

## ***Green Synthesis dan Karakterisasi Nanopartikel Tembaga Oksida Dari Tembaga(II) Asetat Menggunakan Ekstrak Rimpang Kunyit (*Curcuma longa L.*)***

**Fierro Agung Saputra<sup>1</sup>, I. W. Karyasa<sup>1\*</sup>, G. A. Beni Widana<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Kimia, Jurusan Kimia, Fakultas Mipa. Universitas Pendidikan Ganesha

\*corresponding author email: [karyasa@undiksha.ac.id](mailto:karyasa@undiksha.ac.id); [fierro@undiksha.ac.id](mailto:fierro@undiksha.ac.id);  
[gedeagusbeniwidana@undiksha.ac.id](mailto:gedeagusbeniwidana@undiksha.ac.id)

---

### **Abstrak**

Nanopartikel adalah teknologi manipulasi materi pada skala atomik dan skala molekuler untuk mendapatkan sifat-sifat yang dapat dikontrol sesuai keinginan. Perkembangan metode-metode sintesis saat ini cukup beranekaragam dan hanya beberapa saja yang berhasil mendapatkan hasil optimal. Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan metode sintesis yang dapat menghasilkan nanopartikel tembaga oksida yang optimal dengan mengkondisikan pengaruh-pengaruh yang berperan dalam proses sintesis nanopartikel. Penelitian true experiment ini dilakukan di laboratorium dengan tahapan pembuatan ekstrak kunyit, pembuatan larutan prekursor dari tembaga asetat, pencampuran larutan ekstrak kunyit dan tembaga asetat, mengontrol konsentrasi, pH dan suhu pemanasan, pengadukan larutan campuran, pemisahan larutan dengan endapan, pengeringan endapan, menghitung hasil rendemen, selanjutnya dilakukan pengujian XRD, SEM-EDX, dan PSA untuk mengetahui karakteristik sampel yang telah dibuat. Pada penelitian ini membuktikan bahwa (a) nanopartikel berhasil dibuat dengan ciri-ciri dan sifat yang sesuai, (b) konsentrasi, suhu pemanasan, dan asam basa mempengaruhi hasil rendemen, morfologi, ukuran, kemurnian, dan derajat kekristalan. Dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh konsentrasi, suhu, dan pH pada green synthesis nanopartikel tembaga oksida dan kondisi optimum yang didapat berdasarkan XRD, SEM-EDX, dan PSA ada pada uji coba dua atau konsentrasi 0,1 M, suhu 60oC, dan pH 7.

**Kata kunci** : nanopartikel, metode sintesis, tembaga oksida

### **Abstract**

*Nanoparticles are a technology for manipulating matter at the atomic and molecular scale to obtain properties that can be controlled as desired. The development of synthesis methods today is quite diverse, and only a few have successfully achieved optimal results. The aim of this research is to develop a synthesis method that can produce optimal copper oxide nanoparticles by conditioning the influences that play a role in the nanoparticle synthesis process. This true experiment research was conducted in the laboratory with stages including the preparation of turmeric extract, the preparation of a precursor solution from copper acetate, mixing the turmeric extract solution and copper acetate, controlling concentration, pH, and heating temperature, stirring the mixed solution, separating the solution from the precipitate, drying the precipitate, calculating the yield, and subsequently conducting XRD, SEM-EDX, and PSA tests to determine the characteristics of the produced samples. This research proves that (a) nanoparticles were successfully created with appropriate characteristics and properties, (b) concentration, heating temperature, and acid-base affect the*

yield, morphology, size, purity, and degree of crystallinity. It can be concluded that there is an influence of concentration, temperature, and pH on the green synthesis of copper oxide nanoparticles, and the optimal conditions obtained based on XRD, SEM-EDX, and PSA are in the second trial or concentration of 0.1 M, temperature of 60°C, and pH 7.

