Indonesian Journal of Materials Chemistry

Program Studi Kimia - Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga

Vol. 5, No. 2, 2025
ISSN 2654-3737 (print), ISSN 2654-556X (online)

Tinjauan Literatur: Kompleks Ion Logam Transisi Berbasis Ligan Bidentat dan Aplikasinya sebagai Antimikroba

Anggita Putri Dwi Saptya Ningrum, Dini Nindita Widyastuti, Elrica Dinda Saputri, Ninis Aryunis Dinanti, Sindi Fantika Sari

Afiliasi: Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga
Email: anggitaputridsn@gmail.com

This publication is licensed under a

Abstrak. Resistensi antimikroba merupakan permasalahan kesehatan global yang mendorong perlunya pengembangan agen antimikroba alternatif. Kompleks ion logam transisi berbasis ligan bidentat telah banyak dilaporkan memiliki potensi sebagai antimikroba karena kestabilan struktural dan aktivitas biologisnya yang meningkat dibandingkan ligan bebas. Tinjauan literatur ini bertujuan untuk mengkaji secara sistematis karakteristik kompleks logam transisi–ligan bidentat serta aplikasinya sebagai agen antimikroba. Kajian ini mencakup pembahasan mengenai pengertian ligan bidentat, jenis logam transisi yang umum digunakan seperti Cu, Ni, Co, dan Zn, serta pengaruh khelasi terhadap stabilitas dan aktivitas biologis kompleks. Selain itu, ditinjau pula metode sintesis umum, teknik karakterisasi utama seperti spektroskopi inframerah dan UV-Vis, serta perbandingan aktivitas antimikroba antara ligan bebas dan kompleks logamnya terhadap berbagai jenis mikroorganisme uji. Mekanisme kerja antimikroba kompleks logam transisi juga dibahas secara umum melalui teori khelasi dan interaksi kompleks dengan sel mikroba. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa pembentukan kompleks logam–ligan bidentat umumnya meningkatkan aktivitas antimikroba akibat meningkatnya lipofilisitas dan kemampuan interaksi dengan biomolekul sel mikroba. Berdasarkan kajian tersebut, dapat disimpulkan bahwa kompleks ion logam transisi berbasis ligan bidentat memiliki potensi yang signifikan untuk dikembangkan sebagai agen antimikroba alternatif dalam menghadapi resistensi antimikroba.

Kata Kunci: kompleks logam transisi; ligan bidentat; antimikroba; resistensi antimikroba; tinjauan literatur.

Abstract. *Antimicrobial resistance is a global health problem that necessitates the development of alternative antimicrobial agents. Transition metal ion complexes based on bidentate ligands have been widely reported to exhibit promising antimicrobial potential due to their enhanced structural stability and biological activity compared to free ligands. This literature review aims to systematically examine the characteristics of transition metal–bidentate ligand complexes and their applications as antimicrobial agents. The review discusses the definition of bidentate ligands, commonly used transition metals such as Cu, Ni, Co, and Zn, and the effect of chelation on the stability and biological activity of the complexes. In addition, general synthesis methods, major characterization techniques including infrared and UV–Vis spectroscopy, and comparisons of antimicrobial activity between free ligands and their metal complexes against various tested microorganisms are reviewed. The antimicrobial mechanisms of transition metal complexes are also discussed in general, focusing on chelation theory and the interaction of the complexes with microbial cells. The reviewed studies indicate that the formation of transition metal–bidentate ligand complexes generally enhances antimicrobial activity due to increased lipophilicity and improved interactions with essential biomolecules in microbial cells. Based on this review, transition metal ion complexes based on bidentate ligands show significant potential to be developed as alternative antimicrobial agents to address antimicrobial resistance.*

Keywords: *transition metal complexes; bidentate ligands; antimicrobials; antimicrobial resistance; literature review.*

Pendahuluan

Resistensi antimikroba telah menjadi permasalahan kesehatan global yang serius akibat meningkatnya kemampuan mikroorganisme patogen untuk bertahan terhadap antibiotik yang umum digunakan. Berbagai laporan menunjukkan bahwa bakteri Gram-positif maupun Gram-negatif mengalami penurunan sensitivitas terhadap antibiotik konvensional, sehingga mendorong pencarian senyawa antimikroba alternatif dengan mekanisme kerja yang berbeda. Dalam konteks ini, bidang kimia bioanorganik berkembang pesat dengan memanfaatkan kompleks ion logam transisi sebagai kandidat agen antimikroba karena aktivitas biologisnya yang luas, termasuk antibakteri dan antijamur (Abu-Dief & Mohamed, 2015).

