



SINTESIS DAN KARAKTERISASI SENYAWA KOMPLEKS

[Cu(H₂O)₂(NH₃)₄]SO₄

Rebecca Febi Permata Br Simorangkir^{1*}, Amita M. Siregar², Putri Soviana Pakpahan³, Yusi Yulfani Siagian⁴, & Iis Siti Jahro⁵

^{1,2,3,4,&5}Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Jalan William Iskandar Ps. V, Deli Serdang, Sumatera Utara 20221, Indonesia

*Email: rebeccafb.4232431019@mhs.unimed.ac.id

Submit: 20-03-2026; Revised: 27-03-2026; Accepted: 30-03-2026; Published: 27-04-2026

ABSTRAK: Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi senyawa kompleks [Cu(H₂O)₂(NH₃)₄]SO₄ melalui reaksi substitusi ligan antara CuSO₄·5H₂O dan larutan amonia dalam konteks pembelajaran kimia koordinasi. Permasalahan penelitian difokuskan pada mekanisme pembentukan kompleks, perubahan warna sebagai indikator terbentuknya senyawa koordinasi, efisiensi sintesis berdasarkan nilai rendemen, serta konfirmasi keberadaan ion penyusun kompleks. Metode eksperimen laboratorium dilakukan melalui pembentukan kompleks, kristalisasi, pemisahan, dan pengeringan kristal, serta karakterisasi klasik menggunakan uji kelarutan dan reaksi kimia dengan HCl, NaOH, dan BaCl₂. Hasil penelitian menunjukkan terjadinya perubahan warna larutan dari biru muda menjadi biru tua pekat yang menandakan terbentuknya kompleks [Cu(H₂O)₂(NH₃)₄]²⁺ akibat substitusi ligan air oleh amonia. Kristal biru tua berhasil diperoleh dengan rendemen sebesar 91,46% yang menunjukkan efisiensi sintesis tinggi. Uji karakterisasi mengonfirmasi keberadaan ligan NH₃, ion Cu²⁺, dan ion SO₄²⁻ sebagai penyusun kompleks. Temuan ini konsisten dengan teori ikatan valensi dan teori medan kristal dalam menjelaskan perubahan struktur koordinasi dan sifat optik kompleks, sehingga prosedur ini berpotensi menjadi alternatif praktikum sederhana dalam pembelajaran kimia koordinasi.

Kata Kunci: Karakterisasi Klasik, Kimia Koordinasi, Sintesis Kompleks, Substitusi Ligan, Tembaga(II).

ABSTRACT: This study aims to synthesize and characterize the complex compound [Cu(H₂O)₂(NH₃)₄]SO₄ through ligand substitution reaction between CuSO₄·5H₂O and ammonia solution in the context of coordination chemistry learning. The research problem is focused on the mechanism of complex formation, color changes as an indicator of the formation of coordination compounds, synthesis efficiency based on yield values, and confirmation of the presence of complex constituent ions. Laboratory experimental methods were carried out through complex formation, crystallization, separation, and drying of crystals, as well as classical characterization using solubility tests and chemical reactions with HCl, NaOH, and BaCl₂. The results showed a change in the color of the solution from light blue to deep dark blue which indicates the formation of the complex [Cu(H₂O)₂(NH₃)₄]²⁺ due to the substitution of water ligands by ammonia. Dark blue crystals were successfully obtained with a yield of 91.46% which indicates high synthesis efficiency. Characterization tests confirmed the presence of NH₃ ligands, Cu²⁺ ions, and SO₄²⁻ ions as constituents of the complex. These findings are consistent with valence bond theory and crystal field theory in explaining changes in the coordination structure and optical properties of the complex, making this procedure a potential alternative for simple laboratory experiments in coordination chemistry.

Keywords: Classical Characterization, Coordination Chemistry, Complex Synthesis, Ligand Substitution, Copper(II).

How to Cite: Simorangkir, R. F. P. B., Siregar, A. M., Pakpahan, P. S., Siagian, Y. Y., & Jahro, I. S. (2026). Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Kompleks [Cu(H₂O)₂(NH₃)₄]SO₄. *Panthera : Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan*, 6(2), 1061-1072. <https://doi.org/10.36312/panthera.v6i2.1192>



PENDAHULUAN

Kimia koordinasi merupakan salah satu cabang fundamental dalam kimia anorganik yang mempelajari senyawa kompleks, yaitu senyawa yang terbentuk melalui interaksi antara ion logam pusat dengan ligan melalui ikatan kovalen koordinasi. Logam transisi memiliki karakteristik orbital d yang belum terisi penuh, sehingga mampu menerima pasangan elektron dari ligan dan membentuk berbagai jenis kompleks dengan geometri serta sifat yang beragam (Rayner-Canham & Overton, 2023). Salah satu logam transisi yang paling sering dikaji adalah tembaga (Cu), khususnya dalam bentuk ion Cu^{2+} dengan konfigurasi elektron $[\text{Ar}]3d^9$.