**Keywords :** nanoparticles, synthesis method, copper oxide

---

## 1. PENDAHULUAN

Nanoteknologi adalah teknologi manipulasi materi pada skala atomik dan skala molekuler untuk mendapatkan sifat-sifat yang dapat dikontrol sesuai keinginan (Widjanarko, 2022). Salah satu dari teknologi ini adalah nanopartikel, umumnya nanopartikel menggunakan bahan logam atau oksida logam. Salah satu senyawa yang sering digunakan dalam nanoteknologi adalah nanopartikel tembaga oksida, ini adalah material yang berbasis unsur Cu dan O dengan diameter antara 1 sampai dengan 100 nm (Fazrin *et al.*, 2020). Pembuatan nanopartikel seperti tembaga oksida akan melibatkan proses sintesis. Perkembangan metode-metode sintesis saat ini cukup beranekaragam dan hanya beberapa saja yang berhasil mendapatkan hasil optimal. Maka dari itu diperlukan perkembangan metode yang dapat menghasilkan nanopartikel tembaga oksida yang optimal.

Saat ini, terdapat beberapa cara untuk membuat nanopartikel tembaga oksida yang telah banyak digunakan, agar mampu memenuhi kebutuhan bahan medis dan teknologi modern. Ada dua metode sintesis yang dikenal sebagai *top-down synthesis* dan *bottom-up synthesis* (Aminah *et al.*, 2024). *Top-down synthesis* adalah metode yang memecah partikel berukuran besar menjadi partikel berukuran nano dengan menggunakan alat-alat mekanis, termal, atau kimia, contoh alat mekanis adalah ball milling, yaitu proses penggilingan bahan padat dengan bola-bola logam yang berputar dengan kecepatan tinggi (Tripathy *et al.*, 2023). *Bottom-up synthesis* adalah metode yang membentuk partikel berukuran nano dari atom-atom, molekul-molekul, atau kluster-kluster yang disusun sedemikian rupa sehingga terbentuk struktur nano yang diinginkan, contoh *bottom-up synthesis* adalah reduksi kimia, yaitu proses mereduksi ion logam menjadi nanopartikel logam dengan menggunakan agen pereduksi kimia. *Top-down* dan *bottom-up synthesis* memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. *Top-down synthesis* dapat menghasilkan nanopartikel dengan ukuran yang seragam dan terkontrol, tetapi dapat menyebabkan kerusakan struktur dan kontaminasi pada partikel (Jia *et al.*, 2019). *Bottom-up synthesis* menggunakan bahan kimia yang mahal dan dapat menghasilkan nanopartikel dengan struktur dan komposisi yang bervariasi dan kompleks, tetapi sulit untuk menghentikan proses aglomerasi dan mengatur distribusi ukuran

partikelnya (Jia et al., 2019). *Top-down* dan *bottom-up synthesis* memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. *Top-down synthesis* dapat menghasilkan nanopartikel dengan ukuran yang seragam dan terkontrol, tetapi dapat menyebabkan kerusakan struktur dan kontaminasi pada partikel (Jia et al., 2019). *Bottom-up synthesis* menggunakan bahan kimia yang mahal dan dapat menghasilkan nanopartikel dengan struktur dan komposisi yang bervariasi dan kompleks, tetapi sulit untuk menghentikan proses aglomerasi dan mengatur distribusi ukuran partikelnya (Jia et al., 2019).

Metode *green synthesis* secara signifikan menarik karena potensinya untuk mengurangi toksisitas nanopartikel. *Green synthesis*, pendekatan *bottom-up*, mirip dengan reduksi kimia di mana zat pereduksi kimia yang mahal digantikan oleh ekstrak produk alami seperti daun pohon / tanaman atau buah-buahan untuk sintesis nanopartikel logam atau oksida logam. Keunggulan dari metode ini ada di entitas biologisnya yang memiliki potensi besar untuk produksi nanopartikel. *Green synthesis* juga mempunyai beberapa kelemahan, yakni *green synthesis* nanopartikel kesulitan dalam mengontrol ukuran dan keseragaman nanopartikel, dan kebutuhan bahan tanaman dalam jumlah besar untuk menghasilkan nanopartikel dalam jumlah kecil (Parveen et al., 2016).

Kunyit mengandung kurkumin yang biasanya berwarna kuning jingga (Yusrita et al., 2023). Keunggulan dari kurkumin yakni dapat menahan sejenis oksigen reaktif memiliki sifat anti-inflamasi karena penghambatan siklooksigenase (COX), anti inflamasi, anti kanker, anti-oksidan, penyembuhan luka dan efek anti-mikroba (Nur Anisa et al., 2020). Kandungan flavonoid lain dari kunyit yakni Demethoxycurcumin senyawa ini mirip dengan kurkumin memiliki aktivitas antioksidan dan Bisdemethoxycurcumin memiliki efek anti inflamasi (Hariadi et al., 2023).

