



Sintesis dan Karakterisasi Spektroskopik UV-Vis dan FTIR pada Senyawa Kompleks Zn(II): Analisis Komparatif Pergeseran Transisi Elektronik Berbagai Ligan Organik pada Potensi Pengembangan Zinc-Organic Frameworks (ZOFs)

Najya Rahmadany, Annisa Azzahro Ekasuci, Akhirul Zahran Asy-Syifa, Actira Aldora
Alfreda

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

Abstrak. Pengembangan material berbasis Zinc-Organic Frameworks and Complexes (ZOFs) merupakan fokus utama dalam kimia koordinasi karena stabilitas dan porositasnya. Tantangan utama dalam sintesis senyawa ini adalah membuktikan terjadinya ikatan koordinasi yang sempurna antara logam Zn(II) dengan ligan organik. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis komparatif terhadap hasil sintesis dan karakterisasi spektroskopik senyawa kompleks Zn(II) guna mengidentifikasi pergeseran transisi elektronik dan pembentukan ikatan koordinasi baru. Metode yang digunakan adalah studi pustaka dan analisis komparatif terhadap sepuluh literatur ilmiah mengenai sintesis kompleks Zn(II) dengan berbagai ligan. Instrumen utama yang dianalisis adalah spektroskopi UV-Vis dan FTIR. Hasil analisis menunjukkan bahwa sintesis ZOFs berhasil dilakukan, ditandai dengan pergeseran panjang gelombang pada spektrum UV-Vis akibat transisi LMCT atau MLCT. Analisis FTIR memperkuat bukti koordinasi dengan munculnya serapan baru pada daerah bilangan gelombang rendah ($400\text{--}600\text{ cm}^{-1}$) yang merupakan vibrasi ulur Zn-O dan Zn-N, serta pergeseran gugus fungsi utama ligan. Karakterisasi spektroskopik secara efektif membuktikan keberhasilan sintesis sistem koordinasi Zn(II), memberikan pemahaman mendalam mengenai dinamika elektronik dan struktural pada material ZOFs.

Kata kunci: Sintesis, ZOFs, Zn(II), UV-Vis, FTIR, Ikatan Koordinasi

Abstract: The development of materials based on Zinc-Organic Frameworks and Complexes (ZOFs) is a primary focus in coordination chemistry due to their stability and porosity. The main challenge in synthesis is verifying the formation of stable coordination bonds between Zn(II) ions and organic ligands. This study aims to perform a comparative analysis of the synthesis and spectroscopic characterization of Zn(II) complexes to identify electronic transition shifts and new coordination bonds. The method employed is a literature review and comparative analysis of ten scientific papers regarding the synthesis of Zn(II) complexes with various ligands. The primary instruments analyzed are UV-Vis and FTIR spectroscopy. Analysis results indicate that ZOFs synthesis was successful, marked by wavelength shifts in the UV-Vis spectra due to LMCT or MLCT transitions. FTIR analysis confirms coordination through the appearance of new absorption bands in the low wavenumber region ($400\text{--}600\text{ cm}^{-1}$), representing Zn-O and Zn-N stretching vibrations, alongside shifts in the ligand's functional groups. Spectroscopic characterization effectively proves the successful synthesis of Zn(II) coordination systems, providing deep insights into the electronic and structural dynamics of ZOF materials.

Keywords: Synthesis, ZOFs, Zn(II), UV-Vis, FTIR, Coordination Bond.

This publication is licensed under a



Pendahuluan

Pengembangan material berbasis *Zinc-Organic Frameworks and Complexes* (ZOFs) saat ini menjadi fokus utama dalam kimia koordinasi karena kemampuannya dalam menciptakan material berpori dengan stabilitas tinggi. Namun, tantangan utama dalam sintesis senyawa koordinasi Zn(II) adalah memastikan terjadinya ikatan koordinasi yang stabil antara pusat logam dengan ligan organik yang kompleks. Permasalahan sering muncul pada sulitnya mengidentifikasi apakah ligan telah berhasil terkoordinasi secara sempurna atau hanya bercampur secara fisik, sehingga diperlukan analisis spektroskopik untuk mengidentifikasi hal tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memetakan perubahan struktural melalui transisi elektronik dan vibrasi gugus fungsi untuk membuktikan keberhasilan pembentukan sistem kerangka koordinasi Zink tersebut.

Pemahaman mengenai mekanisme pembentukan sistem ini merujuk pada prinsip dasar senyawa koordinasi. Senyawa koordinasi atau senyawa kompleks adalah struktur kimia yang terbentuk melalui ikatan yang terbina antara ligan dan ion pusat logam, sebagaimana dijelaskan oleh Hermawati et al. (2016). Dalam struktur ini, ligan berperan sebagai donor pasangan elektron yang berinteraksi dengan logam transisi seperti Zinc (Zn), Tembaga (Cu), atau Nikel (Ni), sehingga menghasilkan senyawa dengan berbagai aplikasi (Setyawati et al., 2017). Dalam konteks pengembangan ZOFs, pemilihan ligan menjadi parameter penentu sifat material yang dihasilkan. Penggunaan ligan organik seperti 8-hidroksikuinolin (Hermawati et al., 2016), astaxanthin (Rahmalia et al., 2023), katekin (Putri et al., 2019), serta turunan basa Schiff (Saeed et al., 2022) menjadi fokus utama karena keunggulan stabilitas dan aktivitas biologisnya yang tinggi. Pembentukan ikatan ini sangat bergantung pada

keberadaan atom donor, khususnya nitrogen dan oksigen pada ligan, yang mampu berkoordinasi dengan orbital kosong di pusat logam (Udoisang & Okonkwo, 2022).

Karakterisasi senyawa kompleks dilakukan dengan metode spektroskopi UV-Vis, yang merupakan teknik penting untuk memastikan keberhasilan sintesis melalui pengamatan pergeseran transisi elektronik pada spektrum (Liu et al., 2006). Secara umum, terbentuknya kompleks logam-ligan dapat dikenali dari pergeseran panjang gelombang maksimum (λ_{max}) yang terjadi jika dibandingkan dengan ligan dalam keadaan bebasnya (Wibowo et al., 2021). Pergeseran ini bisa bersifat batokromik maupun hipsokromik, salah satu contohnya seperti yang terlihat pada kompleks Zn-astaxanthin dalam pelarut aseton (Rahmalia et al., 2023), atau menunjukkan munculnya puncak serapan baru yang menandakan lingkungan elektronik yang berbeda dari ligan awal (Charitha & Kavitha, 2025). Analisis spektrum UV-Vis ini sangat bermanfaat untuk menentukan rasio optimal dan durasi reaksi dalam proses pembentukan kompleks logam (Wibowo et al., 2021).

Identifikasi ikatan koordinasi yang terbentuk juga didukung oleh analisis spektrum FTIR dengan memantau perubahan gugus fungsi tertentu (Alorini et al., 2022). Bukti kuat dari koordinasi ini biasanya ditunjukkan oleh pergeseran bilangan gelombang atau penurunan intensitas pada gugus aktif seperti karbonil (C=O), hidroksil (-OH), atau azometin ($-C=N$) (Saeed et al., 2022; Alorini et al., 2022). Secara khusus, terbentuknya ikatan logam-ligan dikonfirmasi dengan munculnya pita serapan baru di daerah bilangan gelombang rendah yang menunjukkan vibrasi logam-oksigen (M-O) maupun logam-nitrogen (M-N) (Setyawati et al., 2017).

Sintesis senyawa koordinasi melibatkan pembentukan ikatan antara ion logam pusat dengan ligan melalui pendonoran pasangan elektron bebas. Di antara berbagai logam transisi, Seng (Zn) menarik perhatian khusus dalam pembentukan *Zinc-Organic Frameworks and Complexes* karena konfigurasi elektronnya yang stabil $[Ar]3d^{10}$. Sebagai logam golongan 12, ion Zn(II) tidak memiliki orbital d kosong (terisi penuh), sehingga senyawa kompleks Zn(II) tidak menunjukkan transisi elektronik d-d yang umum ditemukan pada logam transisi lainnya. Oleh karena itu, spektroskopi UV-Vis pada kompleks Zn(II) didominasi oleh transisi transfer muatan (*charge transfer*) dan transisi intraligan (Putri et al., 2019). Jenis transisi muatan yang terjadi pada senyawa kompleks dan dapat diamati melalui spektrum UV-Vis jika dilihat dari arah perpindahan elektron antara logam pusat dan ligan dapat dibagi menjadi dua, diantaranya LMCT dan MLCT. Terdapat juga transisi intraligan yang merupakan jenis transisi elektronik yang terjadi di dalam ligan itu sendiri.

LMCT (*Ligand-to-Metal Charge Transfer*) terjadi ketika elektron berpindah dari orbital ligan yang kaya akan elektron (seperti atom donor O, N, atau S) ke orbital kosong pada logam pusat Zn(II) (Wibowo et al., 2021). Secara spektroskopi, pembentukan kompleks ini dibuktikan dengan adanya pergeseran batokromik (pergeseran ke arah panjang gelombang yang lebih panjang/energi lebih rendah). Pergeseran ini menandakan bahwa energi yang dibutuhkan untuk eksitasi elektron menjadi

lebih kecil setelah ligan terikat pada logam Zn(II) (Rahmalia et al., 2023). Selain data elektronik, keberhasilan sintesis senyawa koordinasi Zn(II) juga dikonfirmasi melalui analisis spektroskopi FTIR untuk memetakan perubahan vibrasi molekuler. Munculnya puncak serapan khas pada daerah bilangan gelombang yang rendah, yang merepresentasikan vibrasi ikatan baru seperti Zn-O dan Zn-N, menjadi kuat adanya interaksi koordinatif antara ion pusat dengan atom donor ligan (Setyawati et al., 2017).

Selain itu, terdapat MLCT (*Metal-to-Ligand Charge Transfer*) yang merupakan jenis transisi elektronik yang terjadi ketika elektron berpindah dari orbital yang didominasi oleh karakter logam (orbital d atau f yang terisi) ke orbital kosong yang didominasi oleh karakter ligan, biasanya orbital π (antibonding) pada ligan yang memiliki sistem konjugasi. Fenomena ini umumnya ditemukan pada senyawa kompleks di mana logam pusat berada dalam bilangan oksidasi rendah (kaya elektron) dan berikatan dengan ligan yang bersifat akseptor π seperti bipyridine, phenanthroline, atau gugus karbonil (Weller et al., 2018). Karena transisi ini diizinkan secara orbital (*Laporte-allowed*), MLCT menghasilkan serapan warna yang sangat kuat dan intens pada spektrum UV-Vis (Skoog et al., 2018).

Karakterisasi fotofisika senyawa kompleks logam transisi dengan ligan akseptor π umumnya didominasi oleh fenomena *Metal-to-Ligand Charge Transfer* (MLCT). Transisi elektronik ini melibatkan eksitasi elektron dari orbital d logam ke orbital π^* ligan, yang secara eksperimental teramati sebagai pita serapan intensitas tinggi pada spektrum UV-Vis (Skoog et al., 2018). Selain itu, fenomena MLCT memberikan pengaruh signifikan terhadap profil vibrasi ligan melalui mekanisme back-donation, di mana peningkatan densitas elektron pada orbital antibonding ligan mengakibatkan penurunan frekuensi regangan dalam analisis FTIR (Housecroft & Sharpe, 2018).