Kompleks ion logam transisi berbasis ligan bidentat menunjukkan potensi antimikroba yang tinggi karena karakteristik struktur dan sifat kimianya. Ligan bidentat, seperti asam amino dan turunannya, mampu berkoordinasi melalui dua atom donor membentuk cincin khelat yang stabil. Proses khelasi ini dapat meningkatkan lipofilisitas senyawa, sehingga mempermudah penetrasi kompleks ke dalam membran sel mikroorganisme dan meningkatkan interaksi dengan target biologis. Berbagai penelitian yang dikompilasi dalam artikel review menunjukkan bahwa kompleks logam dari Cu(II), Fe(III), Co(II), Ni(II), dan Zn(II) dengan ligan bidentat umumnya

memiliki aktivitas antimikroba yang lebih tinggi dibandingkan ligan bebasnya, yang dijelaskan melalui teori khelasi dan peningkatan permeabilitas membran sel mikroba (Abu-Dief & Mohamed, 2015)

Selain ligan basa Schiff yang banyak dilaporkan dalam literatur, ligan bidentat sederhana seperti asam amino juga memiliki peran penting dalam pembentukan kompleks logam transisi yang stabil. Studi karakterisasi kompleks logam transisi Cr, Mn, dan Ag dengan glisin menunjukkan bahwa glisin berkoordinasi melalui atom nitrogen dan oksigen, membentuk ikatan kovalen koordinasi yang jelas teridentifikasi melalui spektroskopi inframerah dan UV-Vis. Kompleks yang terbentuk memiliki sifat kimia yang berbeda dibandingkan ligan bebasnya, yang menjadi dasar penting dalam pengembangan aplikasi biologis senyawa kompleks logam transisi (Sudjana et al., 2002) Berdasarkan berbagai temuan tersebut, dapat disimpulkan bahwa kompleks ion logam transisi berbasis ligan bidentat memiliki prospek besar sebagai agen antimikroba alternatif. Oleh karena itu, tinjauan literatur ini bertujuan untuk mengkaji secara komprehensif perkembangan penelitian terkait jenis logam transisi, karakteristik ligan bidentat, serta aktivitas antimikroba yang dilaporkan, sehingga dapat memberikan landasan ilmiah yang kuat bagi pengembangan senyawa antimikroba berbasis logam di masa mendatang.

Bahan dan Metode

Bahan Penelitian

Bahan kajian dalam review ini terdiri atas publikasi ilmiah berupa artikel jurnal dan karya ilmiah akademik (skripsi dan tesis) yang membahas kompleks ion logam transisi berbasis ligan bidentat beserta aplikasinya dalam bidang antimikroba.

Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini berupa perangkat lunak pengolah kata untuk penulisan dan pengelolaan dokumen, serta akses ke basis data jurnal ilmiah daring yang digunakan dalam penelusuran dan pengumpulan artikel ilmiah.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur dengan meninjau sejumlah jurnal ilmiah yang membahas kompleks ion logam transisi berbasis ligan bidentat serta aplikasinya dalam bidang antimikroba. Setiap jurnal yang ditelaah dianalisis secara umum berdasarkan fokus penelitian, metode yang digunakan, dan hasil yang diperoleh.

Hasil dan Pembahasan

Ligan bidentat merupakan ligan yang memiliki dua atom donor yang mampu berkoordinasi dengan ion logam pusat sehingga membentuk cincin khelat yang stabil (Kumar et al., 2022). Ligan Schiff base merupakan jenis ligan bidentat yang paling banyak digunakan dalam pengembangan kompleks logam transisi sebagai agen antimikroba karena kemudahan sintesis dan fleksibilitas strukturnya (Rahman et al., 2025). Beberapa logam transisi seperti Cu(II), Zn(II), Co(II), dan Ni(II) telah banyak digunakan dalam pembentukan kompleks ligan bidentat dan dilaporkan menunjukkan aktivitas antimikroba yang baik (Sharma et al., 2022). Peningkatan aktivitas antimikroba kompleks logam dibandingkan ligan bebasnya dikaitkan dengan efek khelasi yang meningkatkan kestabilan dan lipofilisitas kompleks sehingga mempermudah penetrasi ke dalam sel mikroba (Alam et al., 2022).