Pada penelitian ini, nanopartikel tembaga oksida dibuat dengan mensintesis tembaga(II) asetat menggunakan ekstrak rimpang kunyit dengan mengkondisikan faktor yang mempengaruhi hasil sintesis. Faktor yang dimaksud adalah pengaruh konsentrasi prekursor, pengaruh suhu pemanasan, dan pengaruh pH dalam pembentukan nanopartikel tembaga oksida. Tujuan pengendalian faktor-faktor ini adalah mencari kondisi optimum sintesis dalam pembentukan nanopartikel, seperti rendemen, kemurnian, dan ukuran partikel.

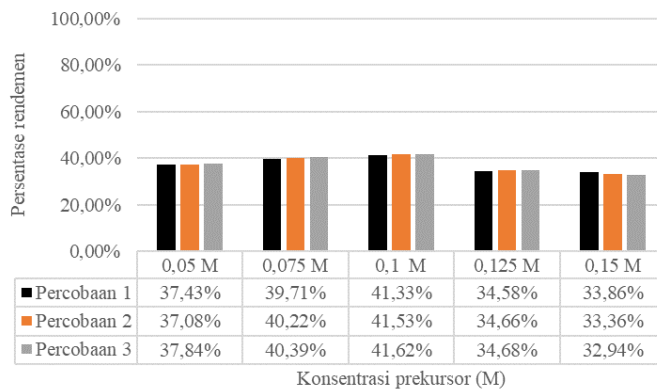
## **2. METODE**

Metode penelitian ini adalah penelitian *true experiment* yaitu penelitian yang dilakukan untuk mengetahui hubungan sebab akibat antara variabel bebas yang merupakan variabel penyebab terjadinya variabel terikat, dengan variabel terikat yang merupakan akibat karena dipengaruhi oleh variabel bebas, dan variabel kontrol yang

merupakan pengendalian atau dibuat konstan sehingga hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat tidak dipengaruhi oleh kontaminasi. Variabel bebas pada penelitian ini yakni karakterisasi nanopartikel tembaga oksida dan variabel terikat pada penelitian ini yakni pengaturan konsentrasi, suhu, dan pH. Metode yang digunakan maserasi untuk mendapatkan ekstrak yang lebih pekat dan mempercepat laju reaksi sintesis. Variasi pengaturan kondisi ada 15 dan dibagi menjadi 3 tahapan, yakni mencari konsentrasi terbaik, mencari suhu terbaik, dan mencari pH terbaik. Penelitian ini diawali dengan persiapan bahan yang akan digunakan yaitu Cu(II) Asetat dan kunyit, pembuatan ekstrak kunyit dengan menghaluskan kunyit kemudian mengeringkannya dengan oven pada suhu 80°C selama 24 jam. Serbuk kunyit kering yang sudah terbentuk diayak dan diambil bagian yang halus saja agar mengurangi endapan besar saat pelarutan, dilanjutkan dengan pencampuran serbuk kunyit halus dengan pelarut etanol 96%, kemudian dipanaskan selama 3 jam pada suhu 70°C, kemudian larutan disaring dan diambil larutannya saja. Uji coba pertama adalah melarutkan Cu(II) Asetat pada pelarut etanol 96% dengan konsentrasi 0,05 ; 0,075 ; 0,1 ; 0,125 ; 0,15 M menggunakan volume 12,5 ml (volume berlaku untuk semua uji coba), kemudian di aduk hingga homogen. Setelah Cu(II) Asetat sudah homogen ditambahkan larutan ekstrak kunyit yang sudah disaring sebanyak 25 ml (volume berlaku untuk semua uji coba), kemudian aduk dengan stirrer. Setelah itu dilakukan pengontrolan pH yang menyesuaikan literatur Akintelu (2020) ( $pH_K$ ) yakni menggunakan pH 7 sebagai standar pada uji coba variasi konsentrasi. Dilanjutkan dengan pemanasan menggunakan suhu yang menyesuaikan literatur Jayarambabu (2019) ( $T_k$ ) yakni menggunakan suhu 70°C sebagai standar pada uji coba variasi konsentrasi (C). Uji coba kedua, setelah mendapatkan konsentrasi optimum ( $C_{best}$ ), ini akan digunakan sebagai konsentrasi standar untuk mencari suhu optimum ( $T_{best}$ ) dan masih dengan pH 7 yang menyesuaikan literatur ( $pH_k$ ). Uji coba ketiga, setelah mendapatkan suhu optimum dan juga konsentrasi optimum, dilanjutkan dengan mencari pH optimum dengan menggunakan suhu dan konsentrasi optimum yang sudah didapatkan sebelumnya.

