

SINTESIS TEMBAGA OKSIDA KOMERSIL BERBAHAN DASAR LIMBAH KAWAT TEMBAGA DENGAN METODE PRESIPITASI

¹Sofia Cinintya Devika, ²Mochammad Yusuf, ³Sri Redjeki*, ⁴Dyah Suci Perwitasari,
⁵Mu'tasim Billah

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

*Penulis korespondensi: sriredjeki.tk@upnjatim.ac.id

Abstrak. Tembaga oksida (CuO) merupakan material semikonduktor tipe-p yang memiliki aplikasi luas dalam bidang katalisis, sensor gas, dan energi terbarukan. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis nanopartikel CuO menggunakan metode presipitasi kimia dengan bahan baku limbah kawat tembaga dan natrium hidroksida (NaOH) sebagai agen presipitasi. Proses sintesis dilakukan dengan variasi pH larutan dan suhu dehidrasi thermal larutan untuk mengoptimalkan ukuran dan morfologi partikel. Karakterisasi material dilakukan menggunakan X-ray Diffraction (XRD). Hasil XRD menunjukkan pembentukan fase CuO dengan struktur kristal monoklinik dengan ukuran rata-rata 75,5 nm. Studi ini menyimpulkan bahwa metode presipitasi kimia efektif untuk menghasilkan nanopartikel CuO dengan ukuran dan karakteristik yang terkontrol dan potensial untuk aplikasi dalam bidang energi dan lingkungan.

Kata kunci: limbah kawat, presipitasi, tembaga oksida

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu produsen tembaga terbesar di dunia, dengan produksi konsentrat tembaga mencapai 3.321.239ton pada tahun 2022 (Badan Pusat Statistik, 2022). Tembaga memiliki berbagai aplikasi penting, seperti bahan antimikroba, pembuatan uang logam, pupuk, dan konduktor listrik (Pungut et al., 2021; Basuki dan Said, 2020; Ali and Sulton, 2019). Namun, peningkatan produksi barang elektronik dan pertumbuhan penduduk telah menyebabkan peningkatan limbah elektronik (*e-waste*), yang pada tahun 2021 mencapai 2 juta ton di Indonesia (Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, 2021). Limbah elektronik ini mengandung logam berat, termasuk tembaga, yang berpotensi dimanfaatkan kembali.

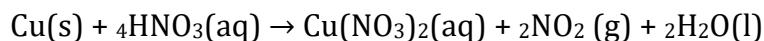
Salah satu potensi pemanfaatan limbah tembaga adalah dalam sintesis Tembaga (II) Oksida (CuO), sebuah material semikonduktor tipe-p dengan band gap 1,2-1,55 eV (Waris et al., 2021; Rahmawati et al., 2022). CuO memiliki aplikasi luas sebagai katalis, detektor, antibakteri, dan bahan semikonduktor. Limbah tembaga dari kabel listrik, *sim card*, dan *printed circuit board* (PCB) mengandung kadar tembaga yang signifikan, dengan kabel listrik memiliki kandungan tembaga tertinggi, yaitu 92% (Ali and Sulton, 2019). Oleh karena itu, limbah kabel listrik dipilih sebagai sumber tembaga dalam penelitian ini.

Beberapa metode sintesis CuO telah dikembangkan, termasuk sonokimia, hidrotermal, sol-gel, dan presipitasi kimia (Rane et al., 2018). Metode presipitasi kimia dipilih dalam penelitian ini karena keunggulannya, seperti ramah lingkungan, hemat biaya, dan kemurnian hasil yang tinggi (Phwidang et al., 2013; Jabbar, 2016). Proses sintesis melibatkan dua tahap utama: (1) preparasi limbah tembaga dengan pelarutan dalam HNO₃, dan (2) sintesis CuO dengan penambahan NaOH hingga mencapai pH aglomerasi, diikuti oleh dehidrasi termal untuk memperoleh produk CuO.