Sintesis kompleks logam transisi berbasis ligan bidentat umumnya dilakukan melalui reaksi kompleksasi antara ion logam dan ligan dalam pelarut organik seperti etanol atau metanol menggunakan metode refluks atau pengadukan pada suhu tertentu (Fahmy et al., 2023). Metode ini dipilih karena mampu mempercepat pembentukan ikatan koordinasi antara atom donor ligan dan ion logam sehingga menghasilkan kompleks yang relatif stabil dan homogen (Tavman et al., 2019). Logam transisi yang paling sering digunakan dalam pembentukan kompleks ligan bidentat adalah Cu(II), Zn(II), dan Ni(II) karena kestabilan kimia serta kemampuannya membentuk kompleks yang kuat dengan berbagai ligan (Zavaroni et al., 2025). Selain itu, penggunaan logam lain seperti Co(II), Fe(III), Pd(II), dan Ag(I) juga dilaporkan untuk mengevaluasi pengaruh jenis logam terhadap sifat biologis kompleks yang dihasilkan (Tavman et al., 2019). Ligan bidentat yang digunakan umumnya memiliki atom donor nitrogen dan oksigen (N,O) atau nitrogen dan sulfur (N,S), seperti basa Schiff dan turunannya (Iacopetta et al., 2023). Ligan dengan tipe donor tersebut mampu membentuk cincin khelat lima atau enam anggota yang meningkatkan stabilitas termodinamika kompleks logam (Iacopetta et al., 2023).

Pembentukan kompleks ion logam transisi dengan ligan bidentat meningkatkan aktivitas antimikroba melalui mekanisme khelasi, di mana koordinasi ligan menghasilkan cincin khelat yang stabil, menyebabkan delokalisasi elektron dan penurunan muatan efektif ion logam sehingga meningkatkan

sifat lipofilik kompleks dan mempermudah penetrasi ke membran lipid sel mikroba (Rizzotto, 2010). Peningkatan lipofilisitas ini memungkinkan kompleks mengganggu integritas membran sel dengan merusak susunan lipid dan protein membran, yang berujung pada kebocoran ion esensial dan kegagalan fungsi seluler (Ngece et al., 2025). Selain itu, kompleks ion logam bidentat dapat mengganggu homeostasis logam intraseluler dengan mengikat atau menggantikan ion logam esensial pada metaloenzim, sehingga menghambat aktivitas enzim yang berperan dalam metabolisme dan replikasi mikroba (Kontoghiorghes, 2020). Beberapa kompleks logam juga bersifat redoks aktif dan mampu mengkatalisis pembentukan spesies oksigen reaktif (ROS) yang menyebabkan kerusakan oksidatif pada lipid, protein, dan DNA mikroba (Gulcin & Alwasel, 2022). Setelah memasuki sitoplasma, kompleks dapat berinteraksi langsung dengan DNA melalui ikatan elektrostatik atau koordinasi dengan gugus fosfat, sehingga menghambat proses replikasi dan transkripsi (Rizzotto, 2010). Kompleks logam bidentat juga mampu berikatan dengan protein intraseluler melalui gugus donor tertentu, menyebabkan denaturasi protein dan inaktivasi enzim yang mempercepat kematian sel mikroba (Ngece et al., 2025). Kombinasi berbagai mekanisme ini menjadikan kompleks ion logam transisi berbasis ligan bidentat bekerja secara multitarget, sehingga lebih efektif dan berpotensi menurunkan risiko resistensi mikroba dibandingkan agen antimikroba konvensional (Ngece et al., 2025).