Fenomena spektroskopik lain yang diamati adalah pada analisis UV-Vis kompleks Zn(II) adalah transisi intraligan. Transisi ini merupakan eksitasi elektron yang terjadi di dalam orbital molekul ligan itu sendiri, biasanya berupa transisi $\pi \rightarrow \pi^*$ dan $n \rightarrow \pi^*$. Pada ligan organik yang memiliki sistem konjugasi luas, seperti basa Schiff atau ligan aromatik multidentat, energi transisi ini akan mengalami perubahan atau gangguan saat ligan berkoordinasi dengan ion Zn(II) (Saeed et al., 2022). Koordinasi logam Zn(II) seringkali menyebabkan terjadinya pergeseran puncak serapan ligan bebas (pergeseran batokromik dan hipsokromik). Pergeseran ini menjadi indikator penting bahwa terjadi redistribusi kerapatan elektron dalam struktur ligan akibat pembentukan ikatan koordinasi baru, yang juga sering dikonfirmasi dengan hilangnya puncak vibrasi gugus fungsi tertentu pada spektra FTIR (Alorini et al., 2022).

Berdasarkan pendahuluan, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pergeseran panjang gelombang pada spektrum UV-Vis sebagai bukti terbentuknya ikatan koordinasi antara logam dan ligan, untuk mengidentifikasi pembentukan ikatan koordinasi baru melalui analisis spektrum FTIR, dan untuk mengetahui jenis transisi elektronik yang terjadi pada kompleks

Zn(II) pada potensi pengembangan material berbasis *Zinc-Organic Frameworks* (ZOFs).

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang berfokus pada studi mengenai senyawa koordinasi Zn(II) telah banyak diteliti, maka tinjauan ini memberikan perspektif baru mengenai sintesis kompleks Zn(II) yang menunjukkan dinamika elektronik yang sangat reaktif melalui manipulasi sistem orbital molekul antara logam dan ligan pada potensi pengembangan material berbasis *Zinc-Organic Frameworks* (ZOFs).

Bahan dan Metode

Bahan Penelitian

Bahan yang direview dalam jurnal ini adalah publikasi ilmiah berupa jurnal yang secara langsung membahas sintesis senyawa kompleks Zn(II).

Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan adalah perangkat lunak pengolah kata (untuk menyusun review) dan akses ke database jurnal ilmiah untuk pencarian dan pengunduhan artikel.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur dari sepuluh jurnal ilmiah yang memfokuskan proses sintesis, analisis UV-Vis, analisis FTIR, serta transisi elektronik yang terjadi pada senyawa kompleks Zn(II).

Hasil dan Pembahasan

1. Proses Sintesis, Analisis UV-Vis, dan Analisis FTIR

Sintesis dan Karakterisasi Kompleks Zn(II)-Katekin

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Putri et al. (2019), sintesis senyawa kompleks Zn(II)-katekin dilakukan dengan mereaksikan logam dan ligan menggunakan perbandingan mol 1:1. Proses ini dimulai dengan melarutkan 0,5805 gram (2 mmol) padatan katekin ke dalam 10 mL etanol pro analysis (p.a), serta melarutkan 0,154 gram (2 mmol) padatan ZnCl₂ anhidrat ke dalam 10 mL etanol p.a. Kedua campuran tersebut kemudian dicampur dan direfluks selama 2 jam. Setelah proses refluks selesai, produk yang terbentuk disaring dan dimurnikan melalui proses rekristalisasi menggunakan pelarut etanol dan akuades dingin. Karakterisasi senyawa kompleks Zn(II)-Katekin yang didasarkan pada analisis menggunakan UV-Vis yang ditunjukkan pada Tabel 1. dan FTIR yang dapat ditunjukkan pada Gambar 1.

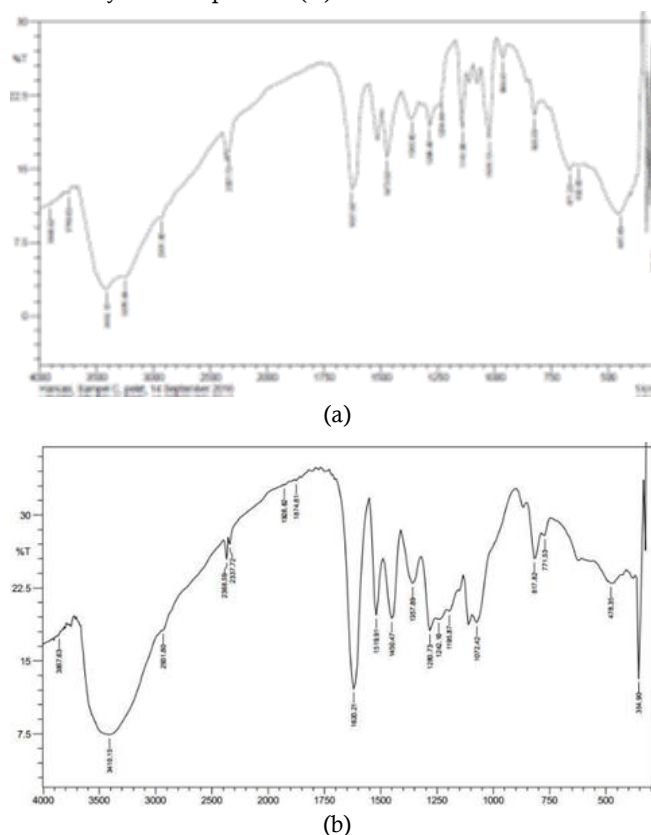
Tabel 1. Hasil karakterisasi senyawa kompleks Zn(II)-katekin berdasarkan UV-Vis

No.	Senyawa	λ_{maks}
1.	Katekin	450
2.	ZnCl ₂ 6H ₂ O	281
3.	Zn(II)-Katekin	454

Analisis karakteristik Zn(II)-Katekin berdasarkan UV-Vis menunjukkan bahwa senyawa Zn(II)-katekin memiliki panjang gelombang maksimum λ_{maks} sebesar 454 nm. Nilai ini menunjukkan adanya pergeseran (batokromik) jika dibandingkan dengan panjang gelombang maksimum katekin murni yang berada pada 450 nm. Perubahan absorbansi dan pergeseran panjang gelombang ini memperkuat indikasi

terbentuknya senyawa kompleks baru hasil koordinasi antara ion Zn²⁺ dengan katekin.

Gambar 1. (a) Spektrum FTIR katekin dan (b) Spektrum FTIR senyawa kompleks Zn(II)-katekin



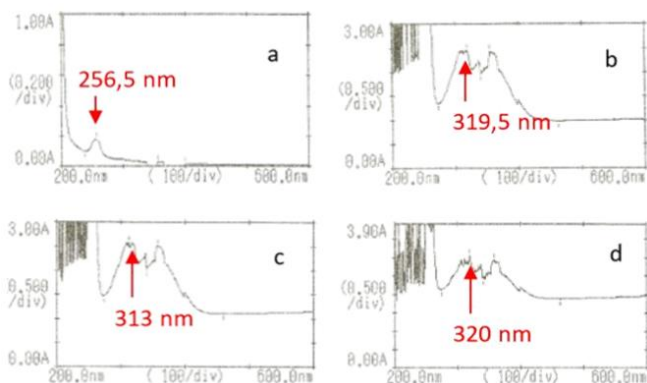
Analisis karakteristik menggunakan FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan terbentuknya ikatan antara logam dengan ligan dengan menganalisis spektrum FTIR katekin dengan senyawa kompleks Zn(II)-katekin. Spektrum FTIR menunjukkan adanya puncak serapan baru yang mengindikasikan vibrasi ikatan Zn-O pada bilangan gelombang 354,90 cm⁻¹ dan 478,35 cm⁻¹. Selain itu, terjadi pergeseran bilangan gelombang pada gugus fungsi C-O dari 1288,45 cm⁻¹ pada katekin menjadi 1280,73 cm⁻¹ pada senyawa kompleks. Kemudian, pada senyawa kompleks Zn(II)-Katekin terdapat puncak ligan katekin pada bilangan gelombang 3410,15 cm⁻¹.

Sintesis dan Karakterisasi Kompleks Zn(II)-8-Hidroksikuinolin

Hermawati et al. (2016) melakukan penelitian mengenai sintesis dan karakterisasi senyawa kompleks Zn(II)-8-Hidroksikuinolin menggunakan variasi pelarut Asetonitril, Metanol dan Etanol. Sintesis Zn(II)-8-Hidroksikuinolin dilakukan dengan mencampurkan larutan ZnCl₂ (sebagai sumber ion pusat) dengan larutan ligan 8-Hidroksikuinolin yang telah dilarutkan dalam variasi pelarut, yaitu asetonitril, metanol, atau etanol. Campuran tersebut kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 60 menit pada suhu pemanasan 60°C (proses refluks). Setelah itu, larutan didiamkan pada suhu kamar selama kurang lebih 75 menit hingga terbentuk endapan berwarna kuning terang. Endapan yang terbentuk disaring, dicuci

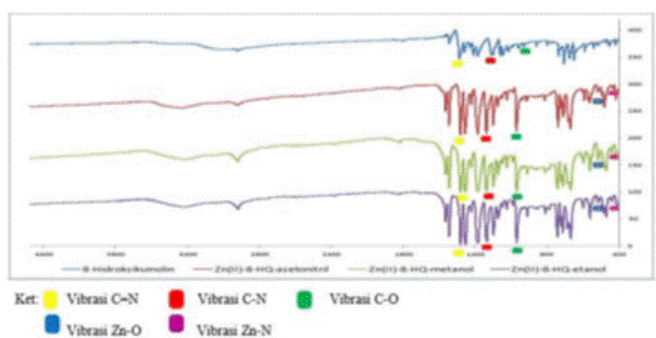
dengan pelarut yang sesuai, dan dikeringkan di dalam desikator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pelarut asetonitril menghasilkan rendemen tertinggi sebesar 73,07% karena memiliki konstanta dielektrik yang lebih besar dibandingkan metanol (63,46%) dan etanol (48,67%). Karakterisasi senyawa kompleks Zn(II)-8-Hidroksikuinolin yang didasarkan pada analisis menggunakan UV-Vis dapat ditunjukkan pada Gambar 2. dan FTIR dapat ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 2. (a) Spektra UV-Vis ZnCl₂ (b) Spektra UV-Vis Zn(II)-8-Hidroksikuinolin dalam pelarut asetonitril (c) pelarut metanol dan (d) pelarut etanol



Hasil analisis menunjukkan bahwa puncak serapan senyawa kompleks Zn(II)-8-Hidroksikuinolin berada pada daerah UV antara 200–400 nm. Terjadi pergeseran panjang gelombang ke arah yang lebih besar (batokromik) dibandingkan dengan ZnCl₂ murni yang memiliki λ_{max} sebesar 256,5 nm. Untuk kompleks dalam pelarut asetonitril, puncak serapan muncul pada 319,5 nm, sedangkan dalam pelarut metanol pada 313 nm, dan dalam pelarut etanol pada 320 nm. Pergeseran ini mengonfirmasi adanya interaksi antara ligan dengan ion pusat serta pengaruh dari variasi pelarut yang digunakan.

Gambar 3. Spektra IR 8-Hidroksikuinolin dan Zn(II)-8-Hidroksikuinolin dalam pelarut asetonitril, metanol dan etanol.