### **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

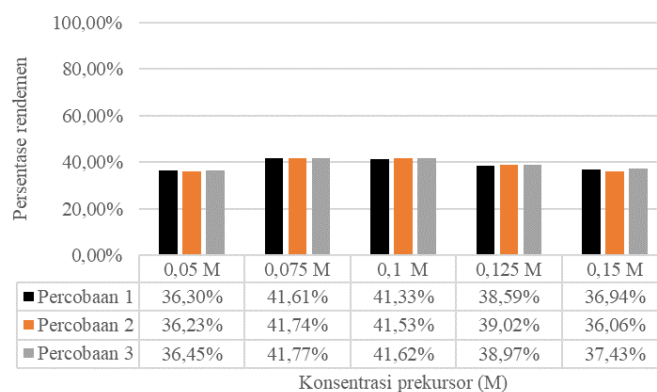
Konsentrasi prekursor dalam sintesis mempengaruhi hasil rendemen. Dimana saat reaksi berjalan terbentuk koloid yang diprediksi sebagai nanopartikel tembaga. Grafik rendemen yang diperoleh pada berbagai konsentrasi prekursor dapat dilihat pada gambar 1.



**Gambar 1.** Grafik rendemen hasil sintesis nanopartikel CuO menggunakan pengaruh konsentrasi prekursor.

Grafik hasil rendemen, menunjukkan bahwa konsentrasi optimum ada pada konsentrasi 0,1 M. Hal ini dikarenakan kadar senyawa pereduksi dan ion tembaga cukup seimbang. Alasan pada konsentrasi 0,05 – 0,075 M lebih sedikit menghasilkan rendemen diprediksi karena flavonoid yang terlalu banyak, maka akan timbul persaingan dengan OH- larutan prekursor, yang menyebabkan larutan teragregasi dan membuat suasana sintesis terganggu sebelum terbentuk nanopartikel. Pada konsentrasi yang lebih tinggi yakni 0,125 – 0,15 M membentuk rendemen yang jauh lebih sedikit, hal ini diprediksi bahwa flavonoid pada ekstrak kurang atau tidak cukup untuk mereduksi ion tembaga dan membuat sebagian prekursor tidak bereaksi.

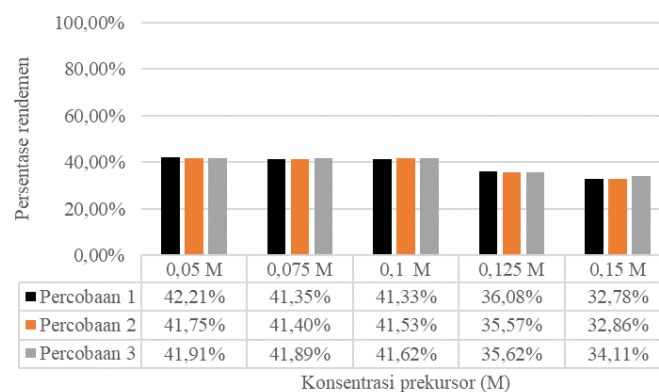
Suhu dalam proses sintesis dapat mempengaruhi hasil rendemen. Pengaruh suhu ini tidak merubah warna sampel, tetapi dapat mempengaruhi waktu pembentukan koloid. Semakin tinggi suhu, semakin cepat koloid terbentuk, yang diprediksi sebagai nanopartikel tembaga. Grafik rendemen yang diperoleh pada berbagai suhu pemanasan dapat dilihat pada gambar 2.