Hasil review berikut ini adalah hasil dari sumber data review berdasarkan pencarian yang membahas mengenai Tinjauan Literatur: Kompleks Ion Logam Transisi Berbasis Ligan Bidentat dan Aplikasinya sebagai Antimikroba :

Ligan & Logam	**Mikroorganisme Uji**	**Metode Uji**	**Hasil Utama**
Schiff base + Zn(II), Cu(II), dll.	*S. aureus*, *E. coli*	Agar disc diff + MIC	Complex Zn(II) paling aktif, MIC rendah vs ligan bebas (PubMed)
SB + Co(II), Ni(II), Cu(II), Zn(II)	*E. coli*, *K. pneumoniae*, dll.	MIC	Kompleks logam > ligan bebas (PubMed)
Cu(II), Co(II), Ni(II), Mn(II), UO_2(II)	Bakteri & jamur	Agar well + MIC + MMC	Efektif terutama antifungal (SpringerLink)
SB with Fe, Cu, Zn	*S. aureus*, *E. coli*, *M. luteus*	IZD disk diffusion	Cu(II) aktif terhadap *E. coli*, *S. aureus* (MDPI)
Schiff base + Cu(II)	*E. coli*, *S. aureus*	LC_{50} dilusi cair	Kompleks lebih aktif dari ligan bebas (E-Journal UNDIP)

Tabel 1. Data Hasil Review Pengaplikasian Ligan Bidentat Sebagai Antimikroba

Berdasarkan tabel hasil yang disusun dari berbagai jurnal, kita dapat menjelaskan bahwa:

1. Schiff base + Zn(II), Cu(II), dll pada jurnal yang ditulis oleh J.R Anacona et al. (2021)

Jurnal J.R Anacona et al. (2021) ini melaporkan sintesis ligan Schiff base turunan ceftriaxone yang dikomplekskan dengan ion logam Mn(II), Co(II), Ni(II), Cu(II), dan Zn(II). Aktivitas antibakteri kompleks diuji terhadap Staphylococcus aureus dan Escherichia coli menggunakan metode agar disc diffusion sebagai skrining awal serta penentuan nilai Minimum Inhibitory Concentration (MIC) untuk evaluasi kuantitatif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh kompleks logam memiliki aktivitas antibakteri yang lebih tinggi dibandingkan ligan bebasnya. Di antara kompleks yang diuji, kompleks Zn(II) menunjukkan aktivitas paling optimal dengan nilai MIC terendah terhadap kedua bakteri uji, menandakan peningkatan efektivitas antibakteri yang signifikan akibat pembentukan kompleks logam. Temuan ini menegaskan bahwa pengompleksan ligan Schiff base turunan ceftriaxone dengan ion logam, khususnya Zn(II), berperan penting dalam meningkatkan potensi antibakteri senyawa tersebut.

2. SB + Co(II), Ni(II), Cu(II), Zn(II) dalam jurnal yang ditulis oleh Reiss et al. (2014)

Reiss et al. (2014) melaporkan sintesis dan aktivitas antimikroba kompleks logam transisi dengan ligan Schiff base turunan cefotaxime yang diperoleh melalui reaksi kondensasi dengan salisaldehida. Ligan yang terbentuk bersifat bidentat dan berkoordinasi melalui atom nitrogen azometin dan oksigen fenolat dengan ion logam Co(II), Ni(II), Cu(II), dan Zn(II). Uji aktivitas antimikroba secara in vitro terhadap bakteri Gram-positif dan Gram-negatif, termasuk strain resisten, dilakukan menggunakan metode difusi cakram, penentuan MIC, serta uji penghambatan biofilm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh kompleks logam memiliki aktivitas antibakteri yang lebih tinggi dibandingkan ligan bebas dan cefotaxime, dengan kompleks Cu(II) menunjukkan aktivitas paling kuat dan kompleks Co(II) memiliki spektrum aktivitas paling luas. Peningkatan aktivitas ini dikaitkan dengan efek khelasi yang meningkatkan lipofilisitas dan penetrasi kompleks ke dalam sel bakteri, sehingga kompleks tersebut berpotensi dikembangkan sebagai kandidat awal agen antimikroba baru.

3. Cu(II), Co(II), Ni(II), Mn(II), UO_2(II) dalam jurnal yang ditulis A.Z. El- Sonbati et al. (2025)

Jurnal A.Z. El- Sonbati et al. (2025) ini melaporkan sintesis kompleks logam bivalen Cu(II), Co(II), Ni(II), Mn(II), dan UO_2(II) dengan ligan basa Schiff hasil kondensasi 2,4-dihidroksibenzaldehida dan 2-amino-3-hidroksipiridina. Aktivitas antimikroba diuji terhadap bakteri Gram-positif, Gram-negatif, dan jamur patogen menggunakan metode agar well diffusion, penentuan MIC, dan MMC. Hasil menunjukkan bahwa seluruh kompleks logam memiliki aktivitas yang lebih tinggi dibandingkan ligan bebas, dengan kompleks Mn(II) dan UO_2(II) menunjukkan potensi antijamur paling kuat. Peningkatan aktivitas dijelaskan melalui efek khelasi yang meningkatkan lipofilisitas dan penetrasi membran sel mikroba, didukung oleh hasil molecular docking dan uji DPPH yang menunjukkan aktivitas antioksidan signifikan.

