

SINTESIS DAN KARAKTERISASI SENYAWA KOMPLEKS TETRAMMINETEMBAGA(II) SULFAT $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$

Raziqah Fardaniah¹, Si'arif Hidayat Daeli², Ari Ramadana³,
Sari Mustika Anjani Hutagaol⁴, Iis Siti Jahro⁵

¹⁻⁵Universitas Negeri Medan

¹raziqahfarda.4233131001@mhs.unimed.ac.id

ABSTRACT

This study aimed to synthesize and characterize the complex compound tetraamminecopper(II) sulfate $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ based on coordination chemistry principles. The research was conducted using a laboratory experimental method with a simple experimental design. The synthesis was carried out by reacting copper(II) sulfate pentahydrate with concentrated ammonia, followed by the addition of ethanol to induce crystallization and cooling using an ice bath. The resulting crystals were filtered, washed, and dried before further characterization. Data were collected through direct observation of color changes, crystal formation, and solubility behavior, as well as mass measurement to determine the yield. The results showed that the synthesis produced dark blue crystals with a mass of 1.21 g and a yield of 53.1%. The formation of the complex was indicated by a color change from light blue to deep blue due to ligand substitution from water to ammonia. Solubility tests revealed that the compound was soluble in polar solvents (H_2O and NH_4OH) and insoluble in nonpolar solvents (CHCl_3 and ethanol), confirming its ionic and polar nature. These findings were consistent with coordination chemistry theory, indicating that the synthesized compound possessed the expected structural and physicochemical properties.

Keywords: coordination chemistry, copper(II) complex, tetraamminecopper(II) sulfate, synthesis, solubility

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi senyawa kompleks tetraamminecopper(II) sulfat $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ berdasarkan prinsip kimia koordinasi. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental laboratorium dengan desain eksperimental sederhana. Sintesis dilakukan dengan mereaksikan tembaga(II) sulfat pentahidrat dengan amonia pekat, diikuti dengan penambahan etanol untuk menginduksi kristalisasi dan pendinginan menggunakan penangas es. Kristal yang dihasilkan disaring, dicuci, dan dikeringkan sebelum karakterisasi lebih lanjut. Data dikumpulkan melalui pengamatan langsung perubahan warna, pembentukan kristal, dan perilaku kelarutan, serta pengukuran massa untuk menentukan hasil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sintesis menghasilkan kristal biru tua dengan massa 1,21 g dan hasil 53,1%. Pembentukan

kompleks ini ditunjukkan oleh perubahan warna dari biru muda menjadi biru tua karena substitusi ligan dari air menjadi amonia. Uji kelarutan mengungkapkan bahwa senyawa tersebut larut dalam pelarut polar (H_2O dan NH_4OH) dan tidak larut dalam pelarut nonpolar (CHCl_3 dan etanol), menegaskan sifat ionik dan polarinya. Temuan ini konsisten dengan teori kimia koordinasi, menunjukkan bahwa senyawa yang disintesis memiliki sifat struktural dan fisikokimia yang diharapkan.

Kata Kunci: kimia koordinasi, kompleks tembaga(II), tetraamminecopper(II) sulfat, sintesis, kelarutan

A. Pendahuluan

Kimia koordinasi adalah cabang kimia anorganik yang berfokus pada pembentukan dan karakteristik senyawa kompleks, yaitu senyawa yang terbentuk melalui interaksi antara ion logam pusat dan ligan melalui ikatan kovalen koordinat. Salah satu sistem yang banyak dipelajari dalam eksperimen dasar adalah pembentukan kompleks antara ion tembaga(II) dan amonia. Ion Cu^{2+} yang berasal dari tembaga(II) sulfat pentahidrat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) mempunyai orbital d yang tidak lengkap, sehingga ia dapat menerima pasangan elektron tunggal dari molekul NH_3 sebagai penderma ligan. Interaksi ini menghasilkan ion kompleks tetramine tembaga(II) $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ yang kemudian membentuk garam kompleks $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ (Miessler *et al.*, 2014; Müller *et al.*, 2020).

Pembentukan kompleks ini merupakan implementasi dari teori koordinasi yang dikembangkan oleh Alfred Werner, yang menjelaskan bahwa logam sentral memiliki nomor koordinasi tertentu sesuai dengan jumlah ligan yang terikat langsung. Dalam sistem ini, ion Cu^{2+} berkoordinasi dengan empat molekul amonia, membentuk geometri planar persegi panjang yang terdistorsi oleh efek Jahn-Teller, yang biasanya ditemukan dalam konfigurasi elektron d^9 (Housecroft & Sharpe, 2018).