**Gambar 2.** Grafik rendemen hasil sintesis nanopartikel CuO menggunakan pengaruh suhu pemanasan.

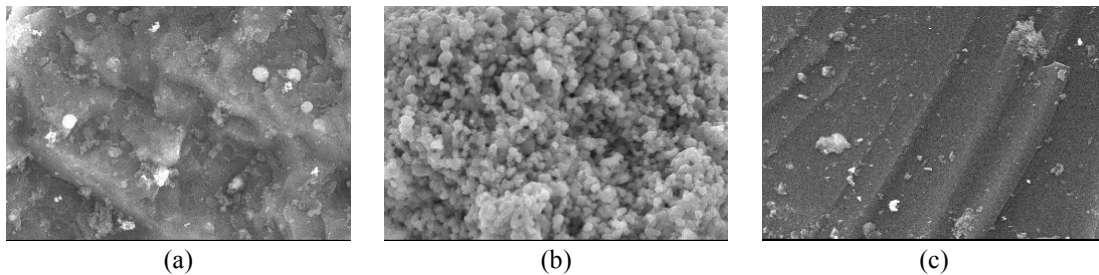
Dalam proses sintesis didapatkan suhu optimum adalah 60°C. Hal ini diprediksi karena laju reduksi ion Cu<sup>2+</sup> cukup baik pada suhu ini. Perkembangan pusat nukleasi yang meningkat dengan kenaikan suhu, sehingga meningkatkan laju biosintesis. Hasil rendemen tembaga oksida yang dihasilkan pada suhu 50°C lebih rendah dibandingkan suhu 60°C, hal itu disebabkan karena penggunaan suhu yang lebih rendah tidak cukup untuk memenuhi energi aktivasi yang dibutuhkan untuk pembentukan nanopartikel. Namun peningkatan suhu lebih lanjut diatas 60°C menyebabkan penurunan hasil rendemen, hal itu disebabkan karena pada peningkatan suhu yakni suhu 70°C – 90°C menyebabkan degradasi atau inaktivasi fitokimia aktif dari ekstrak kunyit. Dijelaskan pada penelitian Rani *et al.*, (2020) bahwa dampak pada laju nukleasi dalam sistem reaksi lebih besar dari laju pertumbuhan, akibatnya laju nukleasi lebih cepat dari laju pertumbuhan dengan peningkatan suhu. Namun aktivitas permukaan inti meningkat ketika suhu terlalu tinggi menyebabkan inti bertabrakan serta menggumpal.

Asam basa dalam proses sintesis dapat mempengaruhi hasil rendemen. Pengaruh pH ini dapat merubah warna sampel, semakin basa larutan akan semakin hitam, sebaliknya bila semakin basa larutan akan berubah agak kemerahan. Dalam pH 5, koloidal yang terbentuk lebih banyak dibandingkan pH 6-9. Grafik rendemen yang diperoleh pada berbagai konsentrasi prekursor dapat dilihat pada gambar 3.



**Gambar 3.** Grafik rendemen hasil sintesis nanopartikel CuO menggunakan pengaruh pH.

Dalam penelitian ini, instrumen SEM-EDX digunakan untuk mengetahui morfologi dan komposisi dari nanopartikel tembaga pada setiap kondisi optimum yang telah didapatkan. Hasil analisis instrumen SEM-EDX disajikan pada Gambar 4.