Senyawa kompleks tembaga(II) memiliki peranan penting dalam berbagai bidang, seperti katalisis industri, material fungsional, serta sistem biologis (Wang *et al.*, 2024). Sintesis senyawa kompleks $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ melalui reaksi substitusi ligan dari $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dengan amonia (NH_3) merupakan contoh klasik yang sering digunakan dalam pembelajaran kimia anorganik, karena menunjukkan perubahan warna yang signifikan serta memudahkan pemahaman konsep-konsep dasar seperti bilangan koordinasi, teori medan kristal, dan mekanisme substitusi ligan (Lawal & Ajani, 2021; Müller *et al.*, 2020).

Penelitian mengenai sintesis dan karakterisasi senyawa kompleks tembaga(II) telah banyak dilakukan dengan berbagai pendekatan. Hermayantiningih *et al.* (2025) melakukan preparasi dan identifikasi garam tembaga(II) yang meliputi sintesis $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ sebagai garam kompleks dan $[\text{Cu}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ sebagai garam rangkap. Penelitian tersebut menjelaskan bahwa sintesis dan karakterisasi senyawa tembaga(II) diperlukan untuk memahami perbedaan struktur, stabilitas, dan sifat fisikokimia antara garam kompleks dan garam rangkap.

Baizura *et al.* (2025) mengkarakterisasi garam rangkap $\text{Cu}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ menggunakan spektroskopi inframerah (FTIR) untuk mengonfirmasi keberadaan gugus fungsi O–H, N–H, dan S=O. Garba *et al.* (2020) mensintesis tetra-amminocopper(II) sulphate dan melakukan karakterisasi menggunakan FTIR yang menunjukkan pita serapan khas gugus N-H, O-H, dan S=O. Kusumawati *et al.* (2022) melaporkan sintesis kompleks Cu(II) dengan ligan tiosianat dan isokuinolina serta memprediksi struktur kompleks yang terbentuk. Housecroft & Sharpe (2018) menjelaskan bahwa kompleks tetraamminotembaga(II) memiliki stabilitas termodinamika yang tinggi karena ligan amonia (NH_3) memiliki kekuatan medan ligan yang lebih besar dibandingkan air, sehingga menyebabkan peningkatan energi pemisahan orbital d (Δ_0).

Berdasarkan kajian literatur tersebut, penelitian-penelitian terdahulu umumnya berfokus pada prosedur sintesis dan konfirmasi struktur menggunakan instrumen spektroskopi seperti FTIR. Namun, masih terbatas kajian yang menyajikan analisis terintegrasi yang menghubungkan setiap tahapan reaksi dengan teori kimia koordinasi, terutama dalam menjelaskan mekanisme substitusi ligan secara bertahap, interpretasi perubahan warna berdasarkan teori medan kristal, serta



analisis komprehensif karakterisasi klasik yang menghubungkan setiap uji dengan konsep koordinasi secara sistematis.

Kebaruan ilmiah dari artikel ini terletak pada pendekatan analisis yang holistik dan terintegrasi dalam sintesis senyawa $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$. Miessler *et al.* (2021) menjelaskan bahwa Teori Ikatan Valensi (VBT) menjelaskan pembentukan ikatan koordinasi melalui donasi pasangan elektron bebas dari ligan ke orbital kosong pada ion logam pusat, sementara Teori Medan Kristal (CFT) menjelaskan pengaruh medan ligan terhadap pemisahan energi orbital d yang berdampak pada sifat optik kompleks. Artikel ini tidak hanya menyajikan prosedur sintesis dan perhitungan rendemen, tetapi juga secara sistematis menghubungkan setiap tahapan reaksi dimulai dari pembentukan kompleks akuo $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$, mekanisme substitusi ligan dengan pembentukan endapan $\text{Cu}(\text{OH})_2$ sebagai intermediet, hingga proses kristalisasi dengan teori kimia koordinasi tersebut. Pendekatan ini memberikan pemahaman konseptual yang lebih komprehensif mengenai kimia koordinasi logam transisi, khususnya dalam konteks pembelajaran laboratorium yang mengutamakan integrasi antara teori dan praktik.