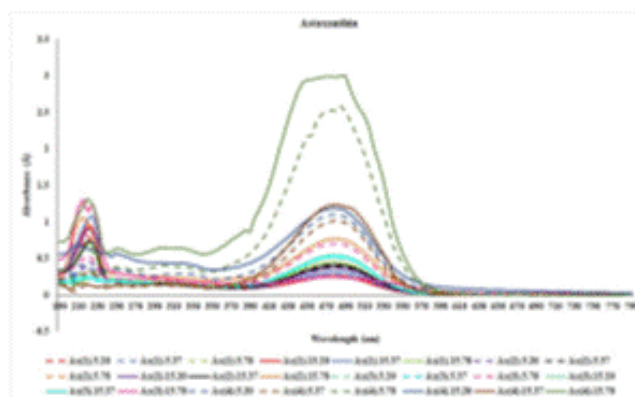
Berdasarkan spektrum IR tersebut, terbentuknya ikatan antara logam Zn(II) dengan ligan 8-Hidroksikuinolin dapat ditunjukkan dengan adanya serapan yang menunjukkan ikatan Zn-N dan Zn-O. Karakteristik ikatan koordinasi pada senyawa kompleks ini bervariasi tergantung pada jenis pelarut yang digunakan. Pada pelarut asetonitril ikatan Zn-N dan Zn-O masing-masing teridentifikasi pada bilangan gelombang 439,79 cm⁻¹ dan 542,98 cm⁻¹. Pada pelarut methanol ikatan Zn-N dan Zn-O masing-masing teridentifikasi pada bilangan gelombang

513,09 cm⁻¹ dan 543,95 cm⁻¹. Sedangkan, pada pelarut etanol ikatan Zn-N dan Zn-O masing-masing teridentifikasi pada bilangan gelombang 448,47 cm⁻¹ dan 543,95 cm⁻¹.

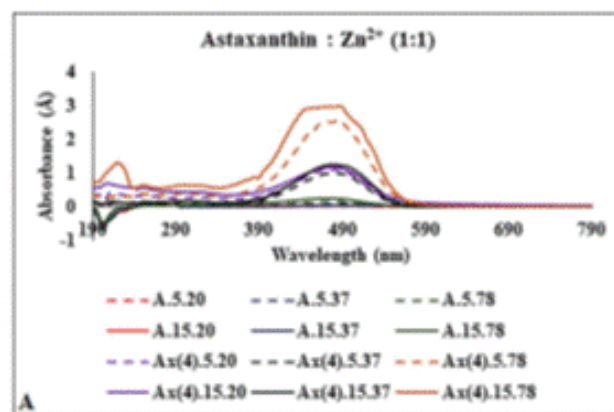
Sintesis dan Karakterisasi Kompleks Zn(II)-Astaxanthin

Wibowo et al. (2021) melakukan penelitian mengenai sintesis dan karakterisasi kompleks Zn(II)-Astaxanthin dengan berbagai variasi perbandingan konsentrasi, suhu reaksi, dan durasi pengadukan. Penelitian ini menggunakan rasio molar astaxanthin terhadap ion logam Zn(II) sebesar 1:1, 1:2, 0,1:1, dan 0,1:2 dengan perlakuan suhu pada 20°C, 37°C, dan 78°C serta waktu pengadukan selama 5 dan 15 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimal pembentukan kompleks bioanorganik Zn(II)-astaxanthin tercapai pada rasio 1:1 dengan suhu reaksi 78°C selama 15 menit. Karakterisasi senyawa kompleks Zn(II)-Astaxanthin didasarkan pada analisis menggunakan UV-Vis yang dapat ditunjukkan pada Gambar 4. dan FTIR yang dapat ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 4. (a) Spektrum UV-Vis Astaxanthin pada Berbagai Durasi Reaksi dan Suhu (b) Spektra UV-Vis Kompleks Astaxanthin-Zn²⁺ Rasio (1:1)



(a)

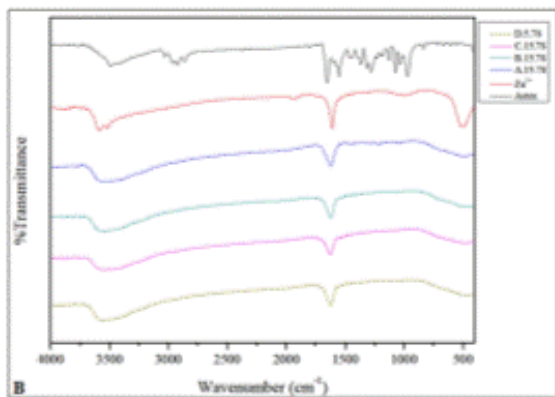


(b)

Hasil analisis menunjukkan bahwa astaxanthin tunggal memiliki puncak serapan maksimum pada 478 nm. Meskipun tidak disebutkan secara spesifik hasil panjang gelombang astaxanthin setelah berikatan dengan ion Zn²⁺, Peneliti menyebutkan bahwa puncak astaxanthin mengalami pergeseran ke arah panjang gelombang yang lebih pendek, yang dikenal

sebagai pergeseran biru (*blue shift*) atau hipsokromik setelah berikatan dengan ion Zn^{2+} . Fenomena ini mengindikasikan terbentuknya agregat tipe-H (*H-type aggregate* atau *card-pack aggregate*) di mana molekul tersusun secara rapat. Pergeseran ini terjadi karena adanya transisi elektron dari orbital $\pi \rightarrow \pi^*$ dan $n \rightarrow \pi^*$ pada sistem kromofor poliena astaxanthin yang terganggu oleh interaksi dengan ion logam Zn^{2+} dari garam $ZnCl_2$.

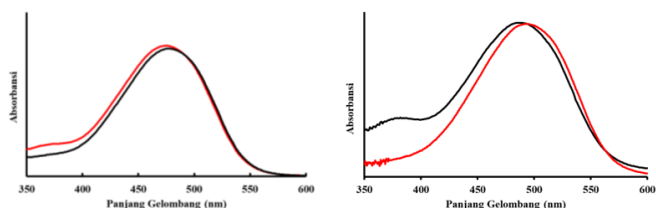
Gambar 5. Spektrum FTIR Kompleks Zn(II)-Astaxanthin



Hasil karakterisasi menggunakan FTIR pada sampel A.15.78 dengan rasio 1:1 menunjukkan profil gugus fungsi yang paling lengkap dibandingkan variasi lainnya. Sampel ini secara unik masih mempertahankan profil sidik jari (*fingerprint*) dari astaxanthin murni sekaligus mengadopsi karakteristik dari $ZnCl_2$. Poin krusial yang mengonfirmasi terbentuknya kompleks ini adalah munculnya puncak serapan pada bilangan gelombang $523,44\text{ cm}^{-1}$, yang diidentifikasi sebagai ikatan logam-oksigen (M-O atau Zn-O). Selain itu, kehadiran gugus fungsi pendukung seperti (C=C) pada $1622,79\text{ cm}^{-1}$, (O-H) pada 3547 cm^{-1} , serta (C-O) pada daerah $1177\text{-}1289\text{ cm}^{-1}$ memperkuat bukti bahwa ion Zn^{2+} telah berhasil terkoordinasi dengan atom oksigen pada struktur astaxanthin, membentuk sebuah entitas kompleks kimia baru.

Disisi lain, Rahmalia et al. (2023) juga melakukan penelitian yang sama mengenai sintesis dan karakterisasi kompleks Zn(II)-Astaxanthin, akan tetapi penelitian ini lebih fokus pada pembuktian keberhasilan sintesis pada satu kondisi tetap yaitu dengan rasio mol astaxanthin terhadap logam sebesar 1:1. Selain itu, terdapat variasi pada penggunaan pelarut saat analisis UV-Vis, yaitu menggunakan aseton dan dimetil sulfoksida (DMSO) untuk melihat efek solvatokromik pada kompleks yang terbentuk yang ditunjukkan pada Gambar 6.

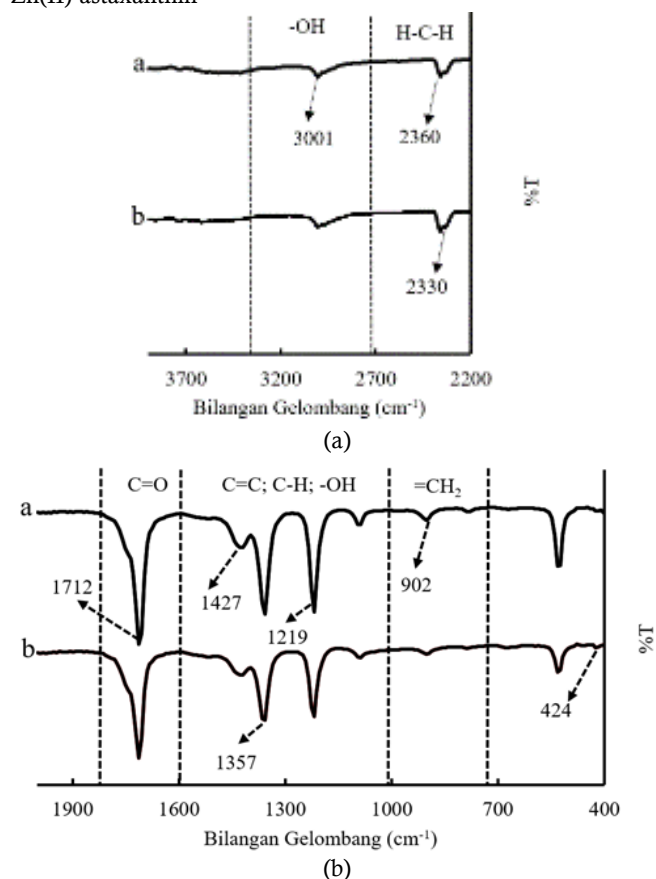
Gambar 6. Spektra absorpsi UV-Vis astaxanthin (merah) dan kompleks Zn(II)-astaxanthin (hitam) dalam aseton (kiri) dan dalam dimetil sulfoksida (kanan)



Berdasarkan hasil spektra UV-Vis tersebut, kompleks Zn(II)-astaxanthin dalam pelarut aseton menunjukkan pergeseran

batokromik (*red shift*) tipis dari 475 nm menjadi 477 nm . Sebaliknya, dalam pelarut dimetil sulfoksida (DMSO), terjadi pergeseran hipsokromik (*blue shift*) yang signifikan dari 493 nm menjadi 475 nm , disertai munculnya puncak serapan baru pada 330 nm . Adanya pergeseran hipsokromik atau efek solvatokromik negatif pada kompleks Zn(II)-astaxanthin terjadi seiring dengan peningkatan polaritas pelarut dari aseton ke dimetil sulfoksida. Fenomena ini terjadi akibat adanya mekanisme transfer muatan dari logam ke ligan atau *metal to ligand charge-transfer* (MLCT). Dalam interaksi ini, terjadi perpindahan muatan dari ion logam Zn^{2+} yang memiliki orbital d terisi penuh (d_{10}) menuju orbital π^* pada ligan astaxanthin yang masih kosong. Secara lebih spesifik, transisi $d \rightarrow \pi^*$ ini melibatkan orbital molekul π_{2p}^* pada gugus karbonil (C=O) astaxanthin yang bertindak sebagai akseptor elektron pada keadaan energi terendah (*low-lying*).

Gambar 7. (a) Spektra FTIR astaxanthin dan (b) kompleks Zn(II)-astaxanthin



Analisis spektrum FTIR juga digunakan untuk mengonfirmasi keberhasilan pembentukan kompleks Zn(II)-astaxanthin dengan membandingkan gugus fungsi antara ligan astaxanthin murni dan hasil sintesisnya. Astaxanthin murni menunjukkan puncak-puncak karakteristik seperti vibrasi *stretching* -OH pada 3001 cm^{-1} , H-C-H pada 2360 cm^{-1} , C=O karbonil pada 1712 cm^{-1} , serta beberapa vibrasi lain pada daerah sidik jari. Setelah proses kompleksasi, spektrum kompleks Zn(II)-astaxanthin menunjukkan pola yang mirip, namun terdapat penurunan intensitas serapan yang sangat signifikan pada

bilangan gelombang 1712 cm^{-1} (vibrasi C=O) dan 1219 cm^{-1} (vibrasi -OH). Penurunan intensitas ini menjadi bukti kuat bahwa ion logam Zn^{2+} telah berkoordinasi atau berikatan pada situs oksigen dalam gugus karbonil dan hidroksil astaxanthin. Bukti paling krusial adalah munculnya puncak serapan baru pada bilangan gelombang 424 cm^{-1} yang merupakan vibrasi khas ikatan logam-oksigen (Zn-O).