Pada proses sintesis CuO terdapat tiga reaksi yang terjadi, yaitu reaksi pembentukan larutan prekursor dan presipitasi (Patnaik, 2003), dan dehidrasi thermal (Fukuda, 2018) sebagai berikut.

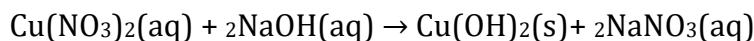
Sofia Cinintya Devika, Mohammad Yusuf, Sri Redjeki, Dyah Suci Perwitasari, Mu'tasim Billah: Sintesis tembaga oksida komersil berbahan dasar limbah kawat tembaga dengan metode presipitasi

Reaksi pembentukan larutan prekursor:



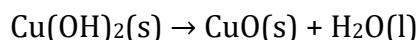
Pada reaksi tersebut akan terbentuk larutan prekursor hasil pelarutan bahan baku berupa limbah kawat dengan asam pekat berupa asam nitrat (HNO_3). Reaksi kedua merupakan reaksi presipitasi antara larutan prekursor, HNO_3 dengan agen presipitasi berupa natrium hidroksida (NaOH).

Reaksi presipitasi kimia:



Pada proses sintesis CuO , kondisi presipitasi kimia dapat berlangsung pada pH 7-13. pH yang semakin basa akan menghasilkan partikel dengan ukuran lebih besar akibat terjadi proses aglomerasi. Reaksi selanjutnya merupakan reaksi dehidrasi thermal yang bertujuan menghilangkan kadar air pada produk.

Reaksi dehidrasi thermal:



Pada proses dehidrasi thermal, tembaga hidroksida (Cu(OH)_2) hasil presipitasi akan terdekomposisi menjadi CuO pada temperatur 500-600°C.

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis CuO dari limbah tembaga kabel listrik dengan memvariasikan pH presipitasi dan suhu dehidrasi termal. Hasil sintesis akan dikarakterisasi menggunakan XRD untuk menentukan sifat fisikokimia CuO yang dihasilkan. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan solusi dalam pemanfaatan limbah tembaga sekaligus menghasilkan CuO dengan kualitas sesuai standar pasar.

2. Metode Penelitian

2.1. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi limbah tembaga dari kabel listrik (Sidoarjo), asam nitrat (HNO_3) 68%, natrium hidroksida (NaOH) 7 M, dan aquadest. Alat-alat yang digunakan antara lain oven, neraca analitik, magnetic stirrer, furnace, labu ukur, pipet tetes, beaker glass, kertas saring, kertas pH, corong kaca, dan gelas ukur. Variabel penelitian terdiri dari variabel tetap dan variabel berubah. Variabel tetap meliputi konsentrasi HNO_3 (68%), volume HNO_3 (375 ml), konsentrasi NaOH (7 M), berat limbah tembaga (20 gram), waktu pengadukan (2 jam), suhu pengeringan (80°C), waktu pengeringan (7 jam), dan waktu dehidrasi thermal (3 jam). Sementara itu, variabel berubah meliputi pH sintesis CuO (8, 9, 10, 11, dan 12) serta suhu dehidrasi thermal (500°C, 550°C, 600°C, 650°C, dan 700°C).