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah: 1) bagaimana proses sintesis senyawa kompleks $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ dari $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dan NH_3 melalui reaksi substitusi ligan; 2) bagaimana perubahan warna yang terjadi sebagai bukti terbentuknya senyawa kompleks dapat dijelaskan berdasarkan teori medan kristal; 3) berapa besar rendemen yang diperoleh dari hasil sintesis sebagai indikator efisiensi reaksi; dan 4) bagaimana karakteristik senyawa kompleks yang dihasilkan berdasarkan uji kelarutan dan uji ion yang meliputi konfirmasi keberadaan ligan NH_3 , ion pusat Cu^{2+} , dan anion SO_4^{2-} . Adapun tujuan dari kajian artikel ini adalah untuk mensintesis senyawa kompleks $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$, mengamati dan menganalisis perubahan warna sebagai indikator terbentuknya kompleks berdasarkan teori medan kristal, menghitung rendemen hasil sintesis sebagai ukuran efisiensi reaksi, serta melakukan karakterisasi klasik terhadap senyawa kompleks yang diperoleh melalui uji kelarutan, uji dengan HCl 1 M untuk konfirmasi ligan NH_3 , uji dengan NaOH 1 M untuk konfirmasi ion Cu^{2+} , dan uji dengan BaCl_2 0,1 M untuk konfirmasi ion SO_4^{2-} .

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen laboratorium yang bertujuan mensintesis kompleks tetraminakuatembaga(II) sulfat, $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$, serta melakukan karakterisasi ion penyusunnya.

Sintesis Kompleks $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$

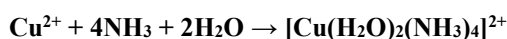
Sebanyak 2,50 gram $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ($M_r = 249,68$ g/mol) ditimbang menggunakan neraca analitik dengan ketelitian $\pm 0,0001$ g. Jumlah mol awal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ adalah:

$$n = \frac{2.50}{249.68} = 0,0100 \text{ mol}$$

Sampel dilarutkan dalam 20 mL akuades di dalam gelas beker 100 mL hingga homogen membentuk larutan biru muda (larutan Cu^{2+} akuatik). Larutan NH_3 25% ditambahkan secara tetes demi tetes sambil diaduk menggunakan pengaduk



magnetik pada *hot plate stirrer* hingga terbentuk endapan biru muda $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Penambahan NH_3 dihentikan setelah pH larutan mencapai $\pm 10-11$ (diukur menggunakan pH paper) dan larutan berada dalam kondisi amonia berlebih (total volume $\text{NH}_3 \pm 12$ mL). Pada kondisi ini, endapan larut kembali membentuk larutan biru tua pekat sebagai indikasi terbentuknya kompleks $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ melalui reaksi:



Larutan kemudian dipanaskan menggunakan *hot plate* dengan pengadukan pada suhu $50-60^\circ\text{C}$ selama ± 20 menit hingga volume berkurang menjadi sekitar 50% (± 10 mL). Setelah itu, larutan didinginkan pada suhu ruang selama 30 menit tanpa gangguan, kemudian dibiarkan selama 1 jam untuk proses kristalisasi.

Isolasi dan Pemurnian Produk

Kristal yang terbentuk dipisahkan menggunakan penyaringan vakum (atau filtrasi gravitasi jika tidak tersedia). Kristal dicuci dengan ± 10 mL etanol 96% untuk menghilangkan sisa pengotor anorganik dan amonia bebas. Produk kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C hingga mencapai massa konstan, lalu ditimbang untuk menentukan massa aktual dan rendemen. Massa teoritis produk dihitung berdasarkan perbandingan mol 1:1 antara $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dan kompleks:

$$M_r [\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 = 263,78 \text{ g/mol}$$

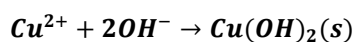
$$m_{\text{teoritis}} = 0,0100 \times 263,78 = 2,64 \text{ g}$$

Karakterisasi Kualitatif

Uji Ion Cu^{2+}

Uji kualitatif terhadap ion Cu^{2+} dilakukan dengan melarutkan sekitar 0,1 g sampel ke dalam 5 mL akuades hingga homogen. Larutan tersebut kemudian ditambahkan 1–2 mL larutan NaOH 1 M secara bertahap sambil diamati perubahan yang terjadi. Kehadiran ion Cu^{2+} ditunjukkan dengan terbentuknya endapan berwarna biru muda yang merupakan tembaga(II) hidroksida, $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Pembentukan endapan ini menjadi indikator spesifik adanya ion tembaga(II) dalam sampel yang diuji.

Reaksi:

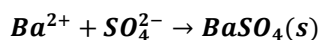


Uji Ion SO_4^{2-}

Uji kualitatif terhadap ion sulfat (SO_4^{2-}) dilakukan dengan metode pengendapan menggunakan larutan barium klorida. Sebanyak $\pm 0,1$ g sampel dilarutkan dalam 5 mL akuades hingga homogen, kemudian ditambahkan 2 mL larutan BaCl_2 0,1 M. Apabila sampel mengandung ion sulfat, akan terjadi reaksi dengan ion barium (Ba^{2+}) yang menghasilkan endapan putih barium sulfat (BaSO_4) yang tidak larut dalam air. Terbentuknya endapan putih ini menjadi indikator positif keberadaan ion SO_4^{2-} dalam larutan sampel. Endapan yang terbentuk bersifat sangat stabil dan tidak larut meskipun dalam kondisi asam encer.