Sintesis dan Karakterisasi Kompleks Zn(II) dengan Ligan Schiff Base

Liu et al. (2006) melakukan penelitian mengenai mengenai sintesis dan karakterisasi kompleks Zn(II) dengan ligan *Tetradentate Schiff Base*. Pada penelitian ini, terdapat dua jenis ligan *Schiff Base* yang digunakan yaitu H_2L yang merupakan 4-(benzeneazo) salisialdehida yang direaksikan dengan *o*-phenylenediamine dan $\text{H}_2\text{L}'$ yang merupakan 4-(benzeneazo) salisialdehida yang direaksikan dengan ethylenediamine. Preparasi ligan dimulai dengan sintesis senyawa 4-(benzeneazo) salicylaldehyde melalui proses diazotisasi, di mana anilin dilarutkan dalam asam klorida pekat, didinginkan, lalu direaksikan dengan larutan natrium nitrit (NaNO_2) pada suhu 0°C . Larutan diazonium ini kemudian ditambahkan tetes demi tetes ke dalam campuran salisialdehida, natrium karbonat, dan air, lalu diaduk selama 4 jam pada suhu 0°C hingga terbentuk endapan merah terang yang kemudian direkrustalisasi dengan etanol. Selanjutnya, ligan *Tetradentate Schiff Base* (H_2L atau $\text{H}_2\text{L}'$) dibuat dengan mereaksikan 4-(benzeneazo) salicylaldehyde tersebut dengan *o*-phenylenediamine atau ethylenediamine dalam etanol dengan perbandingan molar 2:1. Campuran ini direfluks selama 2 jam, kemudian didinginkan untuk mengumpulkan endapan yang terbentuk, dicuci dengan etanol, dan dikeringkan semalaman pada suhu 50°C . Setelah ligan murni diperoleh, sintesis kompleks Zn(II) dilakukan dengan mencampurkan 1 mmol ligan (H_2L atau $\text{H}_2\text{L}'$) yang telah dilarutkan dalam etanol panas dengan 1 mmol $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ yang dilarutkan dalam sedikit air. Reaksi ini berlangsung di bawah kondisi refluks selama 2 jam. Padatan yang mengendap setelah campuran didinginkan dengan es kemudian disaring, dicuci menggunakan etanol dan dietil eter, lalu dikeringkan pada suhu 50°C semalaman. Hasil akhir proses ini adalah kompleks ZnL atau ZnL' berbentuk padatan berwarna kuning dengan rendemen masing-masing sebesar 68,3% dan 63,2%. Karakterisasi sintesis senyawa kompleks Zn(II) dengan ligan *Tetradentate Schiff Bases* didasarkan pada analisis menggunakan UV-Vis yang dapat ditunjukkan pada Tabel 2. dan FTIR yang dapat ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Hasil karakterisasi senyawa kompleks Zn(II) dengan ligan *Schiff Bases* berdasarkan UV-Vis

Compound	λ max(ϵ , L/mol cm) in DMF
H_2L	370.0(33050)
ZnL	404.5(48100)
$\text{H}_2\text{L}'$	364.5(38200)
ZnL'	374.5(45450)

Berdasarkan tabel hasil analisis UV-Vis tersebut dapat diketahui bahwa pembentukan kompleks Zn ditandai dengan adanya pergeseran panjang gelombang maksimum (λ maks) yang

signifikan. Pada sistem ligan H_2L , puncak utama yang berasal dari transisi $n \rightarrow \pi^*$ berada pada 370,0 nm, namun setelah berkoordinasi dengan logam Seng membentuk kompleks ZnL, panjang gelombang tersebut bergeser secara batokromik menjadi 404,5 nm. Sementara itu, pada sistem ligan $\text{H}_2\text{L}'$, puncak transisi $n \rightarrow \pi^*$ yang awalnya teramati pada 364,5 nm mengalami pergeseran menjadi 374,5 nm pada kompleks ZnL'. Pergeseran nilai λ maks pada kedua kompleks tersebut selalu disertai dengan peningkatan intensitas serapan, yang menunjukkan terjadinya donasi pasangan elektron bebas dari atom nitrogen ligan Schiff base kepada ion logam pusat Zn(II) ($N \rightarrow M$). Hal ini membuktikan bahwa ligan telah berhasil terkoordinasi pada logam Seng melalui gugus azometinnya.

Tabel 3. Data Spektra IR Ligan Schiff Base dan Kompleks Zn

Compound	$\nu(\text{C}=\text{N})$	$\nu(\text{phenolic C-O})$	$\nu(\text{M-N})$	$\nu(\text{M-O})$
H_2L	1605	1281		
ZnL	1615	1258	505	410
$\text{H}_2\text{L}'$	1635	1286		
ZnL'	1631	1256	515	445

Berdasarkan tabel hasil analisis FTIR tersebut dapat diketahui bahwa koordinasi antara ligan *Schiff Base* dengan ion logam Seng (Zn) menyebabkan perubahan signifikan pada beberapa pita vibrasi utama yang membuktikan keberhasilan sintesis. Pita kuat pada ligan H_2L dan $\text{H}_2\text{L}'$ di sekitar 1280 cm^{-1} , yang merupakan vibrasi tekuk bidang O-H, menghilang pada kompleks ZnL dan ZnL'. Hal ini menunjukkan bahwa atom hidrogen pada gugus hidroksi telah digantikan oleh logam Seng (deprotonasi). Selain itu, vibrasi ulur C-O fenolik pada ligan yang muncul di rentang $1281\text{--}1286 \text{ cm}^{-1}$ mengalami pergeseran ke frekuensi yang lebih rendah pada kompleks Seng, yang mengonfirmasi partisipasi oksigen dalam pembentukan ikatan C-O-Zn. Perubahan juga teramati pada vibrasi ulur C=N (azometin). Untuk kompleks ZnL, pita C=N bergeser dari 1605 cm^{-1} ke bilangan gelombang yang lebih tinggi (menjadi 1615 cm^{-1}). Sebaliknya, untuk kompleks ZnL', pita C=N bergeser dari 1635 cm^{-1} ke bilangan gelombang yang lebih rendah menjadi 1631 cm^{-1} . Pergeseran ini mengindikasikan adanya koordinasi antara nitrogen imino dengan ion logam Seng. Bukti konkret mengenai ikatan logam-ligan diperkuat dengan munculnya pita serapan baru pada daerah frekuensi rendah, yaitu pada 431 cm^{-1} untuk vibrasi Zn-O fenolik dan pada $505\text{--}515 \text{ cm}^{-1}$ untuk vibrasi Zn-N. Secara keseluruhan, data FTIR ini memastikan bahwa logam Seng terikat pada ligan Schiff base melalui oksigen fenolik dan nitrogen imino.

Charita dan Kavitha (2025) juga melakukan penelitian yang serupa tetapi jenis ligan *Schiff Base* yang digunakan berbeda yaitu 4-((E)-(6-mercaptopyrimidin-4-ylimino)methyl)-2-hydroxybenzoxonitrile yang disimbolkan sebagai L. Preparasi ligan dilakukan dengan pencampuran 1.34 gram 6-aminopirimidin-4-tiol dan 1.33 gram 4-formil-2-hidroksibenzenitril dalam rasio molar yang sama. Reaksi dilakukan dalam sebuah labu bulat, di mana kedua bahan ini dicampur dalam medium asam dan dipanaskan dengan reflux selama sekitar 6 jam. Produk yang

terbentuk berwarna kuning dan kemudian dibersihkan dengan ethanol untuk menghilangkan sisa-sisa pengotor. Setelah itu, endapan didiamkan dan disaring untuk memperoleh kristal murni, yang kemudian direkristalisasi menggunakan ethanol agar mendapatkan hasil yang berkualitas tinggi. Dengan langkah ini, diperoleh ligan target yang lengkap dengan struktur yang dikonfirmasi melalui analisis spektroskopi. Sintesis kompleks Zn(II) dilakukan dengan mereaksikan ligan L dengan garam Zn dalam perbandingan rasio molar 2:1. Berdasarkan hasil analisis menggunakan spektroskopi UV-Visible dilakukan pada panjang gelombang 200 hingga 700 nm dalam pelarut DMSO. Ligan bebas menunjukkan dua pita utama pada 310 nm dan 316 nm yang masing-masing berasal dari transisi $n \rightarrow \pi^*$ pada gugus azometin dan transisi $\pi \rightarrow \pi^*$ pada bagian heterosiklik. Setelah terjadi koordinasi dengan logam Zn(II), pita-pita transisi tersebut mengalami pergeseran ke arah panjang gelombang yang lebih panjang (batokromik). Kompleks Zn(II) menunjukkan pita transisi pada 329 nm, yang menandakan adanya interaksi kooperatif antara logam dan ligan dalam pembentukan kompleks tersebut. Sedangkan, hasil analisis menggunakan spektroskopi FTIR dapat ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4. Data Spektra IR Ligan L dan Kompleks ZnL₂

Compd	C=N	C-O	O-H	C=C	M-O	M-N
Ligan	1610	1180	3071	1563	-	-
ZnL ₂	1618	1165	3050	1518	542	476

Berdasarkan data hasil analisis menggunakan FT-IR tersebut, keberhasilan sintesis ligan dan kompleks logamnya dibuktikan melalui perbandingan pergeseran frekuensi regangan pada gugus fungsi utamanya. Pada ligan bebas, terdapat pita serapan khas untuk gugus azometin (C=N) pada 1610 cm⁻¹ serta vibrasi regangan gugus O-H pada 3071 cm⁻¹. Ketika kompleks Zn(II) terbentuk, terjadi pergeseran pita azometin menjadi 1618 cm⁻¹, yang mengindikasikan keterlibatan atom nitrogen dalam koordinasi dengan pusat logam. Selain itu, bukti kuat terjadinya ikatan antara ligan dan logam ditunjukkan dengan munculnya pita-pita baru pada frekuensi rendah yang tidak ditemukan pada ligan bebas, yaitu pada 542 cm⁻¹ yang menunjukkan terbentuknya ikatan M-O, 476 cm⁻¹ yang menunjukkan terbentuknya ikatan M-N, dan 431 cm⁻¹ yang menunjukkan terbentuknya ikatan M-S.

Alorini et al. (2022) juga melakukan penelitian yang serupa dengan menggunakan jenis ligan *Schiff Base* berupa 2-((E)-((4-(((E)-benzylidene)amino)phenyl)imino)methyl)-naphthalene-1-ol. Preparasi ligan dilakukan dengan mereaksikan tiga bahan utama yaitu 2-hydroxy-1-naphthaldehyde, benzaldehyde, dan p-phenylenediamine. Sebanyak 1,72 g (0,01 mol) 2-hydroxy-1-naphthaldehyde dan 1,06 g (0,01 mol) benzaldehyde dilarutkan dalam 20 mL etanol absolut, kemudian campuran tersebut diaduk hingga larut sempurna. Larutan campuran aldehyda ini kemudian ditambahkan secara perlahan tetes demi tetes ke dalam labu bulat yang berisi 1,08 g (0,01 mol) p-phenylenediamine yang telah dilarutkan dalam 15 mL etanol. Campuran reaksi tersebut kemudian diaduk di bawah kondisi refluks selama 3 jam. Selama proses ini, terbentuk endapan berwarna oranye yang menandakan keberhasilan pembentukan ligan. Kemudian

sintesis kompleks Zn(II) dilakukan dengan mereaksikan ligan basa Schiff yang telah disintesis sebelumnya dengan garam logam seng klorida (ZnCl₂). Prosedur dimulai dengan melarutkan ligan dalam etanol, kemudian dicampurkan dengan larutan etanol dari garam logam ZnCl₂ dengan rasio molar ligan terhadap logam (L:M) sebesar 2:1. Campuran tersebut kemudian diaduk menggunakan pengaduk elektrik di bawah kondisi refluks pada suhu 70°C selama kurang lebih 3 jam hingga terbentuk endapan. Endapan berwarna oranye yang dihasilkan kemudian disaring dan dicuci beberapa kali menggunakan air suling serta etanol absolut untuk menghilangkan bahan organik yang tidak bereaksi. Terakhir, padatan tersebut dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 2 jam, menghasilkan rendemen sebesar 79% dengan titik leleh 283°C.