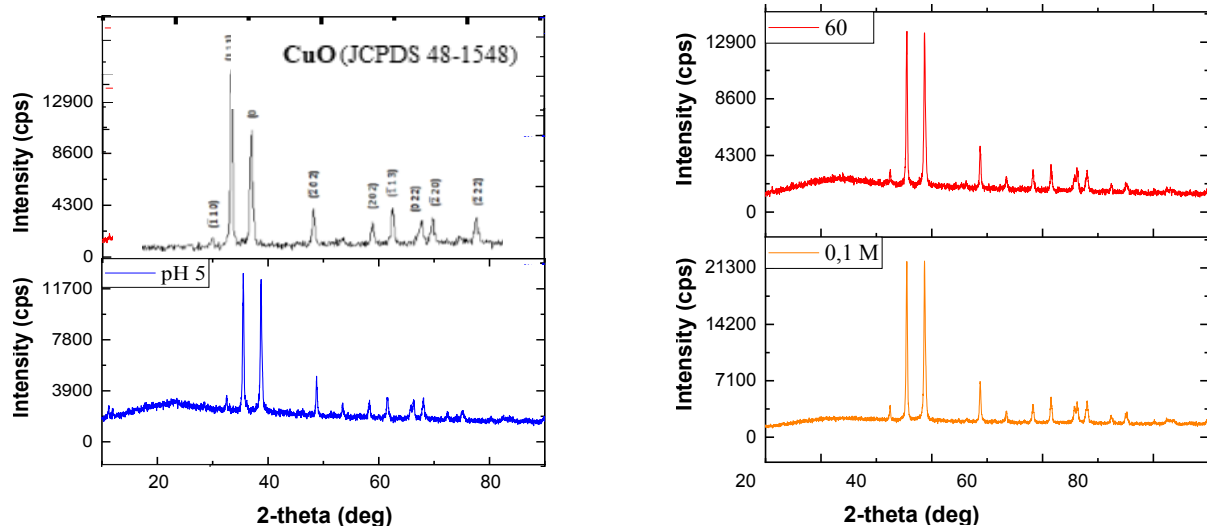
**Gambar 4.** Grafik distribusi ukuran partikel SEM sampel (a) Sampel uji coba 1 adalah penentuan  $C_{best}$  0,1M menggunakan suhu  $70^{\circ}\text{C}$  dan pH 7 sesuai dengan literatur, (b) Sampel uji coba 2 adalah penentuan  $T_{best}$   $60^{\circ}\text{C}$  menggunakan  $C_{best}$  0,1 M dan masih menggunakan pH sesuai literatur yaitu 7, (c) Sampel uji coba 3 menentukan  $\text{pH}_{best}$  5 menggunakan  $C_{best}$  0,1 M dan  $T_{best}$   $60^{\circ}\text{C}$ .

Hasil SEM Gambar 4.a dan Gambar 4.c terlihat morfologi permukaan memiliki bentuk tidak beraturan, sedangkan Gambar 4.b terlihat membentuk morfologi hexagonal. Pada uji coba 1 mendapatkan rerata ukuran partikel 186,8 nm, pada uji coba 2 mendapatkan rerata ukuran partikel 183,7 nm, dan pada uji coba 3 mendapatkan rerata ukuran partikel 190 nm. Ukuran partikel menunjukkan bahwa uji coba 2 adalah kondisi optimum yang membentuk nanopartikel dengan rerata ukuran terkecil. Partikel terjadi agregasi yang dimana partikel menyatu dan membentuk partikel yang lebih besar.

Uji komposisi dengan EDX pada sampel uji coba 1, menunjukkan persentase berat tembaga sebesar 22,23%, oksigen 30,87%, karbon 46,68%, dan klorin 0,23%. Pada sampel uji coba 2 mendapatkan persentase berat terdapat tembaga sebesar 64,55%, oksigen 21,73%, karbon 12,47%, dan zirkonium sebesar 1,26%. Pada sampel uji coba 3 mendapatkan persentase berat terdapat tembaga sebesar 14,01%, oksigen 34,40%, dan karbon sebesar 51,59%.

Dalam penelitian ini, instrumen XRD atau difraksi sinar X digunakan untuk mengetahui ukuran partikel dan persentase kristalinitas pada nanopartikel pada setiap kondisi optimum yang telah didapatkan.