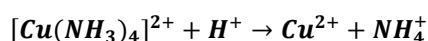
Reaksi:



Uji Ligan NH_3

Sebanyak $\pm 0,1$ g sampel dilarutkan dalam 5 mL akuades hingga homogen, kemudian ke dalam larutan tersebut ditambahkan 1 mL larutan HCl 1 M secara bertahap. Penambahan asam bertujuan untuk memprotonasi ligan NH_3 yang terikat pada pusat logam, sehingga menyebabkan terjadinya disosiasi kompleks. Indikasi keberhasilan uji ini ditunjukkan oleh perubahan warna larutan dari biru tua menjadi biru muda atau pucat, yang mencerminkan berkurangnya jumlah ligan NH_3 terkoordinasi akibat proses protonasi.

Reaksi:



Uji Kelarutan

Uji kelarutan dilakukan dengan menimbang sampel sebanyak $\pm 0,1$ g, kemudian menambahkannya ke dalam 5 mL akuades. Campuran tersebut selanjutnya diamati untuk menilai tingkat kelarutannya. Hasil yang diharapkan adalah terbentuknya larutan homogen berwarna biru, yang menunjukkan bahwa kompleks yang diuji masih memiliki kelarutan yang baik dalam air.

Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi neraca analitik dengan tingkat ketelitian $\pm 0,0001$ g untuk memastikan akurasi penimbangan sampel. Proses pemanasan dilakukan menggunakan *hot plate* yang dilengkapi dengan pengaduk magnetik (*magnetic stirrer*) guna menjaga homogenitas larutan selama pemanasan. Pengeringan sampel dilakukan dalam oven dengan suhu konstan sebesar $60 \pm 2^\circ\text{C}$ untuk memperoleh kondisi yang stabil. Pengukuran tingkat keasaman dilakukan menggunakan kertas indikator pH dengan rentang pengukuran 1–14. Digunakan juga gelas beker berkapasitas 100 mL sebagai wadah reaksi, serta corong dan kertas saring *Whatman* No. 42 untuk proses penyaringan.

Kontrol Variabel Eksperimen

Kontrol variabel dalam eksperimen ini dilakukan secara ketat untuk memastikan konsistensi dan validitas hasil yang diperoleh. Nilai pH larutan dijaga pada kisaran 10–11 selama proses pembentukan kompleks guna mendukung kondisi reaksi yang optimal. Suhu pemanasan dikontrol pada rentang $50\text{--}60^\circ\text{C}$ dengan waktu pemanasan yang dibuat konstan selama 20 menit. Setelah pemanasan, larutan didinginkan selama 30 menit, kemudian dilanjutkan dengan proses kristalisasi selama 1 jam untuk memperoleh produk yang stabil. Volume NH_3 juga diatur sekitar ± 12 mL untuk memastikan keberadaannya dalam kondisi berlebih sehingga reaksi dapat berlangsung secara maksimal.

Keselamatan Kerja (*Laboratory Safety*)

Seluruh prosedur eksperimen dilakukan dengan memperhatikan aspek keselamatan kerja di laboratorium. Larutan NH_3 25% dan HCl 1 M bersifat korosif dan volatil, sehingga seluruh proses penanganannya dilakukan di dalam lemari asam (*fume hood*) untuk mencegah paparan uap berbahaya. Penggunaan alat



pelindung diri berupa sarung tangan, kacamata pelindung, dan jas laboratorium merupakan kewajiban selama kegiatan berlangsung. Kontak langsung dengan kulit serta inhalasi uap NH_3 harus dihindari secara ketat. Limbah yang mengandung ion Cu^{2+} dan NH_3 dikumpulkan dalam wadah khusus limbah logam berat dan tidak diperbolehkan dibuang langsung ke sistem drainase. Proses pemanasan juga dilakukan di bawah pengawasan guna mencegah terjadinya *overboiling* yang dapat membahayakan keselamatan.

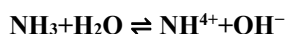
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Kompleks Tetraamminediaquatembaga(II) Sulfat

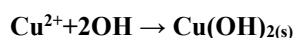
Sintesis kompleks $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ dilakukan melalui reaksi substitusi ligan antara $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dan larutan amonia 25%. Proses ini merupakan contoh klasik pembentukan senyawa koordinasi logam transisi yang melibatkan perubahan lingkungan koordinasi pada ion pusat Cu^{2+} . Pelarutan 2,50 gram $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dalam 20 mL aquadest menghasilkan larutan berwarna biru muda. Warna ini mengindikasikan keberadaan kompleks heksaakuotembaga(II):



