dipengaruhi oleh kapasitas adsorpsi anion pada senyawa polifenol yang terkandung dalam ekstrak daun gambir. Kapasitas adsorpsi anion pada senyawa polifenol adalah $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$. Hal ini disebabkan oleh perbedaan valensi anion SO_4^{2-} lebih besar dari Cl^- dan NO_3^- [19]. Besarnya nilai kapasitas adsorpsi anion SO_4^{2-} pada senyawa polifenol menandakan lebih banyaknya senyawa CuSO_4 yang terikat membentuk senyawa kompleks dengan polifenol yang terdapat dalam daun gambir. Hasil ini berbanding lurus dengan jumlah tembaga yang dapat direduksi dibandingkan dengan senyawa CuCl_2 dan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$.

Hasil Karakterisasi XRD NpCu

Analisis spektroskopi XRD dilakukan untuk mempelajari kristalinitas dari NpCu hasil sintesis dengan ekstrak daun gambir. Pada analisis ini, sampel yang diuji adalah NpCu dari tiga prekursor CuSO_4 , CuNO_3 dan CuCl_2 . Gambar 3 menunjukkan pola difraksi dari sampel NpCu dimana terbentuk 4 puncak yang tajam pada daerah $2\theta = 43,3^\circ$, $50,4^\circ$ dan $74,5^\circ$ yang masing – masing terindeks pada bidang (111), (200), (220) [20]. Puncak-puncak tersebut sesuai dengan puncak difraksi yang spesifik dari tembaga dengan struktur *face centered cubic* (FCC) berdasarkan standar ICSD # 627114. Puncak utama terbentuk pada daerah $2\theta = 43,3^\circ$, dengan FWHM 0,472 lebih besar pada senyawa CuSO_4 . Nilai FWHM berpengaruh pada ukuran kristal yang terbentuk. Hasil yang diperoleh untuk ketiga bidang kristal tersebut dapat kita lihat pada Gambar 4



Gambar 4. Spektrum XRD NpCu dari A) NpCu dari CuCl_2 , b) NpCu dari $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, dan c) NpCu dari CuSO_4

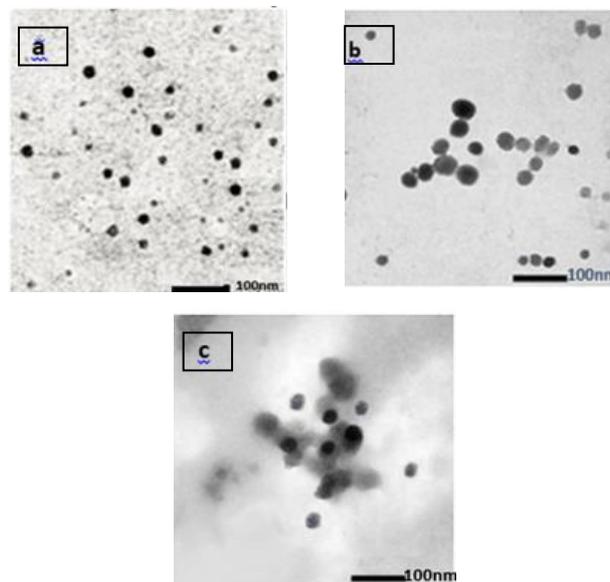
Berdasarkan persamaan *Debye-Scherrer* ukuran NpCu dari garam prekursor CuSO_4 adalah 18 nm, lebih kecil jika dibandingkan dengan prekursor lainnya yaitu $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ dan CuCl_2 dengan ukuran kristal NpCu 28 nm. Dari hasil analisis 3 kurva puncak difraksi tertinggi, terlihat bahwa nilai FWHM berbanding terbalik dengan besar ukuran kristal. Semakin besar FWHM maka nilai ukuran kristal yang terbentuk akan semakin kecil, begitu pula sebaliknya. Data ini mengkonfirmasi hasil analisis spektrofotometer UV-Vis mengenai pembentukan nanopartikel tembaga serta memiliki kristalinitas yang tinggi yang ditandai dengan puncak yang tajam dan tidak terbentuknya puncak dari fase lain. Hasil ini jelas mengisyaratkan bahwa ekstrak daun *Uncaria gambir Roxb.* berhasil mereduksi Cu^{2+} menjadi Cu^0 dan memediasi pembentukan NpCu. Fenomena serupa dilaporkan oleh Minakshi pada CuNPs yang disintesis menggunakan ekstrak daun *Cissus vitiginea* [21].