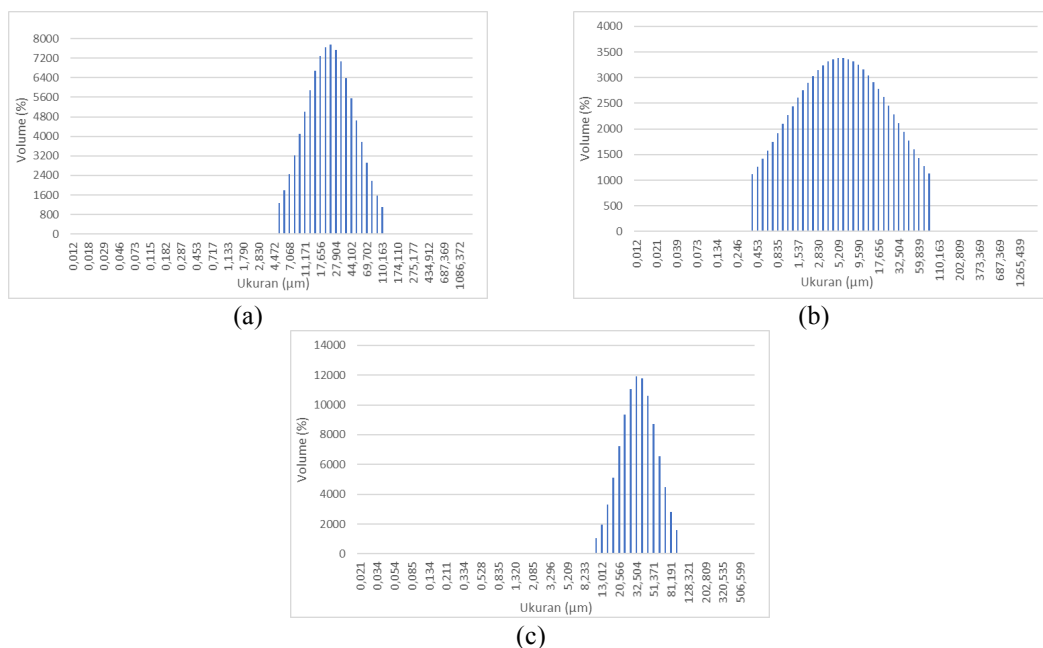
Analisis menggunakan program OriginLab dan Microsoft Excel dengan persamaan *Debye Scherr* (Setianingsih., 2018). Hasil analisis pada sampel uji coba 1 menunjukkan rerata ukuran kristalit 34,267 nm dan persentase kristalinitas 17,64 %. Pada sampel uji coba 2 menunjukkan rerata ukuran kristalit 36,215 nm dan persentase kristalinitas 11,52 %. Pada sampel uji coba 3 menunjukkan rerata ukuran kristalit 36,699 nm dan persentase kristalinitas 11,82 %.



**Gambar 5.** Hasil difraktogram XRD sampel nanopartikel dan hasil interpretasi menggunakan standar CuO

Prinsip pengukuran XRD yakni ditentukan berdasarkan pelebaran puncak difraksi sinar x yang muncul. XRD memprediksi ukuran kristalit tembaga oksida, bukan ukuran partikel. Jika satu partikel mengandung sejumlah kristalit yang kecil – kecil, maka informasi yang diberikan metode *Scherrer* adalah ukuran kristalit tersebut, bukan ukuran partikel. Jika ukuran partikel dalam skala nanometer, biasanya hanya mengandung satu kristalit, maka dari itu prediksi metode *Scherrer* juga merupakan ukuran partikel (Setianingsih., 2018).

Dalam penelitian ini, instrumen PSA atau *Particle Size Analyzer* digunakan untuk mengetahui ukuran partikel dari rentang volume tertentu. Hasil pengukuran PSA berupa kurva dan data ukuran partikel disajikan pada Gambar 6



**Gambar 6.** Hasil analisis PSA (a) uji coba 1, (b) uji coba 2, (c) uji coba 3



Berdasarkan grafik pada Gambar 6.a distribusi ukuran partikel reratanya yaitu 20,5  $\mu\text{m}$ . Pada Gambar 6.b memiliki rerata ukuran partikel yaitu 6  $\mu\text{m}$ , sedangkan pada Gambar 6.c memiliki rerata ukuran partikel yaitu 32,5  $\mu\text{m}$ . Berdasarkan ukuran partikel menunjukkan uji coba 2 adalah kondisi optimum yang memiliki distribusi ukuran terkecil, namun ukuran terbaca pada skala mikron, hal ini karena partikel telah teragregasi dan membentuk partikel yang lebih besar. Pada pengujian PSA partikel terbaca dengan ukuran yang lebih besar, karena instrumen ini hanya memanfaatkan perilaku hamburan cahaya ketika sinar laser melewati sekelompok partikel. Jadi distribusi ukurannya dihitung dengan mengukur sudut cahaya yang dihamburkan oleh partikel dengan berbagai ukuran. Analisis dilakukan dengan mendispersi sampel ke dalam media air, yang memungkinkan partikel bereaksi dan teragregasi lebih besar.