Secara teoritis, ion Cu^{2+} (konfigurasi elektron $[\text{Ar}]3d^9$) dalam medium berair akan mengalami solvasi penuh oleh enam molekul air membentuk geometri oktahedral terdistorsi akibat efek Jahn–Teller. Distorsi ini lazim terjadi pada sistem d^9 karena ketidakstabilan degenerasi orbital eg. Fenomena ini konsisten dengan teori kimia koordinasi yang menyatakan bahwa logam transisi dengan orbital d belum terisi penuh memiliki kecenderungan kuat membentuk kompleks stabil melalui ikatan kovalen koordinasi. Penambahan NH_3 25% secara bertahap menghasilkan endapan biru muda $\text{Cu}(\text{OH})_2$ pada tahap awal. Endapan ini terbentuk karena kesetimbangan basa lemah amonia dalam air:



Ion OH^- yang terbentuk bereaksi dengan Cu^{2+} :



Namun, ketika NH_3 ditambahkan berlebih (± 12 mL), endapan larut kembali membentuk larutan biru tua pekat. Hal ini menunjukkan terjadinya reaksi kompleksasi:



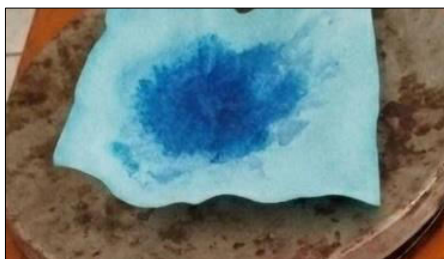
Perubahan ini merupakan bukti terjadinya substitusi ligan, di mana molekul NH_3 yang memiliki kemampuan donor elektron lebih kuat menggantikan molekul H_2O dalam lingkungan koordinasi Cu^{2+} . Menurut Teori Ikatan Valensi yang dikemukakan oleh Linus Pauling, ikatan logam–ligan terbentuk melalui donasi pasangan elektron bebas dari ligan (NH_3) ke orbital kosong pada ion pusat. Atom nitrogen dalam NH_3 bertindak sebagai donor pasangan elektron (Lewis base),

sedangkan Cu^{2+} bertindak sebagai akseptor (Lewis acid). Interaksi ini menghasilkan kompleks dengan bilangan koordinasi enam dan geometri oktahedral terdistorsi.

Perubahan warna dari biru muda menjadi biru tua pekat merupakan indikator penting keberhasilan sintesis kompleks. Fenomena ini dapat dijelaskan menggunakan Teori Medan Kristal (*Crystal Field Theory*). Dalam kompleks akuo, H_2O tergolong ligan medan lemah sehingga menghasilkan pemisahan energi orbital d (Δ_0) yang relatif kecil. Ketika NH_3 menggantikan H_2O , kekuatan medan ligan meningkat (NH_3 termasuk ligan medan sedang–kuat), sehingga nilai Δ_0 bertambah.

Peningkatan Δ_0 menyebabkan perubahan energi transisi elektron $d-d$. Akibatnya, panjang gelombang cahaya yang diserap berubah, sehingga warna yang dipantulkan juga berubah menjadi biru tua yang lebih intens. Hal ini menunjukkan bahwa sifat optik kompleks sangat dipengaruhi oleh jenis ligan yang terkoordinasi pada ion pusat. Dengan demikian, perubahan warna yang diamati secara eksperimental konsisten dengan prediksi Teori Medan Kristal untuk sistem d^9 pada Cu^{2+} .

Setelah pembentukan kompleks, larutan dipanaskan pada $50-60^\circ\text{C}$ hingga volumenya berkurang setengah. Pemanasan bertujuan meningkatkan tingkat kejenuhan larutan. Pendinginan perlahan memungkinkan proses nukleasi dan pertumbuhan kristal berlangsung secara terkontrol. Penambahan etanol tetes demi tetes melalui dinding gelas beker berfungsi menurunkan konstanta dielektrik medium dan mengurangi kelarutan kompleks dalam sistem pelarut campuran. Strategi ini mempercepat proses kristalisasi tanpa merusak struktur koordinasi kompleks. Kristal biru tua yang diperoleh menunjukkan bahwa kompleks $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ stabil dalam fase padat dan mempertahankan karakteristik warna khasnya setelah proses pengeringan dalam oven.



Gambar 1. Kristal Kompleks Tetraamminediaquatembaga(II) Sulfat $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$.