4. SB with Fe, Cu, Zn dalam jurnal yang ditulis oleh Domenico Iacopetta et al. (2023)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Domenico Iacopetta et al. (2023) kompleks logam berbasis ligan basa Schiff sebagai kandidat agen antimikroba baru. Ligan basa Schiff memiliki gugus azometin (>C=N–) yang mudah dimodifikasi dan mampu berkoordinasi stabil dengan berbagai logam, termasuk logam transisi dan lantanida, untuk meningkatkan aktivitas biologisnya. Pengujian difokuskan pada mikroorganisme resisten seperti kelompok ESKAPE serta jamur patogen, menggunakan metode in vitro (agar well diffusion dan MIC) dan in silico (molecular docking). Hasil menunjukkan bahwa kompleks logam secara signifikan lebih aktif dibandingkan ligan bebas dan bahkan antibiotik standar, yang dijelaskan melalui efek khelasi yang meningkatkan lipofilisitas dan kemampuan penetrasi senyawa ke dalam sel mikroba. Temuan ini menegaskan potensi kompleks logam basa Schiff sebagai kandidat kuat pengembangan agen antimikroba masa depan.

5. Schiff base + Cu(II) dalam jurnal yang ditulis oleh Chasanah et al. (2015)

Chasanah et al. (2015) mensintesis kompleks Cu(II) dengan ligan basa Schiff N-benziliden anilin dan mengevaluasi aktivitas antibakterinya terhadap Escherichia coli dan Staphylococcus aureus. Sintesis kompleks dilakukan menggunakan metode elektrokimia pada suhu ruang, dengan memanfaatkan elektroda tembaga sebagai sumber ion logam. Aktivitas antibakteri diuji menggunakan metode dilusi cair untuk menentukan nilai LC_{50}. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kompleks Cu(II) memiliki aktivitas antibakteri yang lebih tinggi dibandingkan ligan bebas, yang ditunjukkan oleh nilai LC_{50} yang lebih rendah terhadap E. coli (3,75 ppm) dan S. aureus (2,601 ppm). Peningkatan aktivitas ini dikaitkan dengan pembentukan kompleks logam yang meningkatkan interaksi senyawa dengan sel bakteri, sehingga lebih efektif menghambat pertumbuhan bakteri.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil tinjauan literatur terhadap berbagai jurnal, dapat disimpulkan bahwa pembentukan kompleks ion logam transisi berbasis ligan bidentat, khususnya ligan Schiff base, secara konsisten meningkatkan aktivitas antimikroba dibandingkan ligan bebasnya. Peningkatan aktivitas ini terutama dipengaruhi oleh efek khelasi yang meningkatkan kestabilan, lipofilisitas, dan kemampuan penetrasi kompleks ke dalam sel mikroba, serta memungkinkan interaksi multitarget dengan membran, enzim, DNA, dan protein intraseluler. Dari berbagai logam transisi yang ditinjau, kompleks Zn(II) dan Cu(II) menunjukkan efektivitas antibakteri paling menonjol, terutama terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*, dengan nilai MIC atau LC_{50} yang lebih rendah dibandingkan kompleks logam lain maupun ligan bebas. Kompleks Zn(II) dilaporkan memiliki

aktivitas optimal dan relatif stabil terhadap bakteri Gram-positif dan Gram-negatif, sedangkan kompleks Cu(II) unggul dalam spektrum aktivitas yang luas dan kekuatan antibakteri tinggi. Sementara itu, kompleks Mn(II) dan UO_2(II) menunjukkan efektivitas yang lebih menonjol pada aktivitas antijamur. Dengan demikian, efektivitas kompleks logam bidentat sangat dipengaruhi oleh jenis ion logam pusat dan sifat ligan yang digunakan, di mana kompleks Schiff base–Zn(II) dan Schiff base–Cu(II) dapat dianggap sebagai kandidat paling potensial untuk pengembangan agen antimikroba baru.