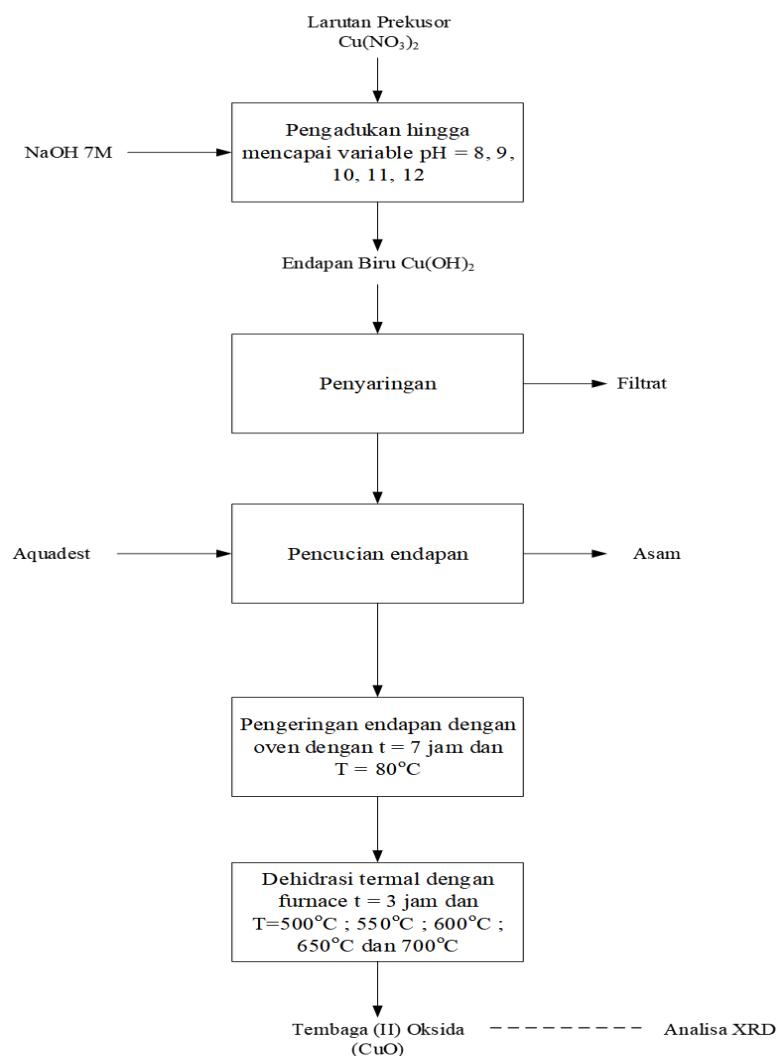
2.2. Prosedur

Prosedur penelitian dimulai dengan pembuatan prekursor $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ mengacu pada penelitian Luna pada tahun 2015 dengan modifikasi variabel. Limbah tembaga dari kabel listrik dipipihkan dan dipotong kecil ($\pm 0,5$ cm), kemudian 20 gram tembaga dilarutkan dalam 375 ml HNO_3 68% dengan pengadukan konstan selama 2 jam hingga terbentuk larutan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. Selanjutnya, sintesis Tembaga (II) Oksida (CuO) dilakukan dengan mereaksikan 50 ml larutan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ dengan NaOH 7 M secara tetes demi tetes sambil diaduk hingga mencapai variasi pH (8-12), yang ditandai dengan terbentuknya endapan

biru $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Endapan ini disaring, dicuci, dan dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 7 jam. Setelah kering, endapan di-furnace pada variasi suhu dehidrasi thermal (500 - 700°C) selama 3 jam untuk menghasilkan CuO . Produk CuO yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan XRD untuk menentukan karakteristiknya dan perhitungan ukuran kristal menggunakan metode Scherrer dengan persamaan berikut.

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

D adalah ukuran kristal dalam satuan nm, λ adalah panjang gelombang x-ray senilai $0,15405\text{nm}$ untuk Cu, β adalah nilai full width half maxima (FWMH) dalam radian, k adalah konstanta ($0,9$), dan θ adalah sudut difraksi. Pada setiap titik, memiliki nilai β yang beragam. Nilai β yang digunakan merupakan nilai β pada peak tertajam. Oleh sebab itu, untuk dapat menghitung ukuran partikel, digunakan nilai β pada peak tertajam di setiap titiknya sehingga diperoleh parameter kisi. Parameter kisi kemudian diolah menggunakan persamaan (1) sehingga diperoleh ukuran kristal pada sampel.