Tabel 1. Ukuran Nanopartikel dari Berbagai Prekursor Tembaga Berdasarkan Perhitungan Persamaan *Debye-Scherrer*

No	Prekursor	2θ	FWHM	Ukuran Kristal NpCu (nm)
1	CuSO_4	44,60	0,472	18,1
2	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	42,54	0,309	27,7
3	CuCl_2	44,28	0,307	27,9

Hasil Karakterisasi TEM NpCu

Analisis TEM nanopartikel tembaga dilakukan untuk mempelajari morfologi, bentuk, dan ukuran nanopartikel tembaga yang disintesis. Dengan data ukuran nanopartikel, dapat diketahui peran senyawa ekstrak sebagai *pereduksi* dan mengontrol pertumbuhan nanopartikel tembaga. Sampel yang diuji TEM adalah sampel koloid nanopartikel tembaga yang disintesis dengan perbandingan volume prekursor: ekstrak adalah 25 mL:35 mL (5:7). Analisis dilakukan 2 minggu setelah reaksi antara prekursor dan ekstrak daun gambir atau waktu reaksi maksimal yang diperlukan untuk sintesis NpCu. Morfologi nanopartikel tembaga hasil sintesis ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan hasil pengukuran dengan *image J* software diperoleh NPCu dari prekursor CuSO_4 berbentuk bulat dan terdistribusi secara monodispersi dengan ukuran yang hampir seragam pada setiap bagian.

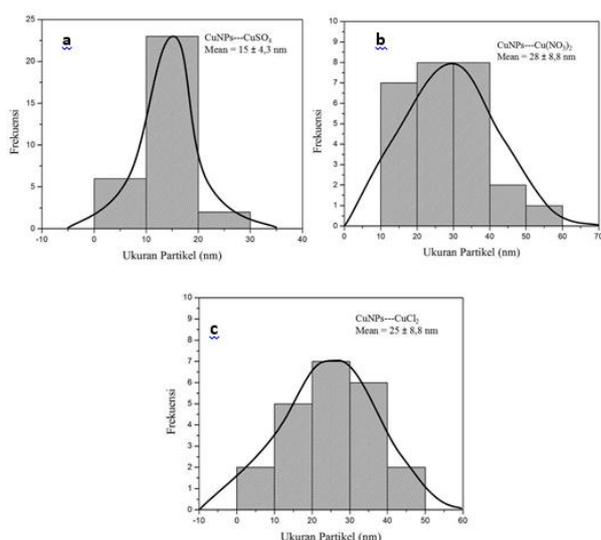


Gambar 5. TEM NpCu a) Prekursor CuSO_4 , b) Prekursor $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, dan c) Prekursor CuCl_2

Pada prekursor $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ menunjukkan bentuk partikel yang bulat, tetapi distribusi ukuran dan diameter partikel masih kurang homogen. Sedangkan NpCu dari prekursor CuCl_2 menunjukkan distribusi partikel yang tidak merata. Hal ini berhubungan dengan kelarutan anion prekursor yang digunakan. Urutan kepolaran anion adalah $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$. Pulimi [22]

melaporkan hasil penelitian yang dilakukannya anion sangat berpengaruh terhadap agregasi nanopartikel yang disintesis. Jika anion memiliki polaritas yang rendah, pembentukan koloid cenderung memicu terjadinya aglomerasi atau penumpukan endapan. Sebaliknya anion dengan polaritas dan kelarutan yang tinggi akan memudahkan anion teradsorpsi pada gugus fungsi partikel.