Perkembangan penelitian selama dekade terakhir telah menunjukkan bahwa kompleks logam transisi, khususnya tembaga(II), memainkan peran penting dalam berbagai bidang seperti katalisis, bahan fungsional, dan kimia energi. Sistem $\text{Cu}-\text{NH}_3$ juga telah dilaporkan memiliki potensi dalam penyimpanan energi dan aplikasi katalitik modern, membuat penelitian tentang sintesis

dan karakterisasi kompleks sederhana relevan sebagai dasar untuk pengembangan lebih lanjut (Zhang *et al.*, 2021).

Secara eksperimental, pembentukan kompleks $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ dapat diamati melalui perubahan warna dari biru muda menjadi biru tua setelah penambahan amonia berlebih. Perubahan ini terkait dengan transisi elektronik yang dipengaruhi oleh lingkungan ligan, seperti yang dijelaskan dalam teori medan kristal (Guspita & Ulianas, 2020).

Selain itu, keberhasilan sintesis juga dapat dinilai dengan pembentukan kristal dan sifat kelarutan senyawa. Garam kompleks ionik umumnya mudah larut dalam pelarut polar dan terdisosiasi menjadi ion kompleks dan ion pendamping di lingkungan. Ini menunjukkan bahwa senyawa $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ terdiri dari ion $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ dan SO_4^{2-} yang terikat secara elektrostatik (Baizura *et al.*, 2024).

Berdasarkan uraian, permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana proses sintesis kompleks $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ dan apa ciri-ciri sifat fisik dan ioniknya. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan

mengkarakterisasi senyawa serta menilai kesesuaiannya dengan teori kimia koordinasi.

B. Metode Penelitian

Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen laboratorium dengan desain eksperimen laboratorium yang sederhana. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi senyawa kompleks tetramminecopper(II) sulfat $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ melalui pendekatan deskriptif kualitatif dan kuantitatif.

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 2 Maret 2026 di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Medan.

Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah senyawa kompleks tetramminecopper(II) sulfat yang disintesis melalui reaksi antara tembaga(II) sulfat pentahidrat dan amonia.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain timbangan analitik, gelas kimia, gelas ukur, erlenmeyer, pipet tetes, batang pengaduk kaca, corong kaca, kertas

saring, oven suhu rendah (40–50°C), tabung reaksi, kaca arloji, dan spatula.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain tembaga(II) sulfat pentahidrat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), amonia pekat (NH_3), etanol 96% ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), aquadest (H_2O), es batu, amonium hidroksida (NH_4OH), dan kloroform (CHCl_3).

Prosedur Penelitian

Sintesis senyawa kompleks dilakukan dengan melarutkan 2,50 gram $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ menjadi 20 mL aquadest, kemudian menambahkan larutan amonia pekat secara bertahap sambil diaduk hingga terbentuk larutan biru tua sebagai indikasi pembentukan kompleks. Selanjutnya, etanol 96% ditambahkan secara perlahan, kemudian larutan didinginkan menggunakan penangas es hingga kristal terbentuk. Kristal yang terbentuk disaring menggunakan kertas saring, dicuci dengan etanol dingin, dan dikeringkan dalam oven pada suhu 40-50 ° C.

Karakterisasi senyawa dilakukan melalui pengamatan visual warna kristal serta uji kelarutan menggunakan pelarut polar (H_2O dan NH_4OH) dan nonpolar (CHCl_3 dan etanol) untuk menentukan sifat

kelarutan senyawa kompleks yang terbentuk.

Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui metode pengamatan langsung selama proses sintesis dan karakterisasi, termasuk perubahan warna, pembentukan kristal, dan pengujian kelarutan senyawa. Selain itu, penimbangan massa produk dilakukan untuk mendapatkan data kuantitatif hasil sintesis.

Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan hasil pengamatan dengan teori kimia koordinasi. Analisis kuantitatif dilakukan dengan menghitung hasil hasil sintesis berdasarkan massa produk yang diperoleh.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

1. Sintesis Senyawa Kompleks

$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$

Sintesis senyawa kompleks $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ dilakukan dengan menggunakan metode larutan dengan mereaksikan tembaga(II) sulfat pentahidrat dan amonia pekat. Data eksperimen kuantitatif menunjukkan massa produk 1,21 gram dari massa teoretis 2,50 gram, menghasilkan

hasil 53,1%. Hasil penelitian disajikan pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. Parameter Kuantitatif untuk Sintesis $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$

Parameter	Nilai/Hasil
Massa prekursor ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	2.50 gr
Jumlah $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,0100 mol
Massa eksperimental produk $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$	1,21 gr
Hasil reaksi	53.1 %

(Sumber: Data Eksperimental, 2026)

Pengamatan visual selama proses sintesis mengungkapkan perubahan warna yang signifikan. Larutan biru muda awal berubah menjadi endapan biru pucat pada penambahan awal amonia, dan berubah menjadi larutan biru tua setelah penambahan amonia berlebih.