Tabel 5. Data Spektrum UV-Vis Ligan dan Kompleks [(HL)₂Zn(Cl)₂]

Compound	λ maks	
Ligan	318	259
[(HL) ₂ Zn(Cl) ₂]	330	260

Karakterisasi menggunakan UV-Vis dilakukan menggunakan pelarut DMSO pada rentang panjang gelombang 250–650 nm. Berdasarkan data hasil spektrum UV-Vis ligan bebas menunjukkan puncak serapan pada panjang gelombang 259 nm dan 318 nm. Setelah membentuk kompleks dengan logam seng, puncak-puncak tersebut mengalami pergeseran (*red-shift* atau batokromik) ke arah panjang gelombang yang lebih besar, yaitu menjadi 260 nm dan 330 nm pada kompleks Zn(II). Puncak-puncak tersebut berasal dari transisi elektronik $\pi \rightarrow \pi^*$ dari cincin aromatik dan $n \rightarrow \pi^*$ dari gugus azometin (C=N). Ketika ligan berikatan dengan logam, energi yang dibutuhkan untuk transisi ini berubah, sehingga terjadi pergeseran posisi puncak serapan.

Tabel 6. Data Spektra IR Ligan L dan Kompleks [(HL)₂Zn(Cl)₂]

Compound	ν (O-H)	ν (C=N)	ν (C-O)	ν (M-N)	ν (M-O)
Ligan	3350	1620,1605	1310	-	-
[(HL) ₂ Zn(Cl) ₂]	3410	1615,1594	1305	688	534

Berdasarkan hasil data spektra IR, terjadi pergeseran pita serapan gugus azometin (C=N) dari 1620 cm⁻¹ dan 1650 cm⁻¹ menjadi 1615 cm⁻¹ dan 1594 cm⁻¹, serta pergeseran gugus C-O fenolik ke frekuensi yang lebih rendah, yang mengindikasikan keterlibatan atom nitrogen dan oksigen dalam pembentukan ikatan koordinasi. Pembentukan kompleks ini diperkuat dengan munculnya pita serapan baru pada daerah frekuensi rendah, yaitu pada 688 cm⁻¹ untuk ikatan M-O, 534 cm⁻¹ untuk ikatan M-N.

Saeed et al. (2022) juga melakukan penelitian yang serupa tetapi jenis ligan *Schiff Base* yang digunakan berbeda yaitu (E)-4-(((4-Aminophenyl)imino)methyl)benzene-1,3-diol (HL). Preparasi ligan *Schiff Base* (HL) dilakukan melalui metode kondensasi antara p-fenilendiamina dengan 2,4-dihidroksibenzaldehida. 5 mmol p-fenilendiamina dilarutkan dalam 20 mL etanol dan ditambahkan secara perlahan ke dalam 20 mL larutan etanol yang mengandung 5 mmol 2,4-dihidroksibenzaldehida. Campuran tersebut kemudian diaduk hingga larut sempurna, dan beberapa tetes asam asetat glasial

ditambahkan pada awal proses refluks. Reaksi refluks dilanjutkan selama 4 jam hingga terbentuk endapan berwarna oranye. Endapan yang dihasilkan, yaitu (E)-4-(((4-aminofenil)imino)metil)benzena-1,3-diol (HL), kemudian disaring dan dicuci beberapa kali menggunakan air suling yang diikuti dengan etanol absolut untuk memastikan kemurniannya. Kemudian, Sintesis kompleks logam Zn(II) dilakukan dengan mencampurkan ligan Schiff base (HL) yang telah disintesis sebelumnya dengan garam logam ZnCl₂. Sebanyak 2 mmol ligan HL dilarutkan dalam 30 mL etanol, kemudian ditambahkan ke dalam larutan garam logam Zn yang dilarutkan dalam sedikit air suling. Campuran tersebut kemudian diaduk di bawah kondisi refluks selama 10 jam untuk memastikan pembentukan kompleks berlangsung sempurna. Endapan yang terbentuk disaring dan dicuci beberapa kali menggunakan campuran etanol-air dengan perbandingan 50% (v/v) untuk menghilangkan sisa reaktan yang tidak bereaksi. Terakhir, produk kompleks Zn(II) dikeringkan menggunakan CaCl₂ anhidrat. Kompleks Zn(II) yang dihasilkan berupa endapan berwarna coklat pucat dengan rendemen sebesar 73%.

Tabel 7. Data Spektrum UV-Vis Ligan dan Kompleks [Zn L Cl (H₂O)₂] .H₂O

Compound	λ maks
HL	370
Zn(II) Kompleks	380

Analisis UV-Vis dilakukan dalam pelarut dimethylformamide (DMF) pada rentang Panjang gelombang 200-700 nm. Berdasarkan data hasil spektrum UV-Vis, Ligan HL menunjukkan pita serapan pada panjang gelombang maksimal pada 370 nm diatribusikan pada transisi $n \rightarrow \pi^*$. Setelah membentuk kompleks dengan logam seng, puncak-puncak tersebut mengalami pergeseran (*red-shift* atau batokromik) ke arah panjang gelombang yang lebih besar, yaitu menjadi 380 nm. Puncak-puncak tersebut berasal dari transisi elektronik $n \rightarrow \pi^*$ (dari gugus azometin C=N).

Tabel 8. Data Spektra IR Ligan L dan Kompleks [Zn L Cl (H₂O)₂] .H₂O

Compound	(C=N)	ν (M-O)	ν (M-N)
Ligan	1626	-	-
[(HL) ₂ Zn(Cl) ₂]	1620	585	523

Berdasarkan hasil data spektra IR, terjadi pergeseran puncak gugus azometin (C=N) ke frekuensi yang lebih rendah menjadi 1620 cm⁻¹. Pergeseran ini mengindikasikan bahwa atom nitrogen pada gugus azometin terlibat dalam koordinasi dengan logam Zn(II). Keberhasilan pembentukan ikatan antara ligan dengan logam Zn diperkuat dengan munculnya puncak-puncak baru pada bilangan gelombang rendah. Puncak pada 585 cm⁻¹ diatribusikan pada vibrasi M-O (Logam-Oksigen), sedangkan puncak pada 523 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi M-N (Logam-Nitrogen).

Synthesis and Characterisation of Zinc (II) Complexes with 3-Hydrox 4-(2-Hydroxy Phenyl) Amino Cyclobut-3-Ene-1,2-Dione

Udoisang dan Okonkwo (2022) melakukan penelitian mengenai sintesis dan karakterisasi kompleks Zn(II) dengan

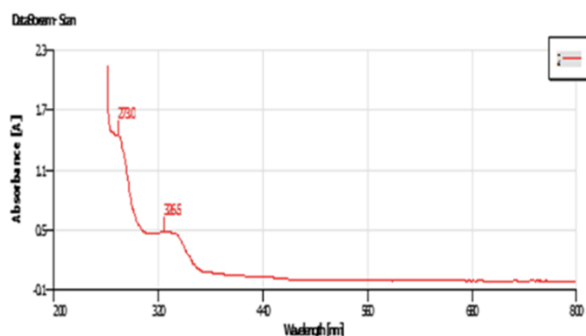
menggunakan ligan 3-Hydrox 4-(2-Hydroxy Phenyl) Amino Cyclobut-3-Ene-1,2-Dione. Proses sintesis ligand 3-hydroxy-4-(2-hydroxy phenyl) amino cyclobut-3-ene-1,2-dione dimulai dengan melarutkan 2,28 gram squaric acid ke dalam 30 mL dietil eter. Larutan ini kemudian dipanaskan pada suhu 50°C sambil diaduk menggunakan magnetic stirrer yang diatur pada kecepatan 350 rpm selama sekitar 30 menit. Selama pemanasan, larutan berubah warna menjadi pink muda dan mencapai keadaan homogen. Setelah itu, sebanyak 2,18 gram 2-amino phenol yang telah dilarutkan dalam 15 mL dietil eter secara perlahan ditetaskan ke dalam larutan squaric acid yang sedang diaduk. Proses penambahan ini berlangsung secara bertahap selama sekitar satu jam agar reaksi kondensasi berlangsung dengan baik. Setelah penambahan selesai, larutan didinginkan selama 20 menit, kemudian difiltrasi untuk memisahkan hasil reaksi dari larutan yang tidak bereaksi. Filtratnya lalu dicuci berulang kali dengan dietil eter untuk menghilangkan sisa-sisa reaktan yang tidak bereaksi, memastikan kemurnian ligan yang terbentuk. Larutan hasil filtrasi kemudian dikeringkan dengan cara dibiarkan menguap secara perlahan dalam kondisi tertutup yang dilapisi aluminium foil di atas beaker, dan proses ini diulang selama tiga hari. Setelah penguapan selesai, residu berupa precipitat ligan berwarna coklat muda diambil dan dikeringkan dalam desiccator yang diisi dengan CaCl₂ selama tiga hari sehingga diperoleh ligan dalam kondisi kering dan murni.

Setelah ligan berhasil disintesis, langkah berikutnya adalah pembuatan kompleks logam seng. Caranya adalah dengan melarutkan 0,16 gram garam seng (Zn) dalam 15 mL metanol yang telah dipanaskan hingga suhu kamar atau sedikit di atasnya. Sedangkan ligan yang telah disintesis sebanyak 0,40 gram juga dilarutkan dalam 30 mL dietil eter. Kedua larutan tersebut kemudian dicampurkan secara perlahan dengan menuangkan larutan seng ke dalam larutan ligan secara perlahan-lahan sambil diaduk. Setelah pencampuran, campuran tersebut direfluks pada suhu 80°C selama kurang lebih 7 jam dengan pengadukan terus-menerus untuk memastikan terbentuknya ikatan koordinasi antara ligan dan ion seng. Selama proses refluks, larutan berubah warna dari coklat menjadi hijau tua, menandakan terbentuknya kompleks yang stabil. Setelah reaksi selesai, campuran difiltrasi untuk memisahkan hasilnya. Residu yang diperoleh kemudian dicuci berulang-ulang dengan dietil eter sampai filtratnya bening dan tidak berwarna lagi, menandakan kemurnian produk. Produk akhir berupa kompleks seng berwarna hijau tua kemudian dikeringkan dalam desiccator selama tiga hari untuk menghilangkan sisa pelarut dan memperoleh hasil yang murni dan stabil.