Berdasarkan histogram distribusi ukuran partikel (Gambar 6), hasil NpCu yang paling baik diperoleh dari prekursor CuSO_4 karena ukuran partikel rata-rata yang diperoleh lebih kecil yaitu sebesar 15 nm dan terdispersi dengan baik. NpCu dari prekursor $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ diperoleh ukuran partikel 28 nm dan NpCu dari prekursor CuCl_2 menunjukkan diameter 25 nm. Faktor lain yang menyebabkan ukuran dan kestabilan yang berbeda dari NpCu yang dihasilkan adalah nilai volume molar parsial anion. Volume molar parsial anion yang tinggi menunjukkan besarnya gaya-gaya yang bekerja antar molekul. Urutan nilai volume molar parsial anion $\text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$.



Gambar 6. Histogram distribusi ukuran partikel semua sampel koloid nanopartikel tembaga dengan variasi prekursor a). CuSO_4 , b) $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, dan c) CuCl_2

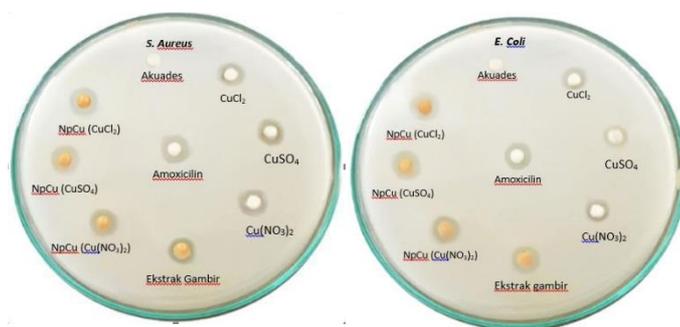
Hasil Uji Aktivitas Antibakteri NpCu

Uji antibakteri dilakukan untuk menentukan aktivitas antimikroba dari koloid nanopartikel tembaga. Pada penelitian ini, digunakan bakteri uji berupa bakteri *S. aureus* (gram positif) dan *E. coli* (bakteri gram negatif) untuk mengetahui bagaimana efek dari produk nanopartikel tembaga terhadap bakteri dengan perbedaan ketebalan dan komponen dinding sel kedua jenis bakteri. Kontrol positif yang digunakan adalah amoxicilin dan kontrol negatif akuades.

Pertumbuhan bakteri tergantung pada sifat bakteri uji, konsentrasi dan lamanya waktu kontak. Zona hambat

nanopartikel tembaga yang diperoleh berbeda-beda terhadap bakteri *S. aureus* dan bakteri *E. coli*. Dari gambar terlihat bahwa secara umum semua sampel koloid nanopartikel tembaga memberikan efek inhibisi terhadap pertumbuhan bakteri melalui pembentukan zona bening pada media yang mengandung bakteri *S. aureus* dan *E. coli*.

Pada Gambar 7 terbentuknya zona inhibisi/ hambat NpCu dari berbagai prekursor terhadap bakteri gram positif *S. Aureus* dan gram negatif *E. coli* menggunakan metode difusi cakram. Hasil menunjukkan terjadi peningkatan daya inhibisi dari NpCu yang diaplikasikan pada kultur biakan NA dan MSA. Kemampuan inhibisi NpCu menggunakan metode cakram dengan bakteri gram positif dan gram negatif dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 7. Hasil uji aktivitas antibakteri NpCu a). *S. Aureus* dan b). *E. coli*