Gambar 1. $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ Produk Kristal SO_4 dari Sintesis

(Sumber: Hasil Percobaan, 2026)

Karakteristik fisik dan kelarutan produk akhir disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Karakterisasi Kelarutan $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$

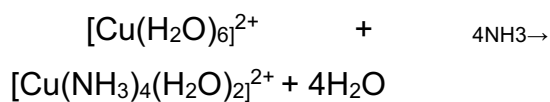
Pelarut	Hasil Pengamatan	Properti Majemuk
Air (H_2O)	Larut (larutan biru tua)	Ionik dan polar
Amonium hidroksida (NH_4OH)	Larut (larutan biru tua)	Pembentukan kompleks yang stabil
Etanol	Tidak larut	Interaksi polaritas rendah
Kloroform (CHCl_3)	Tidak larut	Pelarut nonpolar

2. Pembahasan

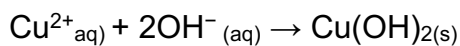
Pembentukan $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ adalah manifestasi dari teori koordinasi Werner, di mana ion Cu^{2+} bertindak sebagai atom pusat yang mengkoordinasikan empat ligan amonia. Pengamatan menunjukkan bahwa senyawa ini bersifat ionik dan polar, sebagaimana dibuktikan dengan kelarutannya yang lengkap dalam air tetapi tidak larut dalam pelarut non-polar seperti kloroform.

Perubahan warna dari biru muda ke biru tua terjadi karena substitusi ligan H_2O oleh NH_3 dalam kompleks

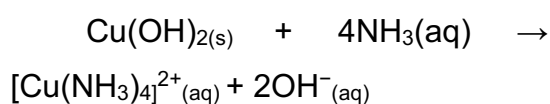
aquo $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$. Menurut Teori Medan Kristal (CFT), amonia adalah ligan pembentuk medan yang lebih kuat daripada air dalam seri spektrokimia. Penggunaan ligan yang lebih kuat ini meningkatkan energi disosiasi medan kristal (Δ_0), sehingga meningkatkan energi yang diserap untuk transisi elektron d-d dan menghasilkan warna biru yang lebih intens. Tindak balas substitusi ligan dapat dinyatakan sebagai berikut:



Pembentukan endapan $\text{Cu}(\text{OH})_2$ biru pucat pada tahap awal reaksi adalah langkah kinetik sementara yang disebabkan oleh sifat dasar amonia yang lemah dalam air, yang menghasilkan ion OH^- . Reaksi ini terjadi sebelum kelebihan amonia ditambahkan, seperti yang ditunjukkan dalam persamaan berikut:



Endapan kemudian larut kembali untuk membentuk kompleks tetramine, yang secara termodinamika lebih stabil karena konstanta formasi (Kf) yang tinggi. Pembubaran ulang endapan dapat dinyatakan sebagai berikut:



Hasil 53,1% menunjukkan efisiensi yang cukup baik untuk skala laboratorium, meskipun masih ada kehilangan massa dibandingkan dengan nilai teoretis. Hal ini konsisten dengan penelitian oleh Wardhani *et al.* (2024), yang menyatakan bahwa efisiensi kristalisasi sangat dipengaruhi oleh kontrol suhu dan pelarut, dengan kehilangan massa sering terjadi selama filtrasi atau sebagai akibat dari penguapan amonia selama pengeringan. Namun demikian, kemurnian produk dipertahankan, sebagaimana dibuktikan dengan pengamatan visual kristal biru tua tanpa warna kehijauan, yang menunjukkan tidak adanya spesies CuCl_2 atau bentuk degradasi lainnya.

Karakterisasi melalui pengujian kelarutan memberikan data yang konsisten dengan studi oleh Baizura *et al.* (2025) pada garam amonium tembaga, yang menegaskan sifat ionik senyawa kompleks dalam pelarut polar. Penggunaan etanol untuk menginduksi kristalisasi terbukti efektif karena mengurangi konstanta dielektrik larutan, memaksa garam kompleks keluar dari fase cair. Hal ini memperkuat analisis bahwa produk yang diperoleh memang garam

kompleks yang stabil secara struktural $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$, sebagaimana didukung lebih lanjut oleh studi supramolekuler tembaga oleh Hasanova *et al.*, (2023).

Penelitian ini memiliki signifikansi praktis yang luas. Senyawa $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ telah dikembangkan sebagai bahan komposit untuk penyimpanan energi termokimia, seperti yang dilaporkan oleh Müller *et al.* (2020), karena stabilitas koordinasi amoniumnya. Selain itu, memahami sintesis kompleks tembaga ini berkontribusi pada bidang perawatan kesehatan sebagai agen terapeutik potensial dan industri sebagai katalis oksidasi yang efisien. Verifikasi eksperimental ini menegaskan bahwa metode larutan sederhana mampu menghasilkan bahan fungsional dengan sifat fisikokimia yang konsisten dengan teori kimia anorganik modern.