Analisis UV-Vis dilakukan untuk mempelajari transisi elektronik yang terjadi dalam kompleks logam, khususnya pada kompleks seng (Zn(II)). Dari hasil penelitian, ditemukan lima puncak absorpsi yang terjadi pada rentang panjang gelombang antara 275,0 nm hingga 389,5 nm. Puncak-puncak ini menunjukkan adanya transisi elektron yang meliputi transisi $\pi \rightarrow \pi^*$ dan $n \rightarrow \pi^*$, yang berasal dari gugus organik dalam ligan. Transisi $\pi \rightarrow \pi^*$ biasanya menunjukkan adanya konjugasi dalam struktur ligan, di mana elektron berpindah antar ikatan rangkai karbon-karbon yang saling berdekatan, menunjukkan

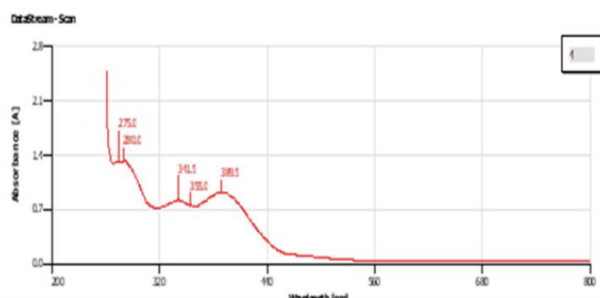
keberadaan sistem pi-konjugasi yang stabil. Sementara itu, transisi $n \rightarrow \pi^*$ terkait dengan pasangan elektron non-berpasangan pada atom oksigen atau nitrogen yang berikatan dengan logam, yang cenderung lebih mudah terjadi dalam kondisi tertentu dan memberikan sifat khas pada spektrum UV-Vis. Berikut spektrum UV-Vis dari ligand 3-hydroxy-4-(2-hydroxy phenyl) amino cyclobut-3-ene-1,2-dione menunjukkan transisi $\pi \rightarrow \pi^*$ dan $n \rightarrow \pi^*$ dari gugus organik:

Gambar 9. Spektrum UV-Vis dari Ligand dan Kompleks Logam



Ketika ligand membentuk kompleks dengan ion seng (Zn(II)), posisi puncak absorpsi mengalami sedikit pergeseran ke panjang gelombang yang lebih tinggi (redshift). Pergeseran ini mengindikasikan bahwa terjadi perubahan energi transisi elektronik akibat interaksi koordinasi antara ligand dan ion logam. Secara umum, pergeseran ke panjang gelombang yang lebih tinggi menunjukkan bahwa energi yang diperlukan untuk transisi elektron berkurang, menandakan adanya ikatan yang kuat dan stabil dalam kompleks. Pergeseran ini menandakan bahwa ikatan koordinasi antara ligand dan ion seng memperlambat energi transfer elektron, yang menunjukkan bahwa kompleks tersebut memiliki kestabilan struktural yang baik. Selain itu, data titik leleh kompleks sebesar 285,4°C mendukung kesimpulan bahwa ikatan dalam kompleks ini cukup kuat, memperlihatkan bahwa kompleks tersebut relatif stabil pada suhu kamar. Dengan demikian, pergeseran panjang gelombang setelah terbentuknya kompleks menandakan adanya interaksi elektron yang lebih stabil dan kekuatan ikatan yang signifikan antara logam dan ligan organik yang terbentuk dalam kompleks ini. Berikut hasil spektrum analisis UV-Vis dari kompleks Zinc(II) :

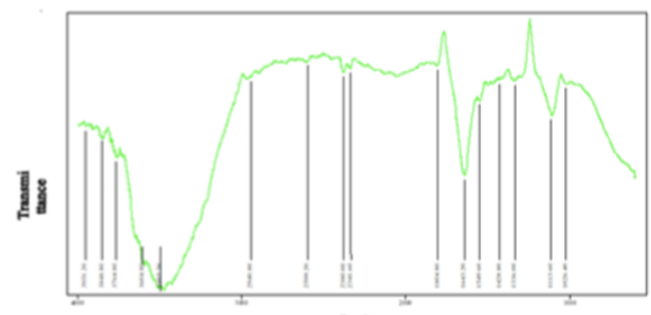
Gambar 10. Spektrum UV-Vis dari kompleks Zinc(II)



Analisis FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan ikatan yang terbentuk antara ion logam dan ligan dalam kompleks tersebut. Pada spektrum inframerah kompleks

seng, terlihat adanya puncak absorpsi dalam kisaran 3020 cm^{-1} hingga 3466,40 cm^{-1} , yang menunjukkan vibrasi regangan dari gugus hidroksil (OH) yang ada dalam molekul ligan. Perubahan posisi puncak ini yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan ligan bebas mengindikasikan bahwa gugus hidroksil tersebut mengalami koordinasi dengan ion logam, sehingga terjadi ikatan logam-ligan. Pergeseran panjang gelombang ini menunjukkan adanya interaksi yang kuat antara gugus hidroksil dan logam, yang menyebabkan energi vibrasi berubah. Berikut gambar puncak spektra IR untuk ligan campuran:

Gambar 11. Puncak Spektra IR Untuk Ligan Campuran



Terlihat pada gambar di atas, terdapat puncak lain yang muncul pada rentang 1748,80 cm^{-1} sampai 1803,20 cm^{-1} , yang ditetapkan sebagai vibrasi regangan dari ikatan Logam-Hidrogen (M-H). Kehadiran puncak ini menegaskan pembentukan ikatan antara logam dan hidrogen dalam kompleks. Bukti kuat dari terbentuknya kompleks juga dapat dilihat dari munculnya puncak vibrasi regangan Logam-Nitrogen (M-N) pada frekuensi sekitar 874,4 cm^{-1} dan vibrasi lentur dari ikatan M-H pada 682,4 cm^{-1} . Pergeseran panjang gelombang ini dari posisi aslinya dalam ligan bebas menjadi posisi baru dalam kompleks menunjukkan adanya perubahan energi vibrasi akibat ikatan koordinasi yang terbentuk. Secara umum, pergeseran ini bisa berupa pergeseran ke arah spektrum frekuensi yang lebih tinggi (penyesuaian posisi pita ke angka yang lebih besar), yang menandakan ikatan kuat dan perubahan lingkungan elektronik gugus fungsi dalam molekul ligan saat berikatan dengan logam. Pergeseran ini adalah indikator utama tercapainya ikatan koordinasi yang stabil dalam kompleks tersebut.

Sintesis Dan Karakterisasi Senyawa Kompleks Zn(II)-EDTA

Setyawati et al. (2017) melakukan penelitian mengenai sintesis dan karakterisasi kompleks Zn(II)-EDTA. Senyawa kompleks Zn(II)-EDTA berhasil disintesis dari ZnCl_2 anhidrat dan Na_2EDTA dengan perbandingan mol logam:ligan sebesar 1:1. Prosedur sintesis diawali dengan melarutkan masing-masing senyawa ZnCl_2 dan Na_2EDTA dalam akuades, kemudian kedua larutan tersebut dicampurkan. Campuran dipanaskan pada suhu rendah selama satu jam. Pemanasan dihentikan setelah volume larutan berkurang hingga mencapai sepertiga dari volume awal. Selanjutnya, larutan didinginkan dan disaring untuk mendapatkan filtrat. Filtrat ini kemudian dibiarkan pada suhu ruang selama beberapa hari sampai terbentuk kristal. Kristal senyawa kompleks Zn(II)-EDTA yang terbentuk memiliki bentuk putih keruh. Kristal tersebut selanjutnya direkristalisasi

dan dikarakterisasi menggunakan instrumen spektrofotometer UV-Vis dan spektrofotometer FTIR.

Karakterisasi senyawa kompleks Zn(II)-EDTA dilakukan juga menggunakan Spektrofotometer UV-Vis untuk membuktikan terbentuknya ikatan koordinasi antara logam Zn(II) dan ligan EDTA. Berdasarkan hasil pengujian, senyawa kompleks Zn(II)-EDTA menunjukkan panjang gelombang maksimal (λ_{max}) pada 752,00 nm. Nilai λ_{max} ini signifikan karena berbeda dari panjang gelombang maksimal komponen pembentuknya, yaitu ZnCl₂ anhidrat pada 652,00 nm dan Na₂ EDTA pada 472,50 nm. Adapun hasil karakterisasi senyawa Zn-EDTA dengan spektrofotometer UV-VIS disajikan pada Tabel berikut ini:

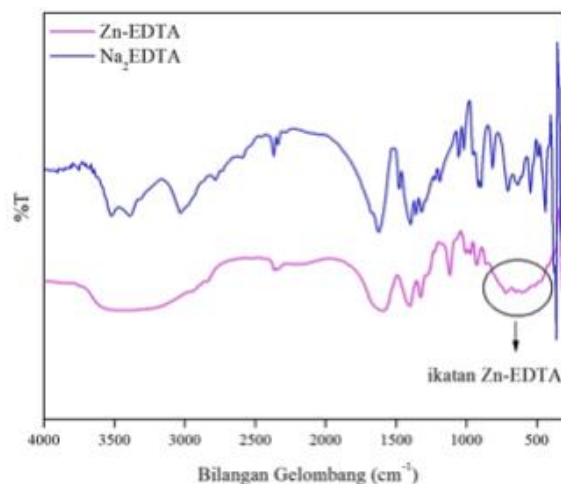
Tabel 9. Panjang gelombang maksimal senyawa ZnCl₂, ligan Na₂EDTA dan senyawa kompleks Zn(II)-EDTA

Compound	λ_{max} (nm)
ZnCl ₂ anhidrat	652,00
Na ₂ EDTA	472,50
Senyawa Kompleks Zn(II)-EDTA	752,00

Pada tabel di atas menunjukkan perbedaan panjang gelombangnya. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa telah terjadi pembentukan senyawa baru. Secara spesifik, munculnya λ_{max} pada 752,00 nm menunjukkan adanya pergeseran batokromik. Pergeseran batokromik didefinisikan sebagai pergeseran puncak absorpsi menuju panjang gelombang yang lebih besar (panjang). Dalam konteks senyawa kompleks Zn(II)-EDTA, pergeseran ini terjadi karena struktur kompleks yang terbentuk memiliki gugus kromofor (ikatan C=O) dan gugus aoksokrom (gugus OH) yang berasal dari ligan EDTA. Kehadiran gugus-gugus ini menyebabkan senyawa kompleks tersebut mampu menyerap cahaya pada daerah tampak atau *visibel*.

Karakterisasi senyawa kompleks Zn(II)-EDTA menggunakan instrumen *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan untuk mengkonfirmasi pembentukan ikatan koordinasi antara ion logam Zn(II) dengan ligan EDTA. Pembentukan kompleks ini diindikasikan oleh munculnya vibrasi gugus baru pada spektrum FTIR yang mencerminkan ikatan antara Zn dengan atom donor dari EDTA, yaitu Oksigen (O) dan Nitrogen (N). Hasil analisis menunjukkan munculnya vibrasi ikatan Zn-O pada bilangan gelombang 478,35 cm⁻¹. Selanjutnya, vibrasi ikatan Zn-N teramati pada bilangan gelombang 516,92 cm⁻¹. Kedua temuan serapan ini mendukung keberhasilan sintesis, meskipun bilangan gelombang yang diperoleh sedikit bergeser dari nilai literatur yang menyebutkan vibrasi Zn-O muncul di sekitar 486 cm⁻¹ dan Zn-N muncul di sekitar 570,93 cm⁻¹. Adapun hasil karakterisasi senyawa Zn-EDTA dengan spektrofotometer FTIR disajikan pada Gambar berikut ini :

Gambar 12. Hasil FTIR ligan Na₂EDTA dan senyawa kompleks Zn(II)-EDTA



Berdasarkan data UV-Vis dan FTIR yang telah dianalisis, semua ligan-ligan organik yang telah dijelaskan tergolong ke dalam jenis ligan multidentat. Ligan jenis inilah yang merupakan syarat utama pembentukan *Metal Organic Frameworks* (MOFs). MOFs adalah kategori material padat berpori yang mengintegrasikan ion atau gugus logam sebagai pusat simpul dengan ligan organik multidentat sebagai penghubungnya. Melalui pembentukan ikatan koordinasi, ligan-ligan ini menghubungkan pusat logam hingga menciptakan jaringan struktural yang meluas dalam dimensi satu, dua, atau tiga. Simpulnya berupa ion logam tunggal atau kluster logam yang dikenal sebagai *Secondary Building Units* (SBU), sedangkan penghubungnya berupa molekul organik multidentat yang menghubungkan simpul-simpul logam menjadi jaringan 2D atau 3D (Raptopoulou, 2021). Material MOFs ini terdiri dari ion logam atau kluster oksida logam dengan suatu ligan bivalen atau polivalen aromatik maupun alifatik yang memiliki gugus fungsional karboksilat, fosfonat, sulfonat, imidazolot, amina, atau pyridil maupun kombinasinya sebagai senyawa organik penghubung (*linker*). Ion logam (kluster oksida logam) sebagai *node* (simpul) berkoordinasi dengan *linker* organik dan akan membentuk suatu rangka (*framework*) yang disebut MOFs. Ion logam yang pernah dikaji salah satunya yaitu Zn(II). Maka dari itu, dalam hal ini MOFs dapat disebut juga dengan ZOFs (*Zinc-Organic Frameworks*). Hasil analisis UV-Vis dan FTIR diatas dapat digunakan sebagai langkah awal (skrining) untuk penentuan struktur ZOFs.