Gambar 1. Diagram Alir Sintesis Tembaga Oksida (CuO)

3. Hasil dan Pembahasan

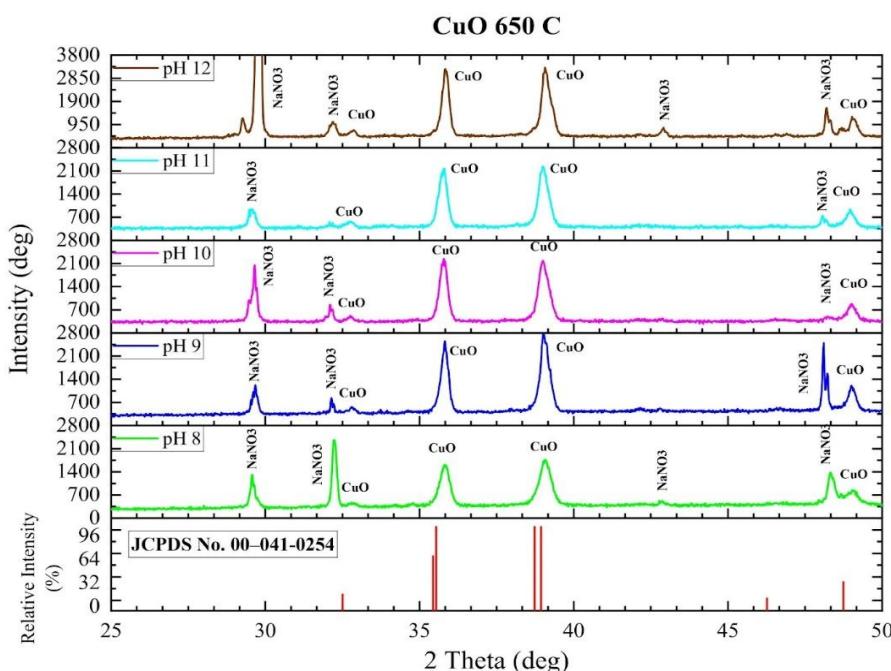
3.1. Analisa XRD

Tembaga (II) Oksida (CuO) banyak dimanfaatkan dalam industri sebagai baterai, katalis heterogen, *solar cell*, dan kesehatan (Meng, 2020). CuO disintesis menggunakan metode presipitasi kimia dengan pertimbangan prosesnya yang lebih sederhana, ramah lingkungan, dan mampu menghasilkan produk nano pada suhu ruang (Kaliyaperumal, et al, 2023). Sumber Cu yang digunakan berasal dari limbah tembaga yang akan dilarutkan menggunakan HNO_3 untuk dapat menghasilkan larutan prekursor. Reaksi antara HNO_3 dengan limbah tembaga akan menghasilkan larutan prekursor berupa $\text{Cu}(\text{NO}_3)_3$ berwarna biru (Kurniawan, et al., 2023). Larutan ini dipresipitasi secara kimia menggunakan agen presipitasi berupa NaOH yang akan menghasilkan Tembaga Hidroksida.

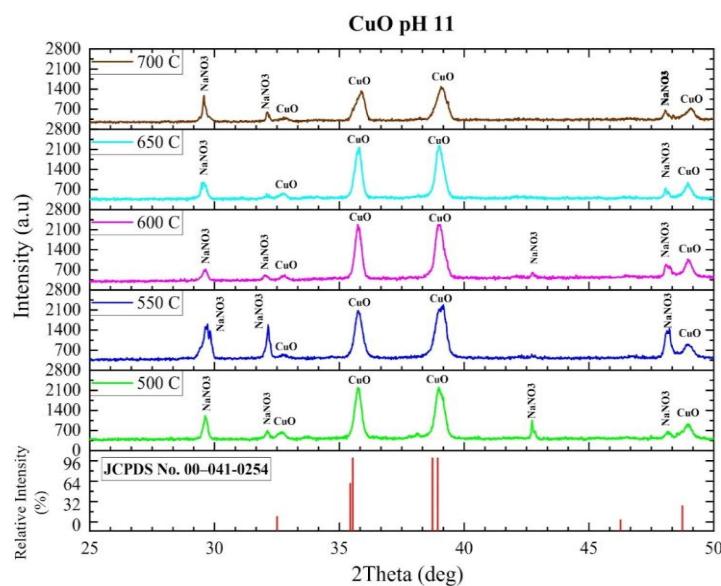
Tembaga Hidroksida ($\text{Cu}(\text{OH})_2$) hasil presipitasi sesuai variabel pH 8,9,10,11, dan 12 dikeringkan sesuai dengan variabel temperatur pada 500°C, 550°C, 600°C, 650°C, dan 700°C menghasilkan kristal Tembaga (II) Oksida (CuO). Kristal CuO yang dihasilkan setiap titiknya memiliki berat 12 gram berwarna hitam.