Perhitungan Rendemen dan Hasil Sintesis

Jumlah mol $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang digunakan:

$$n = \frac{2,5 \text{ gram}}{249,5 \text{ gram/mol}} = 0,010 \text{ mol}$$

Dengan perbandingan stoikiometri 1:1, jumlah mol teoritis kompleks yang terbentuk adalah 0,010 mol. Massa teoritis kompleks:

$$\begin{aligned} \text{Massa } [\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 &= M_r \times \text{mol} \\ &= 263,5 \times 0,010 \\ &= 2,635 \text{ gram} \end{aligned}$$



Massa produk aktual: 2,41 gram

$$\% \text{ Rendemen} = \frac{2,41 \text{ gram}}{2,635 \text{ gram}} \times 100 = 91,46\%$$

Rendemen sebesar 91,46% menunjukkan efisiensi sintesis yang tinggi. Nilai ini mengindikasikan bahwa reaksi substitusi ligan berlangsung hampir sempurna dan kehilangan produk relatif minimal.

Tabel 1. Data Hasil Reaksi dan Rendemen Sintesis $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

| Parameter | Hasil |
|--|--------|
| Massa $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ Awal | 2.5g |
| Massa Teoritis Produk | 2.635g |
| Massa Produk Aktual | 2.41g |
| Rendemen Reaksi | 91.46% |

Keberhasilan sintesis yang ditunjukkan oleh perubahan warna khas, pembentukan kristal stabil, dan rendemen tinggi memperkuat validitas pendekatan teoretis dalam menjelaskan perilaku kimia sistem koordinasi Cu(II). Sintesis kompleks $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ berhasil dilakukan melalui mekanisme substitusi ligan dengan efisiensi tinggi (rendemen 91,46%). Perubahan warna yang signifikan, stabilitas kristal, serta kesesuaian hasil dengan prediksi Teori Ikatan Valensi dan Teori Medan Kristal menunjukkan bahwa sistem ini merupakan model representatif yang baik untuk mempelajari kimia koordinasi logam transisi. Karakterisasi klasik kompleks $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ dilakukan untuk mengonfirmasi keberadaan komponen penyusun kompleks, yaitu ion Cu^{2+} sebagai pusat logam, ligan NH_3 , dan anion SO_4^{2-} sebagai penyeimbang muatan. Metode yang digunakan meliputi uji kelarutan dan uji reaksi spesifik terhadap masing-masing komponen.

Uji Kelarutan dalam Air

Sebanyak 0,1 gram sampel hasil sintesis dilarutkan dalam 5 mL akuades. Hasil menunjukkan bahwa kristal biru tua larut sempurna membentuk larutan homogen. Kelarutan dalam air menunjukkan bahwa senyawa yang diperoleh bersifat ionik dan terdisosiasi dalam medium polar. Dalam air, kompleks mengalami disosiasi sebagai berikut:



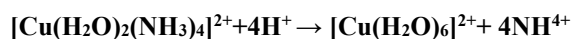
Hal ini sesuai dengan teori senyawa koordinasi yang menyatakan bahwa kompleks kationik dan anion penyeimbangannya terikat melalui interaksi elektrostatis (ikatan ionik), sedangkan ikatan antara Cu^{2+} dan ligan $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ merupakan ikatan kovalen koordinasi. Sifat larut ini juga mendukung bahwa senyawa yang terbentuk adalah garam kompleks, bukan garam rangkap seperti $\text{Cu}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang memiliki perilaku disosiasi berbeda.

Uji dengan HCl 1 M (Konfirmasi Ligan NH_3)

Setelah larut dalam air, penambahan 1–2 mL HCl 1 M menghasilkan perubahan warna dari biru tua menjadi biru muda, dan larutan tetap jernih tanpa endapan. Perubahan warna ini menunjukkan terjadinya reaksi antara ion H^+ dan ligan NH_3 yang terkoordinasi:



Protonasi ligan menyebabkan ligan NH_3 terlepas dari pusat logam, sehingga kompleks terurai kembali menjadi kompleks akuo:



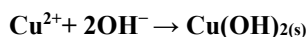
Larutan berubah menjadi biru muda karena terbentuk kembali kompleks heksaakuotembaga(II), yaitu:



Fenomena ini selaras dengan Teori Medan Kristal. Ketika ligan NH_3 (medan lebih kuat) dilepaskan dan digantikan oleh H_2O (medan lebih lemah), nilai Δ_o menurun sehingga energi transisi elektron berubah dan warna kembali menjadi biru muda. Hasil ini mengonfirmasi bahwa ligan NH_3 memang terikat secara koordinatif pada pusat Cu^{2+} dan dapat terlepas dalam kondisi asam kuat.

Uji dengan NaOH 1 M (Konfirmasi Ion Cu^{2+})

Penambahan NaOH 1 M pada larutan sampel menghasilkan endapan biru muda $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Reaksi yang terjadi:

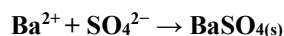


Pembentukan endapan $\text{Cu}(\text{OH})_2$ menunjukkan bahwa dalam larutan terdapat ion Cu^{2+} bebas atau yang dilepaskan dari kompleks akibat kesetimbangan reaksi dalam medium basa. Secara koordinasi, basa kuat seperti OH^- memiliki afinitas tinggi terhadap Cu^{2+} sehingga dapat mengganggu kestabilan kompleks dan membentuk hidroksida yang tidak larut. Hal ini menandakan terjadinya pergeseran kesetimbangan ke arah pembentukan spesies yang lebih stabil secara termodinamika.