Daftar Pustaka

Abu-Dief, A. M., & Mohamed, I. M. A. (2015). A review on versatile applications of transition metal complexes incorporating Schiff bases. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(2), 119–133.

Alam, M. S., Lee, D. U., & Lee, J. H. (2022). Synthesis, characterization, and antimicrobial activity of transition metal complexes with bidentate ligands. *International Journal of Biomaterials*, 2022, 1–12.

Anacona, J. R., Rodriguez, I., & Camus, J. (2021). *Synthesis, characterization and antibacterial activity of metal complexes derived from a ceftriaxone-based Schiff base*. Journal of Molecular Structure, 1235, 130201.

Chasanah, U., Handayani, M., & Rahmawati, N. (2015). *Sintesis dan uji aktivitas antibakteri kompleks Cu(II) dengan ligan basa Schiff N-benziliden anilin*. Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi, 18(2), 45–51.

El-Sonbati, A. Z., Diab, M. A., El-Bindary, A. A., & Mohamed, G. G. (2025). *Synthesis, characterization, molecular docking, antioxidant and antimicrobial studies of bivalent metal complexes derived from a Schiff base ligand*. Journal of Molecular Structure, 1308, 135798.

Fahmy, H. M., Abdel-Rahman, F. M., El-Sayed, A. A., & El-Sherif, A. A. (2023). Study of novel bidentate heterocyclic amine-based metal complexes and their biological activities: Cytotoxicity and antimicrobial activity evaluation. *BMC Chemistry*, *17*(78), 1–28.

Gulcin, İ., & Alwasel, S.H. (2022). Metal ions, metal chelators and metal chelating assay as antioxidant method. *Processes*, 10(1), 132.

Iacopetta, D., Ceramella, J., Catalano, A., Mariconda, A., Giuzio, F., Saturnino, C., Longo, P., & Sinicropi, M. S. (2023). Metal complexes with Schiff bases as antimicrobials and catalysts. *Inorganics*, *11*(8), 320.

Kontoghiorghes, G.J. (2020). Advances on chelation and chelator metal complexes in medicine. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(7), 2499.

Kumar, S., Sharma, P., & Singh, R. (2023). Transition metal complexes of bidentate ligands: Synthesis, structural characterization, and biological applications. *Journal of King Saud University – Science,* 35(7), 102463.

Ngece, K., Khwaza, V., Paca, A.M., & Aderibigbe, B.A. (2025). The antimicrobial efficacy of copper complexes: A review. *Antibiotics*, 14(5), 516.

Rahman, M. M., Islam, M. S., & Hossain, M. A. (2025). Schiff base bidentate ligand-based metal complexes: Structural aspects and antimicrobial properties. *Structural Chemistry*, 36, 1–15.

Reiss, A., Florea, S., Caproiu, M. T., & Daniliuc, C. G. (2014). *Transition metal complexes with Schiff bases derived from cefotaxime: Synthesis, characterization and antimicrobial activity*. Journal of Inorganic Biochemistry, 141, 26–35.

Rizzotto, M. (2010). *Metal complexes as antimicrobial agents*. National University of Rosario, Argentina.

Sharma, A., Verma, S., & Chauhan, R. (2022). Metal complexes as antimicrobial agents: Role of chelation and metal ions. *Chemistry*, 4(2), 450–468.

Sudjana, E., Abdurachman, M., & Yuliasari, Y. (2002). Karakterisasi senyawa kompleks logam transisi Cr, Mn, dan Ag dengan glisin melalui spektrofotometri ultraungu dan sinar tampak. *Jurnal Bonatura*, 4(2), 69–86.

Tavman, A., Hacioglu, M., Gürbüz, D., Cinarli, A., Oksüzömer, M. A. F., & Tan, A. S. B. (2019). Spectral characterization and antimicrobial activity of some transition metal complexes of 2-(5-nitro-1H-benzimidazol-2-yl)-4-bromophenol. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, *33*(3), 451–466

Zavaroni, A., Rigamonti, L., Bisceglie, F., Carcelli, M., Pelosi, G., Gentilomi, G. A., Rogolino, D., & Bonvicini, F. (2025). Antimicrobial activity of copper(II), nickel(II) and zinc(II) complexes with semicarbazone and thiosemicarbazone ligands derived from substituted salicylaldehydes. *Molecules*, *30*(11), 2329.