Kristal ini kemudian dianalisa menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD) untuk menganalisa pola difraksi sinar-X. Hasil analisa ini dibandingkan dengan standar JCPDS No. 00-041-0254 seperti pada grafik 1 dan 2. Grafik 1 menunjukkan pola difraksi sinar-X kristal CuO pada temperatur 650 °C dan standar acuan CuO (*tenorite*). Pola difraksi sinar-X memiliki kesesuaian pola dengan standar pada pH 8,9,10,11, dan 12. Berdasarkan grafik tersebut, diketahui pada pH 11 sampel memiliki kondisi paling sesuai dengan standar CuO (*tenorite*).

Grafik 2 menunjukkan pola difraksi sinar-X kristal CuO yang dihasilkan dari presipitasi dengan variabel pH=11. Pola ini dibandingkan dengan standar CuO (*tenorite*). Hasil pola difraksi sinar-X diketahui memiliki kemiripan dengan standar CuO (*tenorite*) pada temperatur variabel 500°C, 550°C, 600°C, 650°C, dan 700°C.



Gambar 2. Pengaruh pH terhadap hasil analisa CuO pada suhu 650°C



Gambar 3. Pengaruh suhu dehidrasi thermal terhadap hasil analisa CuO pada pH 11

Gambar 2 dan 3 menunjukkan pengaruh pH dan suhu dehidrasi thermal terhadap hasil analisa CuO. Pada grafik, data peak paling besar ditunjukkan pada sudut 35.5 dan 38.7. Menurut JCPDS No. 00-041-0254, senyawa CuO pada 2θ akan menunjukkan peak pada sudut 35.5, 38.7, dan 42.1. Hal ini menunjukkan, kristal yang dihasilkan benar menghasilkan tembaga oksida. Peak yang ditunjukkan selain pada sudut tersebut menunjukkan kandungan senyawa lain berupa natrium nitrat (NaNO_3) yang merupakan produk samping dari reaksi pengendapan antara $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ dan NaOH yang memiliki sifat sangat larut dalam air (Patnaik, 2003). Pada Grafik 1, pH yang berbeda menampilkan beberapa puncak atau peak yang berbeda pula diantara sampel yang dianalisa. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh pH terhadap kristal tembaga oksida yang dihasilkan (Munir, 2017). Selain itu, hasil analisa XRD diolah menggunakan *software X'pert Highscore-plus* menunjukkan struktur kristal berupa monoklinik sesuai dengan Standard Internasional CNS 1668-1966 Reagen Kimia CuO, 1966.