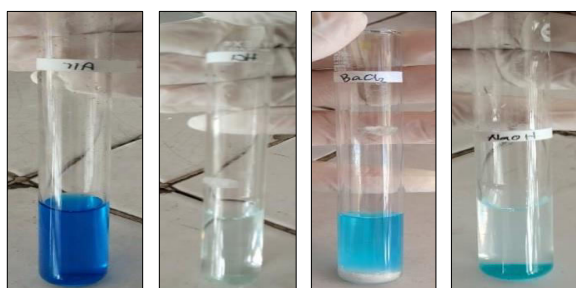
Hasil ini membuktikan bahwa pusat logam dalam senyawa hasil sintesis adalah Cu^{2+} , yang sejalan dengan teori bahwa tembaga(II) (konfigurasi $3d^9$) mudah membentuk kompleks koordinasi namun tetap dapat mengalami reaksi presipitasi dengan basa kuat. Temuan ini juga konsisten dengan penelitian Medved'ko *et al.* (2016) yang melaporkan bahwa ion Cu^{2+} memiliki kecenderungan tinggi untuk membentuk kompleks stabil dengan berbagai ligan donor, tetapi dalam kondisi basa kuat dapat mengalami pembentukan endapan $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Studi Stec *et al.* (2020) juga menunjukkan bahwa meskipun kompleks Cu(II) cukup stabil dalam larutan, peningkatan pH secara signifikan akan mendorong terjadinya reaksi presipitasi akibat terbentuknya spesies hidroksida yang kurang larut. Dengan demikian, hasil yang diperoleh tidak hanya mendukung dasar teori, tetapi juga memperkuat kesesuaian dengan laporan empiris yang telah ada.

Uji dengan BaCl_2 0,1 M (Konfirmasi Ion SO_4^{2-})

Penambahan BaCl_2 0,1 M menghasilkan endapan putih BaSO_4 . Reaksi yang terjadi:



BaSO₄ terbentuk sebagai endapan putih yang sangat tidak larut karena memiliki nilai K_{sp} yang sangat kecil, sehingga kemunculannya menjadi indikator kuat adanya ion sulfat dalam sistem. Hasil ini menunjukkan bahwa ion SO₄²⁻ dalam senyawa hasil sintesis berperan sebagai ion penyeimbang muatan (*counter ion*), bukan sebagai ligan yang terkoordinasi langsung pada Cu²⁺. Rangkaian karakterisasi klasik berhasil mengonfirmasi bahwa senyawa yang diperoleh adalah kompleks [Cu(H₂O)₂(NH₃)₄]SO₄. Sifat kelarutannya dalam air mengindikasikan bahwa senyawa tersebut merupakan garam kompleks yang bersifat ionik. Selanjutnya, uji dengan HCl membuktikan keberadaan ligan NH₃ yang terkoordinasi pada pusat logam, sedangkan uji dengan NaOH mengonfirmasi keberadaan ion Cu²⁺ sebagai pusat logam. Uji menggunakan BaCl₂ juga memperkuat bukti adanya ion SO₄²⁻ yang berfungsi sebagai anion penyeimbang dalam struktur kompleks tersebut.



Gambar 2. Hasil Karakterisasi Kompleks Tetraamminediaquatembaga(II) Sulfat [Cu(H₂O)₂(NH₃)₄]SO₄

SIMPULAN

Sintesis kompleks tetraminakuatembaga(II) sulfat, [Cu(H₂O)₂(NH₃)₄]SO₄, berhasil dilakukan melalui reaksi antara CuSO₄·5H₂O dan ligan amonia yang ditandai oleh perubahan warna larutan dari biru muda menjadi biru tua pekat serta terbentuknya kristal kompleks berwarna biru tua setelah proses kristalisasi. Hasil uji kualitatif menggunakan HCl 1 M, NaOH 1 M, dan BaCl₂ 0,1 M menunjukkan keberadaan ligan NH₃, ion Cu²⁺, dan ion SO₄²⁻ dalam produk sintesis sehingga mendukung terbentuknya senyawa kompleks yang diharapkan. Nilai rendemen yang diperoleh menunjukkan bahwa proses sintesis dipengaruhi oleh kondisi reaksi, kehilangan produk selama pemisahan, serta faktor kristalisasi. Tujuan penelitian untuk mensintesis dan mengkarakterisasi kompleks tembaga berbasis ligan amonia telah tercapai dan hasil yang diperoleh sesuai dengan konsep teori pembentukan senyawa koordinasi.