Tabel 2 memberikan informasi kemampuan NpCu dalam menghambat pertumbuhan bakteri. Zona inhibisi NpCu terhadap bakteri gram positif lebih kuat dibanding dengan bakteri gram negatif. Zona inhibisi NpCu pada bakteri *E. coli* adalah 10 s.d 13 mm, sedangkan bakteri *S. Aureus* berkisar antara 12 s.d 15 mm. Zona hambat terbesar ditunjukkan oleh NpCu dari prekursor CuSO_4 sebesar 15,3 mm. Ini disebabkan oleh NpCu dari prekursor CuSO_4 memiliki ukuran paling kecil dibandingkan dengan kedua prekursor lainnya serta luas permukaan yang tinggi. Faktor lain yang mempengaruhi aktifitas antimikroba nanopartikel adalah kepolaran anion dari masing-masing prekursor dimana $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ [23]. Aliyu [24] melaporkan bahwa suatu senyawa yang mempunyai polaritas yang optimum akan mempunyai aktivitas antimikroba maksimum, karena untuk interaksi suatu senyawa antibakteri dengan bakteri diperlukan keseimbangan *hidrofobik-lipofilik* atau *hydrophilic lipophilic balance* (HLB). Sifat hidrofilik diperlukan untuk menjamin senyawa antimikroba larut dalam fase air yang merupakan tempat hidup mikroba, tetapi senyawa yang bekerja pada membran sel hidrofobik memerlukan pula sifat lipofilik sehingga diperlukan keseimbangan hidrofilik lipofilik untuk mencapai aktivitas yang optimal [25].

Tabel 2. Zona Inhibisi NpCu pada bakteri *S. aureus* dan *E. coli*

No	Sampel Uji	Diameter Zona Inhibisi (mm)	
		<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>
1	Kontrol Positif	15,2	13,3
2	Kontrol Negatif	0	0
3	Ekstrak gambir	10,2	10,7
4	CuSO ₄	8,4	7,8
5	Cu(NO ₃) ₂	8,7	7,3
6	CuCl ₂	8,1	8,2
7	NpCu (Prekursor CuSO ₄)	15,3	13,1
8	NpCu (Prekursor Cu(NO ₃) ₂)	12,3	10,4
9	NpCu (Prekursor CuCl ₂)	13,3	11,8