Karakterisasi menggunakan FTIR memberikan bukti konklusif mengenai struktur mikro dari kerangka koordinasi yang terbentuk. Perubahan signifikan terlihat pada pergeseran puncak vibrasi gugus fungsional utama, seperti gugus hidroksil (-OH) pada kompleks Zn-Katekin atau gugus azometin (C=N) pada kompleks berbasis *Schiff Base*. Munculnya serapan baru pada daerah bilangan gelombang yang lebih rendah (biasanya di bawah 600 cm⁻¹) yang diidentifikasi sebagai vibrasi Zn-O atau Zn-N merupakan sidik jari utama terbentuknya ikatan kovalen koordinasi. Hal ini menegaskan bahwa unit-unit organik telah terangkai secara teratur pada pusat logam Zink, membentuk struktur *framework* atau kompleks yang lebih kompleks dibandingkan ligan penyusunnya.

2. Klasifikasi Transisi Elektronik Kompleks Zn (II)

Berdasarkan analisis instrumen UV-Vis dan FTIR pada berbagai senyawa kompleks Zn(II), pembentukan koordinasi logam-ligan dapat dijelaskan melalui tiga mekanisme transisi utama. Karena ion Zn(II) memiliki konfigurasi d^{10} yang penuh, maka tidak ditemukan transisi $d-d$. Karakteristik optik yang muncul sepenuhnya berasal dari interaksi antara orbital logam dengan orbital ligan organik. Berikut ini adalah tabel klasifikasi berdasarkan jenis transisi elektronik yang dominan dalam analisis UV-Vis.

Tabel 10. Klasifikasi Transisi Elektronik Kompleks Zn (II)

Penulis & Tahun	Judul Jurnal	Jenis Ligan	Jenis/Klasifikasi Transisi
Putri et al., 2019.	Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Kompleks Zn(II)-Katekin sebagai Inhibitor Enzim Lipase	Organik (Bidentat)	LMCT (<i>Ligand-to-Metal Charge Transfer</i>)
Hermawati et al., 2016.	Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Kompleks Zn(II)-8-Hidroksikuinolin	Pigmen Alami	Intraligan
Wibowo et al., 2021	Synthesis And Characterization Of Astaxanthin-Metal Ions (Cu ²⁺ And Zn ²⁺) Complex	Kelat Sintetik	MLCT (<i>Metal-to-Ligand Charge Transfer</i>)
Liu et al., 2006	Synthesis and Characterization of Metal Complexes of Cu(II), Ni(II), Zn(II), Co(II), Mn(II) and Cd(II) with Tetradentate Schiff Bases	Pigmen Alami	Campuran Transisi Intraligan (dominan) & MLCT (lemah)
Charita dan Kavitha., 2025	Synthesis, characterization and biological activity of metal complexes and their Schiff base ligands	Organik	LMCT (<i>Ligand-to-Metal Charge Transfer</i>)
Alorini et al., 2022	Synthesis, characterization, and anticancer	Schiff Base	Intraligan

	activity of some metal complexes with a new Schiff base ligand		
Saeed et al., 2022	Synthesis and Characterization of Metal Complexes Based on Aniline Derivative Schiff Base for Antimicrobial Applications	Schiff Base	Intraligan
Udoisang and Okonkwo., 2022.	Synthesis and Characterization of Zinc (II) and Nickel (II) Complexes with 3-Hydroxy 4-(2-Hydroxy Phenyl) Amino Cyclobut-3-En-1,2-Dione	Schiff Base	Intraligan
Setyawati et al., 2017.	Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Kompleks Zn(II)-EDTA sebagai Senyawa Antialga pada Cooling Water Industri	Schiff Base	LMCT (<i>Ligand-to-Metal Charge Transfer</i>)
Rahmalia et al., 2023.	Sintesis dan Uji Fotostabilitas Kompleks Zn(II)-Astaxanthin	Polifenol Alami	MLCT (<i>Metal-to-Ligand Charge Transfer</i>)

Berdasarkan data yang disajikan pada tabel di atas, terlihat adanya tren pergeseran panjang gelombang maksimum yang menjadi indikator utama keberhasilan pembentukan *Zinc-Organic Frameworks and Complexes*. Pergeseran Batokromik (*Red Shift*), seperti Zn-Katekin (450 nm ke 454 nm) dan Zn-Schiff Base, menunjukkan pergeseran ke arah panjang gelombang yang lebih besar. Secara teoretis, hal ini membuktikan bahwa pembentukan kerangka koordinasi Zink memperkecil celah energi (*energy gap*) antara orbital HOMO dan LUMO. Integrasi logam Zn(II) ke dalam sistem ligan memperluas delokalisasi elektron π di seluruh kerangka organik, yang merupakan karakteristik utama dari material ZOFs fungsional. Pergeseran Hipsokromik (*Blue Shift*) terlihat pada Zn-Astaxanthin dalam pelarut tertentu (seperti asetonitril) menunjukkan pembentukan agregat tipe-H. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem ZOFs tidak hanya terbentuk

secara molekuler, tetapi juga mampu mengatur diri (*self-assembly*) menjadi struktur supramolekul yang kompleks (Rahmalia et al., 2023).

Berdasarkan jurnal yang berjudul “Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Kompleks Zn(II)-Katekin sebagai Inhibitor Enzim Lipase”, dapat diidentifikasi jenis transisinya yaitu LMCT (*Ligand-to-Metal Charge Transfer*). Dilihat dari analisis UV-Vis, data eksperimental menunjukkan bahwa ligan katekin murni memiliki panjang gelombang maksimum (λ_{max}) pada 450 nm. Setelah direaksikan dengan logam Seng ($ZnCl_2$), senyawa kompleks Zn(II)-Katekin menunjukkan pergeseran batokromik (*red-shift*) menjadi 454 nm. Pergeseran ke arah panjang gelombang yang lebih besar ini merupakan indikasi terjadinya transisi LMCT, di mana terjadi perpindahan muatan dari orbital ligan yang kaya elektron (gugus hidroksil) ke orbital kosong pada ion pusat Zn(II). Adapun dilihat dari analisis FTIR, Keberhasilan pembentukan senyawa koordinasi dibuktikan dengan munculnya puncak serapan baru pada bilangan gelombang $478,35\text{ cm}^{-1}$. Puncak ini diatribusikan pada vibrasi regangan Zn-O, yang mengonfirmasi bahwa atom oksigen dari ligan katekin telah berikatan secara koordinatif (menghelat) dengan logam Seng. Selain itu, terjadi perubahan pada intensitas dan posisi vibrasi gugus -OH ligan yang menandakan keterlibatannya dalam proses koordinasi.

Berdasarkan jurnal yang berjudul “Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Kompleks Zn(II)-8-Hidroksikuinolin”, dapat diidentifikasi jenis transisinya yaitu Transisi Intraligan. Dilihat dari analisis UV-vis, penelitian menunjukkan adanya pergeseran puncak dari $256,5\text{ nm}$ ($ZnCl_2$) menjadi rentang $313\text{ nm} - 320\text{ nm}$ setelah menjadi kompleks. Pergeseran ini menandakan perubahan energi pada orbital ligan akibat koordinasi dengan logam seng, namun transisi tetap terjadi pada orbital ligan itu sendiri. Pergeseran ini disebut *redshift* (batokromik) namun tetap berada pada area energi tinggi (UV), Ini menandakan bahwa transisi elektronik yang terjadi tetap merupakan transisi $\pi \rightarrow \pi^*$ yang mana biasanya muncul pada rentang ultraviolet yang lebih rendah/energi lebih tinggi (sekitar 200 nm hingga 350 nm). Data menunjukkan pergeseran dari $256,5\text{ nm}$ ke $313-320\text{ nm}$, yang masuk dalam kategori *high energy* UV milik ligan itu sendiri yang energinya hanya sedikit terganggu oleh keberadaan logam. Adapun dilihat dari analisis FTIR, munculnya vibrasi ikatan Zn-N ($439-513\text{ cm}^{-1}$) dan Zn-O (543 cm^{-1}) membuktikan terjadinya koordinasi. Namun, karena tidak ada perubahan warna yang ekstrem ke daerah tampak yang sangat jauh, interaksinya diklasifikasikan sebagai stabilisasi struktur ligan (Intraligan). Hal ini menunjukkan ligan 8-hidroksikuinolin telah terikat pada atom pusat Zn.

Berdasarkan jurnal yang berjudul “Synthesis And Characterization Of Astaxanthin-Metal Ions (Cu^{2+} And Zn^{2+}) Complex”, dapat diidentifikasi jenis transisinya MLCT (*Metal-to-Ligand Charge Transfer*). Dilihat pada analisis UV-Vis, pada kompleks Zn-Astaxanthin, terjadi pergeseran puncak serapan maksimum (λ_{max}) ke arah panjang gelombang yang lebih pendek (hipsochromik/*blue shift*). Misalnya, dari 480 nm menjadi 464 nm (dalam pelarut n-heksana). Karena Zn^{2+} adalah sistem d^{10}

(penuh), elektron dari orbital d logam berpindah ke orbital π^* (kosong) milik ligan astaxanthin, yang mengonfirmasi adanya fenomena MLCT. Adapun analisis FTIR, terjadi pergeseran dan penurunan intensitas pada gugus fungsi ligan, terutama pada vibrasi C=O (karbonil) dan -OH, yang menunjukkan bahwa gugus-gugus tersebut terlibat dalam ikatan dengan logam.

Berdasarkan jurnal yang berjudul “Synthesis and Characterization of Metal Complexes of Cu(II), Ni(II), Zn(II), Co(II), Mn(II) and Cd(II) with Tetradentate Schiff Bases”, dapat diidentifikasi jenis transisi Campuran Transisi Intraligan (dominan) & MLCT (lemah). Dapat dilihat pada analisis UV-Vis, spektra menunjukkan pita serapan yang kuat di daerah UV yang berasal dari transisi $\pi \rightarrow \pi^*$ pada sistem aromatik ligan. Karena ligan bersifat tetradentat (mengikat di empat titik), terjadi tumpang tindih orbital yang sangat rapat antara orbital d logam yang penuh (d^{10}) dengan orbital π^* ligan yang kosong, memberikan indikasi karakter MLCT (*Metal-to-Ligand Charge Transfer*) yang tumpang tindih dengan transisi intraligan. Adapun analisis FTIR, keberhasilan koordinasi dikonfirmasi dengan munculnya puncak serapan baru pada daerah 523 cm^{-1} yang didistribusikan pada vibrasi regangan Zn-N, serta pergeseran vibrasi C=N ke arah frekuensi yang lebih rendah.