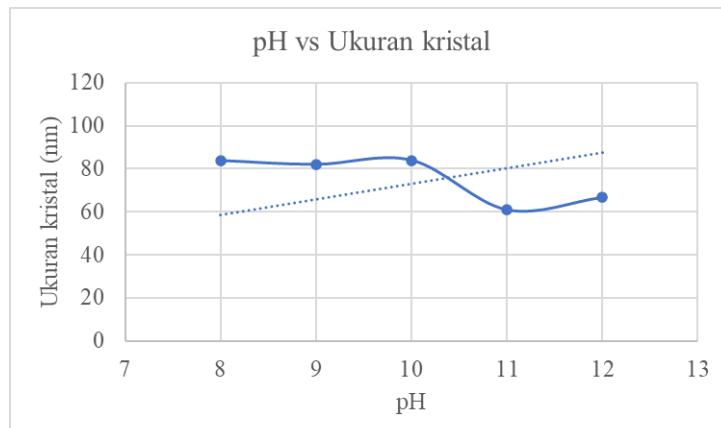
3.2 Ukuran Kristal

Hasil analisa XRD yang telah diperoleh memuat parameter kisi sehingga ukuran partikel krital tembaga oksida dapat dihitung menggunakan Persamaan Scherrer (Mobarak, 2022). Berdasarkan Persamaan Scherrer, diperoleh ukuran kristal seperti pada Tabel 1. Berikut.

Tabel 1. Rata-rata Ukuran Kristal pada variasi pH

pH	Rata-Rata Ukuran Kristal (nm)
8	83,7028
9	81,9386
10	83,8580
11	61,1304
12	66,8209
Rata-Rata	75,4901

Ukuran kristal CuO dihasilkan memiliki rata-rata ukuran sebesar 75,49 nm. Nilai ini sudah memenuhi kriteria penggunaan kristal tembaga (II) oksida untuk dapat dimanfaatkan di dalam dunia industri yang memiliki ukuran berkisar antara 1-100nm (Ali, 2024).



Gambar 4. Pengaruh pH terhadap ukuran kristal

Berdasarkan Gambar 3, diketahui seiring dengan meningkatnya pH ukuran kristal mengalami penurunan hal ini sesuai dengan penelitian oleh Rajesh tahun 2016. Ukuran kristal mengalami penurunan dari 83 menjadi 61 nm seiring dengan meningkatnya pH 8 ke 10. Penurunan ukuran kristal ini dapat diakibatkan oleh adanya peningkatan laju nukleasi dibandingkan pertumbuhan kristal, sehingga memicu pembentukan banyak inti kristal kecil yang dapat teragregasi membentuk struktur seperti bunga (*nanoflakes*) (Neto et al, 2018). Pada pH 11, ukuran kristal kembali mengalami kenaikan. Oleh karena itu, pH 11 merupakan pH optimum dalam sintesis CuO.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, tembaga (II) oksida (CuO) berhasil disintesis dari limbah kawat tembaga melalui metode presipitasi dengan NaOH, menghasilkan struktur kristal monoklinik (CuO) *tenorite*. pH pada proses presipitasi memiliki pengaruh terhadap ukuran kristal yang dihasilkan, dimana ukuran partikel mengalami penurunan nilai seiring dengan peningkatan nilai pH presipitasi. pH optimal pada proses sintesis diketahui terjadi pH 11 dengan ukuran kristal dihasilkan sebesar 61,1304nm.

Daftar Pustaka

- A. V. Rane, K. K. V. K. A. S. T., 2018. Methods for Synthesis of Nanoparticles and Fabrication of Nanocomposites. *Synthesis of Inorganic Material Journal*.
- A. Waris, M. D. A. A. M. A. S. A. A. B. A. U. K., 2021. A Comprehensive Review of Green Synthesis of Cooper Oxide Nanoparticles and Their Diverse Biomedical Application. *Inorganic Chemistry Communications, Volume 10*.
- Ali, K., Sajid, M. & S. A. Bakar, A. Y. H. A. M. Z. R., 2024. Synthesis of Copper Oxide (CuO) via coprecipitation method: Tailoring Structural and Optical Properties of CuO Nanoparticles for Optoelectronic Device Application. *Hybrid Advances, 6(1)*.