#### 4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Ada pengaruh konsentrasi, suhu, dan pH pada hasil *green synthesis* nanopartikel tembaga oksida menggunakan larutan tembaga(II) asetat dan ekstrak kunyit terhadap rendemen, kemurnian, dan ukuran partikel nanopartikel tembaga oksida yang dihasilkan.
2. Kondisi optimum dalam *green synthesis* nanopartikel tembaga oksida yang menggunakan larutan tembaga(II) asetat dan ekstrak kunyit adalah konsentrasi Cu(II) asetat 0,1M, suhu reaksi 60°C dan pH 7.C.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Akintelu, S. A., A. S. Folorunso, F. A. Folorunso & Oyebamiji, A. K. (2020). Green Synthesis of Copper Oxide Nanoparticles For Biomedical Application And Environmental Remediation. *Heliyon*, 6(7): 1-12.
- Aminah, N. Aulia Rahman, S. Amalia, L. Hardiani, A. Khairunnisa, S. Jubaidah & Puspita, A.D. (2024). Eksplorasi Kearifan Lokal Khas Borneo: Biosintesis Nanopartikel Perak Ekstrak Etanol Daun Kokang (*Lepishanthes amoena (Hass) Leenh*). *Jurnal Riset Kefarmasian Indonesia*, 6(2):356–377.
- Fazrin, E. I., S. Wyantuti & Hartati, Y. W. (2020). Review: Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Emas (AuNP) Serta Konjugasi AuNP Dengan DNA Dalam Aplikasi Biosensor Elektrokimia. *PENDIPA Journal of Science Education*, 4(2): 21–39.
- Hariadi, H., A. Riana, T. A. Chaerunnisa, S. Amien, Y. Ikrawan, T. Ulfah, J. Judiono, C. E. W. Anggara, I.

- Wibawa, W. Widiawati & Utama, Y. W. (2023). Penambahan Ekstrak Kunyit (*Curcuma domestica Val*) Cair Terhadap Karakteristik Organoleptik dan Kandungan Antioksidan Krispi Bayam (*Crispy Spinach*). *Composite: Jurnal Ilmu Pertanian*, 5(2):105–113.
- Jayarambabu, N., A. Akshaykranth, T. V. Rao, K. Venkateswara Rao & Kumar, R.R. (2019). Green Synthesis of Cu Nanoparticles Using Curcuma Longa Extract and Their Application In Antimicrobial Activity. Elsevier, 259: 1-10.
- Jia, X., W. Khan, Z. Wu, J. Choi & Yip, A. C. K. (2019). Modern Synthesis Strategies For Hierarchical Zeolites: Bottom-Up Versus Top-Down Strategies. *Advanced Powder Technology*, 30(3):467–484.
- Nur Anisa, D., C. Anwar & Afriyani, H. (2020). Sintesis Senyawa Analog Kurkumin Berbahan Dasar Veratraldehida Dengan Metode Ultrasound. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 5(01): 74–81.
- Parveen, K., V. Banse & Ledwani, L. (2016). Green Synthesis of Nanoparticles: Their Advantages and Disadvantages. *AIP Conference Proceedings*, 1724(1): 1-7.
- Rani, H., S. P. Singh, T. P. Yadav, M. S. Khan, M. I. Ansari & Singh, A. K. (2020). In-vitro Catalytic, Antimicrobial and Antioxidant Activities of Bioengineered Copper Quantum Dots Using Mangifera Indica (L.) Leaf Extract. *Materials Chemistry and Physics*, 239: 1-13.
- Setianingsih, T. (2018). Prinsip Dasar dan Aplikasi Metode Difraksi Sinar-X untuk Karakterisasi Material. Universitas Brawijaya Press
- Tripathy, S., J. Rodrigues & Shimpi, N.G. (2023). *Top-down and Bottom-up Approaches for Synthesis of Nanoparticles*.
- Widjanarko, P. B. (2022). *Mengenal Lebih Dekat Teknologi Nano : Pengetahuan Untuk Pemula*. Penerbit P4I
- Yusrita, E., A. Salsabila & Fadillah, A. R. (2023). Pemanfaatan Kunyit (*Curcuma longa Linn*) Untuk Memeriksa Boraks Pada Beberapa Jenis Makanan Yang Beredar Di Pasar Pekanbaru. *Ensiklopedia of Journal*, 5(4): 70–73.