Berdasarkan jurnal yang berjudul “Synthesis, characterization and biological activity of metal complexes and their Schiff base ligands”, jenis transisinya adalah LMCT (*Ligand-to-Metal Charge Transfer*). Dapat dilihat pada analisis UV-Vis, karakterisasi kompleks Zn(II) dengan ligan berbasis pyrimidine-thiol menunjukkan adanya pita transfer muatan yang signifikan. Hal ini diidentifikasi sebagai LMCT, di mana muatan berpindah dari atom donor yang kaya elektron (terutama Sulfur/Thiol dan Nitrogen) menuju orbital kosong pada pusat logam Zn(II). Adapun analisis FTIR, koordinasi dibuktikan melalui identifikasi vibrasi baru pada bilangan gelombang rendah yang merepresentasikan ikatan Zn-S dan Zn-N. Keterlibatan donor "lunak" (*soft donor*) seperti Sulfur memperkuat stabilitas transfer muatan dari ligan ke logam.

Berdasarkan jurnal yang berjudul “Synthesis, characterization, and anticancer activity of some metal complexes with a new Schiff base ligand”, jenis transisinya adalah transisi Intraligan ($n \rightarrow \pi^*$). Dapat dilihat pada analisis UV-Vis, ligan bebas (HL) menunjukkan pita serapan pada panjang gelombang 370 nm . Setelah berkoordinasi dengan Zn(II), terjadi pergeseran batokromik (*red-shift*) menjadi 380 nm . Fenomena ini diklasifikasikan sebagai Transisi Intraligan, di mana elektron pada orbital *non-bonding* (n) milik gugus azometin (C=N) tereksitasi ke orbital antibonding (π^*). Pergeseran ini menandakan adanya gangguan energi pada sistem ligan akibat interaksi dengan logam. Adapun analisis FTIR, terjadi penurunan frekuensi vibrasi pada gugus fungsi azometin (C=N) dari 1626 cm^{-1} menjadi 1620 cm^{-1} . Hal ini membuktikan bahwa atom nitrogen pada ligan telah mendonorkan pasangan elektronnya untuk membentuk ikatan koordinasi dengan Zn(II).

Berdasarkan jurnal yang berjudul “Synthesis and Characterization of Metal Complexes Based on Aniline Derivative Schiff Base for Antimicrobial Applications”, jenis

transisinya adalah transisi Intraligan ($n \rightarrow \pi^*$). Dapat dilihat pada analisis UV-Vis, data menunjukkan absorpsi maksimal di daerah UV yang merupakan karakteristik transisi $\pi \rightarrow \pi^*$ dari sistem terkonjugasi ligan anilin. Logam Zn(II) berperan dalam menstabilkan kerangka elektronik ligan, sehingga meningkatkan efisiensi ligan dalam menyerap radiasi UV tanpa mengubah sifat transisi elektronik utama ligan asalnya secara drastis. Adapun analisis FTIR, perubahan profil vibrasi pada cincin aromatik dan pergeseran gugus azometin mengonfirmasi keterlibatan ligan dalam pembentukan *Zinc-Organic Frameworks*.

Berdasarkan jurnal yang berjudul "Synthesis and Characterisation of Zinc (II) and Nickel (II) Complexes with 3-Hydroxy 4-(2-Hydroxy Phenyl) Amino Cyclobut-3-Ene-1,2-Dione", jenis transisinya adalah Transisi Intraligan. Dapat dilihat berdasarkan analisis UV-Vis, data menunjukkan adanya transisi $\pi \rightarrow \pi^*$ dan $n \rightarrow \pi^*$ yang berasal dari gugus organik dalam ligan itu sendiri. Ditemukan lima puncak absorpsi pada rentang 275,0 nm hingga 389,5 nm. Ketika menjadi kompleks, hanya terjadi sedikit pergeseran (*redshift*) yang menandakan kestabilan struktural, bukan pembentukan pita transfer muatan baru yang dominan di daerah tampak. Adapun analisis FTIR, terjadi pergeseran vibrasi gugus hidroksil (OH) ke arah frekuensi lebih tinggi dan munculnya puncak Logam-Nitrogen (M-N) pada 874,4 cm^{-1} . Ini membuktikan ligan hanya terkoordinasi secara struktural tanpa mengubah sifat transisi elektronik utama selain transisi intraligan ligan asalnya.

Berdasarkan jurnal yang berjudul "Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Kompleks Zn(II)-EDTA sebagai Senyawa Antialga pada Cooling Water Industri", jenis transisinya adalah LMCT (Ligand-to-Metal Charge Transfer). Dapat dilihat berdasarkan analisis UV-Vis, senyawa ini menunjukkan pergeseran Batokromik yang sangat signifikan ke panjang gelombang 752,00 nm. Pergeseran dari 472,50 nm (ligan) ke 752,00 nm (kompleks) menunjukkan energi yang dibutuhkan untuk transisi elektron menjadi jauh lebih kecil. Karena Zn^{2+} adalah logam d^{10} yang tidak memiliki transisi d-d, munculnya warna/serapan di angka setinggi ini (daerah merah/tampak) disebabkan oleh transfer muatan dari ligan (EDTA) ke orbital logam yang kosong (LMCT). Adapun analisis FTIR, keberhasilan transfer muatan ini didukung oleh munculnya vibrasi ikatan baru Zn-O pada 478,35 cm^{-1} dan Zn-N pada 516,92 cm^{-1} . Ikatan langsung ini memfasilitasi aliran elektron dari donor (O dan N pada EDTA) ke ion pusat Zn.

Berdasarkan jurnal yang berjudul "Sintesis dan Uji Fotostabilitas Kompleks Zn(II)-Astaxanthin", jenis transisinya adalah MLCT (*Metal-to-Ligand Charge Transfer*). Dapat dilihat berdasarkan analisis UV-Vis, terjadi pergeseran hipsokromik yang signifikan. Dalam pelarut DMSO, puncak bergeser dari 493 nm menjadi 475 nm. Pergeseran ke energi yang lebih tinggi ini merupakan indikasi kuat perpindahan muatan dari logam ke ligan (MLCT). Adapun analisis FTIR, terjadi penurunan intensitas yang sangat tajam pada puncak -OH (3001 cm^{-1}) dan C=O (1712 cm^{-1}). Hal ini membuktikan bahwa elektron pada gugus tersebut kini "berbagi" atau menerima muatan dari logam. Munculnya puncak baru Zn-O pada 424 cm^{-1} menjadi bukti fisik

jalur perpindahan muatan tersebut. Gugus karbonil (C=O) bertindak sebagai akseptor elektron dari logam (dalam mekanisme MLCT). Keterlibatan elektron π dari ikatan C=O dalam interaksi dengan logam menyebabkan kekuatan ikatan rangkap tersebut sedikit melemah atau berubah lingkungannya, sehingga intensitas serapannya di FTIR menurun.

Kesimpulan

Berdasarkan tujuan penelitian, dapat disimpulkan bahwa pembentukan senyawa kompleks Zn(II) dengan berbagai ligan organik telah berhasil dibuktikan melalui analisis spektroskopik komparatif yang menunjukkan adanya perubahan struktural dan dinamika elektronik yang signifikan. Secara spektroskopik UV-Vis, keberhasilan koordinasi ditandai dengan pergeseran panjang gelombang maksimum (λ_{max}) akibat transisi elektronik berupa *Ligand-to-Metal Charge Transfer* (LMCT), *Metal-to-Ligand Charge Transfer* (MLCT), serta transisi intraligan, mengingat konfigurasi d^{10} pada Zn(II) tidak memungkinkan terjadinya transisi *d-d*. Hal ini diperkuat oleh data spektrum FTIR yang mengonfirmasi adanya interaksi antara ion pusat Zn^{2+} dengan atom donor ligan melalui kemunculan puncak serapan baru pada daerah 400-600 cm^{-1} yang merupakan vibrasi khas ikatan Zn-O dan Zn-N, serta adanya pergeseran gugus fungsi ligan (seperti C=O, C=N, atau -OH) yang menunjukkan keterlibatan atom donor dalam mengapit pusat logam Zn(II). Karakterisasi ini menjadi landasan utama dalam penentuan potensi pengembangan stabilitas dan struktur material baru berbasis *Zinc-Organic Frameworks* (ZOFs).

Daftar Pustaka

- Alorini, T. A., Al-Hakimi, A. N., Saeed, S. E.-S., Alhamzi, E. H. L., & Albadri, A. E. A. E. (2022). Synthesis, characterization, and anticancer activity of some metal complexes with a new Schiff base ligand. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(1), 103559.
- Charitha, K. R., & Kavitha, P. (2025). Synthesis, characterization and biological activity of metal complexes and their Schiff base ligands. *Indian Journal of Chemistry*, 64(5), 496-499.
- Hermawati, E. S., Suhartana, & Taslimah. (2016). Sintesis dan karakterisasi senyawa kompleks Zn(II)-8-hidroksikuinolin. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 19(3), 94-98.
- Housecroft, C. E., & Sharpe, A. G. (2018). *Inorganic Chemistry* (5th ed.). London: Pearson Education Limited.
- Liu, J., Wu, B.-W., Zhang, B., & Liu, Y. (2006). Synthesis and characterization of metal complexes of Cu(II), Ni(II), Zn(II), Co(II), Mn(II) and Cd(II) with tetradentate Schiff bases. *Turkish Journal of Chemistry*, 30(1), 41-48.
- Putri, A. L., Setyawati, H., & Sumarsih, S. (2019). Sintesis, karakterisasi dan uji aktivitas senyawa kompleks Zn(II)-katekin sebagai inhibitor enzim lipase. *Jurnal Kimia Riset*, 4(1), 33-39.
- Rahmalia, W., Prayitno, D. I., Adhityawarman, & Septiani. (2023). Sintesis dan uji fotostabilitas kompleks Zn(II)-astaxanthin. *Jurnal Riset Kimia*, 14(1), 51-59.

- Raptopoulou, C. P. 2021. Metal-Organic Frameworks: Synthetic Methods and Potential Applications. *Material (Basel)*, 14(2)
- Saeed, S. E.-S., Al-Harbi, T. M., Alhakimi, A. N., & Abd El-Hady, M. M. (2022). Synthesis and characterization of metal complexes based on aniline derivative Schiff base for antimicrobial applications and UV protection of a modified cotton fabric. *Coatings*, 12(8), 1181.
- Setyawati, H., Sumarsih, S., & Ayuningtyas, S. (2017). Sintesis dan karakterisasi senyawa kompleks Zn(II)-EDTA sebagai senyawa antialga pada cooling water industri. *Jurnal Kimia Riset*, 2(1), 43-50.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2018). Principles of Instrumental Analysis (7th ed.). Boston: Cengage Learning
- Udoisang, K. M., & Okonkwo, C. U. (2022). Synthesis and characterisation of Zinc (II) and Nickel (II) complexes with 3-hydroxy-4-(2-hydroxy phenyl) amino cyclobut-3-ene-1,2-dione. *JOJ Sciences*, 3(1), 555601.
- Weller, M., Overton, T., Rourke, J., & Armstrong, F. (2018). Inorganic Chemistry (7th ed.). Oxford: Oxford University Press
- Wibowo, S., Prakoso, B. D., Najihah, S., Fajar, Z. H., Widyarti, S., Sabarudin, A., Soeatmadji, D. W., & Sumitro, S. B. (2021). Synthesis and characterization of astaxanthin-metal ions (Cu²⁺ and Zn²⁺) complex. *Rasayan Journal of Chemistry*, 14(2), 877-886.