- C. Charlena, S. S. D. A., 2024. Synthesis and Characterization of Copper (II) Oxide (CuO-NP) Nanoparticles using Chemical Precipitation Method. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 21(2), pp. 84-92.
- E. A. Basuki, K. S., 2020. Pembuatan Paduan tembaga sebagai Bahan Baku Uang Logam. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 16(3).
- F. V. Kurniawan, A. H. C. R. T. Y., 2023. Synthesis of Copper (II) Oxide Nanoparticles using *Vitis vinifera L.* Leaf Extracy and its Application as A Catalyst in Doeblner Reaction. *Makara Journal of Science*, 27(3).
- I. Z. Luna, L. N. H. A. M. . C. M. A. G. N. K. R. A. K., 2015. Preparation and Characterization of Copper Oxide Nanoparticles Synthesis via Chemical Precipitation Method. *Open Access Library Journal*, 2(1409).
- J. Meng, Z. Y. L. C. H. Q. F. C. Y. J. X. Z., 2020. Energy Storage Performance of CuO as A Cathode Material for Aqueous Zinc Ion Battery. *Materials Today Energy*, 15(1).
- Jabbar, M. S., 2016. Synthesis of CuO Nano Structure via Sol-Gel and Precipitation Chemical Method. *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, 12(4), pp. 126-131.
- K. Phiwdang, S. S. W. M. W. P., 2013. Synthesis of CuO Nanoparticles by Precipitation Method using Different Precursors. *Energy Procedia*, Volume 34, pp. 740-745.
- M. B. Mobarak, M. B. H. F. S. A., 2022. Synthesis and Characterization of CuO Nanoparticles Utilizing Waste Fish Scale and Exploitation of XRD Peak Profile Analysis for Approximating The Structural Parameters. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(10), pp. 1-18.
- M. Fukuda, & N. Koga, 2018. Kinetics and Mechanisms of The Thermal Decomposition of Copper (II) Hydroxide: A Consecutive Process Comprising Induction Period, Surface Reaction, and Phase Boundary-Controlled Reaction. *The Journal of Physical Chemistry*, 122(24), pp. 12869-12879
- M. M. Ali, A. I. S., 2019. Pembuatan Bahan Konduktor Kabel Listrik dari Deposit dan Scrap tembaga. *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik*, 9(2).
- N.F. Andrade Neto, P.M. Oliveira, R.M. Nascimento, C.A. Paskocimas, M.R.D. Bomio & F.V. Motta, 2018. Influence of pH on the morphology and photocatalytic activity of CuO obtained by the sonochemical method using different surfactants. *Ceramics International*, 45(1), pp. 651-658.
- P. Pungut, J. S. D. N., 2021. Penerapan Logam Antimikroba (Kawat Tembaga) untuk Menurunkan Kadar E-Coli Total Coliform dan Tembaga Pada Air Sungai Waktu. *Jurnal Teknik UNIPA*, 19(1), pp. 14-21.
- Patnaik, P., 2003. *Handbook of Inorganic Chemicals*. United States of America: The McGraw-Hill Companies.
- R. E. Rahmawati, N., 2022. Biosintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Tembaga Oksida (CuO) Menggunakan Ekstrak Rimpang Kencur (*Kaempferia galanga L.*). *Jurnal Teknik Kimia*, 28(3), pp. 141-151.
- R. Kaliyaperumal, V. K. P. P. S., 2023. Synthesis and Antimicrobial Activity of CuO@BaO/CaO Nanocomposites using Precipitation Method. *Journal of The Indian Chemical Society*, 100(1).
- Statistika, B. P., 2025. Data Impor Tembaga (II) Oksida. [Online]. Available at: <https://www.bps.go.id/id/exim> [Accessed 7 Februari 2025].
- T. Munir, H. S. M. M. K. M. F. A. A. S. N. A. A. S. M. U., 2017. Synthesis and Characterization of Copper Oxide Nanoparticles by Solution Evaporation Method. *Journal of Optoelectronics and Advances Materials*, 19(5), pp. 417-423.