SARAN

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengendalian kondisi sintesis secara lebih optimal, khususnya pada pengaturan suhu pemanasan, konsentrasi ligan amonia, serta waktu kristalisasi guna meningkatkan kemurnian dan rendemen produk kompleks yang dihasilkan. Karakterisasi lanjutan menggunakan metode instrumental seperti spektroskopi UV-Vis, FTIR, atau analisis difraksi sinar-X perlu dilakukan untuk memperoleh informasi struktur kompleks secara lebih mendalam. Hambatan yang ditemui selama penelitian antara



lain kemungkinan kehilangan produk saat proses penyaringan dan pencucian kristal serta ketidakstabilan kondisi kristalisasi yang dapat mempengaruhi jumlah produk akhir. Oleh karena itu, perbaikan teknik pemisahan dan pengeringan sangat diperlukan pada penelitian berikutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pengampu mata kuliah atas bimbingan yang diberikan, kepada seluruh anggota kelompok atas kerja sama yang baik selama penelitian, serta kepada pihak laboratorium atas fasilitas yang telah disediakan.

DAFTAR RUJUKAN

- Baizura, M., Khairunnisa, N., Putri, S. H., & Putri, W. R. (2025). Sintesis dan Karakterisasi Garam Rangkap Kupri Amonium Sulfat Heksahidrat ($\text{Cu}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). *Jurnal Pendidikan Kimia, Fisika dan Biologi*, 1(5), 114-123. <https://doi.org/10.61132/jupenkifb.v1i5.679>
- Garba, H. W., Abubakar, K., Abdullahi, M. S., & Watanpal, R. (2020). Synthesis, Spectroscopy Study of Copper (II) Sulphate Pentahydrate, Tetraamminocopper (II) Sulphate and Bis-Ethylenediamine Copper (II) Sulphate in the Catalytic Reduction of Nitro Phenol Derivatives. *International Journal of Scientific Engineering and Science*, 4(10), 19-26.
- Hermayantiningsih, D., Hakim, M. S., Manurung, T. W., Fiqih, I. M., & Zahra, L. (2025). Preparasi dan Identifikasi Garam Tembaga(II): Sintesis $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ sebagai Garam Kompleks dan $[\text{Cu}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebagai Garam Rangkap. *Journal of Chemistry, Education, and Science*, 9(12), 59-64. <https://doi.org/10.30743/cheds.v9i1.11335>
- Housecroft, C. E., & Sharpe, A. G. (2018). *Inorganic Chemistry (5th Ed.)*. Harlow: Pearson Education.
- Kusumawati, L., Dasna, I. W., & Nazriati, N. (2022). Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Kompleks dari Ion Tembaga(II) dengan Ligan Ion Tiosianat dan Isokuinolina. *Jurnal MIPA dan Pembelajarannya*, 2(6), 1-10. <https://doi.org/10.17977/um067v2i6p%0p>
- Lawal, O. S., & Ajani, O. O. (2021). *Coordination Chemistry*. Abuja: National Open University of Nigeria.
- Medved'ko, A. V., Egorova, B. V., Komarova, A. A., Rakhimov, R. D., Krut'ko, D. P., Kalmykov, S. N., & Vatsadze, S. Z. (2016). Copper-Bispidine Complexes: Synthesis and Complex Stability Study. *ACS Omega*, 1(5), 854-867. <https://doi.org/10.1021/acsomega.6b00237>
- Miessler, G. L., Fischer, P. J., & Tarr, D. A. (2021). *Inorganic Chemistry (6th Ed.)*. London: Pearson Education.
- Müller, D., Knoll, C., Gravogl, G., Lager, D., Welch, J. M., Eitenberger, E., Friedbacher, G., Werner, A., Artner, W., Harasek, M., Miletich, R., & Weinberger, P. (2020). $\text{CuSO}_4/[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ -Composite Thermochemical Energy Storage Materials. *Nanomaterials*, 10(12), 2485. <https://doi.org/10.3390/nano10122485>



- Rayner-Canham, G., & Overton, T. (2023). *Descriptive Inorganic Chemistry (7th Ed.)*. New York: W. H. Freeman.
- Stec, M., Jagustyn, B., & Słowik, K. (2020). Influence of High Chloride Concentration on pH Control in Hydroxide Precipitation of Heavy Metals. *J. Sustain. Metall.*, 6, 239-249. <https://doi.org/10.1007/s40831-020-00270-X>
- Wang, Y., Yan, X., Zhang, Y., Qin, X., Yu, X., Jiang, L., & Li, B. (2024). Efficient Removal of Nickel from Wastewater Using Copper Sulfate-Ammonia Complex Modified Activated Carbon: Adsorption Performance and Mechanism. *Molecules*, 29(10), 1-18. <https://doi.org/10.3390/molecules29102405>