Dari ketiga jenis NpCu yang diuji menunjukkan aksi inhibisi yang lebih kuat pada bakteri gram positif dibandingkan bakteri gram negatif. Jika dikaitkan dengan ketentuan kriteria aktivitas daya hambat zona hambat yang terbentuk ≥ 20 mm dianggap memiliki aktivitas daya hambat sangat kuat, 10-20 mm dinyatakan memiliki aktivitas daya hambat kuat, 5-10 mm dinyatakan memiliki aktivitas daya hambat sedang dan ≤ 5 mm dinyatakan memiliki aktivitas daya hambat lemah [26].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil karakterisasi yang dilakukan didapat bahwa sintesis nanopartikel tembaga menggunakan ekstrak daun gambir sebagai reduktor memberikan hasil yang lebih baik dengan prekursor CuSO₄ karena memiliki kestabilan dan ukuran partikel yang lebih kecil dan rasio luas permukaan dan volume yang tinggi. Hasil uji aktivitas antibakteri terhadap bakteri *S. aureus* dan *E. coli*, sampel koloid NpCu dari ketiga prekursor terbukti dapat menghambat pertumbuhan bakteri secara kuat, baik bakteri gram positif maupun bakteri gram negatif. Zona inhibisi yang terbentuk selama observasi 24 jam menunjukkan hasil yang cukup besar terutama pada prekursor CuSO₄.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Gurung *et al.*, "Optical Detection of the Viruses by Gold Nanoparticles (AuNPs)," *J. Nanomater.*, vol. 2023, pp. 1–10, 2023, doi: 10.1155/2023/8091118.
- [2] I. Khan, K. Saeed, and I. Khan, "Nanoparticles: Properties, applications and toxicities," *Arab. J. Chem.*, vol. 12, no. 7, pp. 908–931, 2019, doi: 10.1016/j.arabjc.2017.05.011.
- [3] N. Elisma, A. Labanni, Emriadi, Y. Rilda, M. Asrofi, and S. Arief, "Green synthesis of copper nanoparticles using Uncaria gambir roxb. Leaf extract and its characterization," *Rasayan J. Chem.*, vol. 12, no. 4, pp. 1752–1756, 2019, doi: 10.31788/RJC.2019.1245347.
- [4] P. Szczyglewska, A. Feliczyk-Guzik, and I. Nowak, "Nanotechnology—General Aspects: A Chemical Reduction Approach to the Synthesis of Nanoparticles," *Molecules*, vol. 28, no. 13, 2023, doi: 10.3390/molecules28134932.
- [5] A. Antonio-Pérez, L. F. Durán-Armenta, M. G. Pérez-Loredo, and A. L. Torres-Huerta, "Biosynthesis of Copper Nanoparticles with Medicinal Plants Extracts: From Extraction Methods to Applications," *Micromachines*, vol. 14, no. 10, pp. 1–32, 2023, doi: 10.3390/mi14101882.
- [6] S. C. Mali, A. Dhaka, C. K. Githala, and R. Trivedi, "Green synthesis of copper nanoparticles using *Celastrus paniculatus* Willd. leaf extract and their photocatalytic and antifungal properties," *Biotechnol. Reports*, vol. 27, 2020, doi: 10.1016/j.btre.2020.e00518.
- [7] S. Jadoun, S. Chinnam, and N. P. S. Chauhan, "Biosynthesis of nanoparticles using plant extract," *Nanotechnol. Herb. Med. Appl. Innov.*, pp. 101–117, 2023, doi: 10.1016/B978-0-323-99527-6.00006-9.
- [8] A. L. Apriliana, A. Kusnanda Nurisma, M. Ryan Maulana, and S. Fatimah Azzahra, "Potensi katekin daun gambir (*Uncaria gambier roxb.*) sebagai agen pembekuan darah pasca ekstraksi gigi," *J. Kedokt. Gigi Univ. Padjadjaran*, vol. 34, no. 3, pp. 194–201, 2022, doi: 10.24198/jkg.v34i3.34457.
- [9] L. Hartanti, A. M. Ashari, and W. Warsidah, "Total Phenol and Antioxidant Activity of Ethanol Extract and Water Extract from Claw *Uncariaa gambir Roxb.*," *Berk. Sainstek*, vol. 9, no. 3, p. 131, 2021, doi: 10.19184/bst.v9i3.27179.
- [10] I. Processed, W. Traditional, T. Anggraini, and A. Asben, "Uncaria gambir Roxb. mediated synthesis of stable silver nanoparticles in the presence of triethanolamine as the capping agent Uncaria gambir Roxb. mediated synthesis of stable silver nanoparticles in the presence of triethanolamine as the capping agent," 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1201/1/012085.
- [11] S. Arief, F. W. Nasution, Zulhadjri, and A. Labanni, "High antibacterial properties of green synthesized gold nanoparticles using Uncaria gambir Roxb. leaf extract and triethanolamine," *J. Appl. Pharm. Sci.*, vol. 10, no. 8, pp. 124–130, 2020, doi: 10.7324/JAPS.2020.10814.
- [12] S. C. Mali, A. Dhaka, C. K. Githala, and R. Trivedi, "Green synthesis of copper nanoparticles using *Celastrus paniculatus* Willd. leaf extract and their photocatalytic and antifungal properties," *Biotechnol. Reports*, vol. 27, p. e00518, 2020, doi: 10.1016/j.btre.2020.e00518.