D. Kesimpulan

Sintesis dan karakterisasi tetraamminocopper(II) sulfat $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ berhasil dilakukan dengan menggunakan metode laboratorium sederhana, menunjukkan penerapan praktis prinsip-prinsip kimia koordinasi.

Pembentukan senyawa kompleks dikonfirmasi melalui transformasi warna yang berbeda dan perilaku kelarutan, yang secara kualitatif menunjukkan substitusi ligan dan pembentukan kompleks yang stabil. Senyawa ini menunjukkan karakteristik kompleks ionik dan polar, konsisten dengan harapan teoretis, terutama dalam kelarutannya dalam pelarut polar dan ketidaklarutan dalam pelarut nonpolar. Selain itu, hasil yang diperoleh mencerminkan proses sintesis yang cukup efisien pada skala laboratorium, meskipun juga menunjukkan adanya keterbatasan prosedural yang mempengaruhi pemulihan massal. Secara keseluruhan, temuan tersebut memvalidasi bahwa metode sintesis terapan efektif dalam menghasilkan senyawa koordinasi dengan sifat yang selaras dengan teori kimia koordinasi yang mapan, sehingga mencapai tujuan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Atkins, P., de Paula, J., & Keeler, J. (2018). *Atkins' physical chemistry* (11th ed.). Oxford University Press.
- Ariani, F. (2020). Sintesis kompleks Cu(II) dengan tiosemikarbazon

- dan potensinya sebagai anti mikroba. *EcoChem Journal Universitas Bosowa*, 20(2). <https://tinyurl.com/eco-757>
- Baizura, M., Khairunnisa, N., Putri, S. H., & Putri, W. R. (2024). Sintesis dan karakterisasi garam rangkap kupri amonium sulfat heksahidrat. *Jurnal Pendidikan Kimia, Fisika dan Biologi*, 1(5). <https://doi.org/10.61132/jupenkifb.v1i5.679>
- Dong, Y., Zhao, C., & Li, Y. (2025). Ammonia synthesis catalyzed by copper-based metal-organic frameworks. *ACS Applied Energy Materials*. <https://doi.org/10.1021/acsaem.5c00651>
- Guspita, D., & Ulianas, A. (2020). Optimization of complex NH_3 with Cu^{2+} ions to determine ammonia levels by UV-Vis spectrophotometer. *Journal of Physics: Conference Series*, 1481(1), 012040. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1481/1/012040>
- Hasanova, S. S., Yolchueva, E. A., Mashadi, A. Q., Muhammad, S., Ashfaq, M., Muhammed, M. E., Munawar, K. S., Tahir, M. N., Al-Sehemi, A. G., & Alarfaji, S. S. (2023). Synthesis, characterization, crystal structures, and supramolecular assembly of copper complexes derived from nitroterephthalic acid along with Hirshfeld surface analysis and quantum chemical studies. *ACS Omega*, 8, 8530–8540. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c07686>
- Housecroft, C. E., & Sharpe, A. G. (2018). *Inorganic chemistry* (5th ed.). Pearson Education.
- Miessler, G. L., Fischer, P. J., & Tarr, D. A. (2014). *Inorganic chemistry* (5th ed.). Pearson Education.
- Mustofa Ahda, M. S., Dr. apt. Hari Susanti, M. S., & Dr. apt. Nina Salamah, M. S. (2023). *KIMIA ANALISIS II*. Yogyakarta: PUSTAKA PELAJAR.
- Müller, D., Knoll, C., Gravogl, G., & Lager, D. (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>
- Saputro, A. N. C. (2021). *KONSEP DASAR KIMIA KOORDINASI*. Yogyakarta: deepublish.
- Soni, P. L., & Soni, V. (2021). *The Chemistry Of Coordination Complexes and Transition Metals*. Milton Park, Abingdon, Oxon: CRC PRESS Tylor & Francis Group (Manakin Press).
- Yu, H., Yan, S., Zhang, J., & Wang, H. (2025). Kinetic understanding of electroreduction of nitrate to

ammonia using Cu-based catalyst. *Catalysts*, 15(5), 491.
<https://doi.org/10.3390/catal15050491>

Zhang, Q., Zhang, H., & Li, C. (2021). Role of transition metals in catalysis and material development. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 13(12), 14167–14177.
<https://doi.org/10.1021/acsami.0c19234>

Zhang, X., et al. (2024). Multifunctional effect of copper in bimetallic Cu-based catalysts for NH₃ decomposition. *Applied Surface Science*, 669, 160396.
<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2024.160396>

Yusnidar Yusuf, M. S. (2018). *KIMIA DASAR*. Jakarta Selatan: EduCenter Indonesia.