- 10.1016/j.btre.2020.e00518.
- [13] H. Qamar, S. Rehman, D. K. Chauhan, A. K. Tiwari, and V. Upmanyu, "Green Synthesis , Characterization and Antimicrobial Activity of Copper Oxide Nanomaterial Derived from Momordica charantia," pp. 2541–2553, 2020.
- [14] M. L. Ermini and V. Voliani, "Antimicrobial Nano-Agents: The Copper Age," 2021, doi: 10.1021/acsnano.0c10756.
- [15] N. B. Lantican *et al.*, "Journal of Science : Advanced Materials and Devices Effects of reaction temperatures and reactant concentrations on the antimicrobial characteristics of copper precipitates synthesized using L-ascorbic acid as reducing agent," vol. 4, pp. 66–71, 2019, doi: 10.1016/j.jsamd.2018.12.009.
- [16] N. V. Sari, E. B. Susatyo, and F. W. Mahatmanti, "Pengaruh pH terhadap Adsorpsi Ion Cu²⁺ oleh Polifenol Kluwak (Pangium edule R.) dengan Pembentukan Kompleks," *Indones. J. Chem. Sci.*, vol. 7, no. 3, pp. 221–227, 2018.
- [17] F. V. Kurniawan, A. H. Cahyana, F. V. Kurniawan, A. H. Cahyana, and R. T. Yunarti, "Synthesis of Copper (II) Oxide Nanoparticles using Vitis vinifera L . Leaf Ex-tract and its Application as a Catalyst in Doebner Reaction Synthesis of Copper (II) Oxide Nanoparticles using Vitis vinifera L . Leaf Extract and its Application as a Catal," vol. 27, no. 3, 2023, doi: 10.7454/mss.v27i3.1442.
- [18] M. K. Ghosh, S. Sahu, I. Gupta, and T. K. Ghorai, "Green synthesis of copper nanoparticles from an extract of *Jatropha curcas* leaves: characterization, optical properties, CT-DNA binding and photocatalytic activity," *RSC Adv.*, vol. 10, no. 37, pp. 22027–22035, Jun. 2020, doi: 10.1039/d0ra03186k.
- [19] N. S. Sanjini, B. Winston, and S. Velmathi, "Effect of precursors on the synthesis of CuO nanoparticles under microwave for photocatalytic activity towards methylene blue and rhodamine B dyes," *J. Nanosci. Nanotechnol.*, vol. 17, no. 1, pp. 495–501, 2017, doi: 10.1166/jnn.2017.11785.
- [20] T. Ahmad, "Ascorbic acid assisted synthesis, characterization and catalytic application of copper nanoparticles," *Mater. Sci. Eng. Int. J.*, vol. 2, no. 4, 2018, doi: 10.15406/msej.2018.02.00040.
- [21] M. A. Thakar, S. Saurabh Jha, K. Phasinam, R. Manne, Y. Qureshi, and V. V. Hari Babu, "X ray diffraction (XRD) analysis and evaluation of antioxidant activity of copper oxide nanoparticles synthesized from leaf extract of *Cissus vitiginea*," *Mater. Today Proc.*, vol. 51, no. xxxx, pp. 319–324, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.05.410.
- [22] V. Ranga Rao Pulimi and P. Jeevanandam, "The effect of anion on the magnetic properties of nanocrystalline NiO synthesized by homogeneous precipitation," *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 321, no. 17, pp. 2556–2562, 2009, doi: 10.1016/j.jmmm.2009.03.039.
- [23] G. Sánchez-Sanhueza, D. Fuentes-Rodríguez, and H. Bello-Toledo, "Copper Nanoparticles as Potential Antimicrobial Agent in Disinfecting Root Canals: A Systematic Review," *Int. J. Odontostomatol.*, vol. 10, no. 3, pp. 547–554, Dec. 2016, doi: 10.4067/s0718-381x2016000300024.
- [24] M. Aliyu, A. Umar, and A. Umar Birnin-Yauri, "Green synthesis of copper nanoparticles using *Musa acuminata* aqueous extract and their antibacterial activity," *Smujo.Id*, vol. 20, no. 1, pp. 10–16, 2023, doi: 10.13057/biotek/c200102.
- [25] X. Ma, S. Zhou, X. Xu, and Q. Du, "Copper-containing nanoparticles: Mechanism of antimicrobial effect and application in dentistry- a narrative review," *Front. Surg.*, vol. 9, no. August, 2022, doi: 10.3389/fsurg.2022.905892.
- [26] S. Adewale Akintelu, A. Kolawole Oyebamiji, S. Charles Olugbeko, and D. Felix Latona, "Green chemistry approach towards the synthesis of copper nanoparticles and its potential applications as therapeutic agents and environmental control," *Curr. Res. Green Sustain. Chem.*, vol. 4, no. September, pp. 1–13, 2021, doi: 10.1016/j.crgsc.2021.100176.