

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tuberkulosis (TBC) masih menjadi masalah kesehatan utama di Indonesia. Menurut WHO *Global Tuberculosis Report 2023*, terdapat 10,6 juta orang yang jatuh sakit karena TBC di seluruh dunia dan sebanyak 1,3 juta orang meninggal karena penyakit tersebut. Indonesia adalah salah satu dari delapan negara yang menyumbang kasus TBC terbanyak kedua di seluruh dunia setelah India. Indonesia menempati posisi kedua, dengan 1.060.000 kasus baru dan 134.000 kematian per tahun setara dengan 15 kematian per jam.

Penularan utama penyakit TBC terjadi melalui udara, terutama saat seseorang yang terinfeksi batuk, bersin, atau berbicara. Bakteri ini dilepaskan ke udara dalam bentuk droplet kecil. Selain itu, orang yang menderita TBC juga dapat terinfeksi dengan bersentuhan langsung dengan cairan tubuh mereka (Febriyanti et al., 2024). Pengobatan yang umum dilakukan untuk TBC terdiri dari kombinasi rifampisin (RMP), isoniazid (INH), pirazinamid (PZA), dan etambutol (ETH) untuk durasi enam bulan. Namun, kombinasi pengobatan ini akan menjadi tidak efektif untuk yang resisten terhadap beberapa obat antibiotik atau biasa disebut *Multi-drug Resistant Tuberculosis* (MDR-TB) yang resisten terhadap RMP dan INH (Cristina et al., 2021). Kochi et al., (1993), menyatakan bahwa resistensi *Mycobacterium tuberculosis* terjadi karena adanya seleksi strain yang terjadi pada proses terapi disamping adanya mutasi spontan pada gen kromosom. Oleh karena itu, diperlukan alternatif senyawa lain untuk mengatasi hal tersebut, salah satunya menggunakan senyawa kompleks dengan logam transisi.

Beberapa penelitian membuktikan bahwa penggunaan senyawa kompleks yang dipadukan dengan ligan asam amino ditiokarbamat dapat berpotensi untuk dijadikan alternatif antituberkulosis yang lebih efektif (Kartina et al., 2019; Mubaraq et al., 2025). Senyawa kompleks dianggap kandidat yang sangat baik untuk pengembangan obat karena memiliki beragam karakteristik unik seperti kimia redoks, bioaktivitas, dan keragaman struktur, yang semuanya berkontribusi pada kemampuannya untuk melawan resistensi obat yang sering dialami oleh obat berbasis molekul organik. Selain itu, kompleks organologam ini lebih stabil dan mudah dimodifikasi dibandingkan dengan kompleks koordinasi konvensional, menjadikannya aset berharga dalam penemuan obat (Dube et al., 2024).



il., (2019), melaporkan hasil penelitian yang menunjukkan npleks dengan logam Fe(III) diprediksi memiliki interaksi yang a isoniazid pada *Mycobacterium tuberculosis*. Senyawa uat diharapkan mampu menembus dinding sel sehingga lat akan rusak. Oleh karena itu, struktur asam mikolat akan melemahkan ketahanan sel *Mycobacterium tuberculosis*.

Senyawa kompleks terdiri dari gabungan senyawa dengan ion logam pusat dan satu atau lebih ligan yang memberikan pasangan elektron bebasnya kepada ion logam pusat.

Logam transisi seperti Fe(II) merupakan logam yang banyak diminati dan menjadi perhatian banyak peneliti untuk pengembangan penemuan metode pengobatan yang efektif (Irfandi et al., 2021). Logam Kompleks Fe(III) dapat berperan sebagai ligan bioaktif, sehingga meningkatkan konsentrasi molekul dalam sel mikrobakteri. Mekanisme antara senyawa kompleks dengan bakteri adalah melalui teori khelasi, dimana ketika ion logam dalam khelasi dengan ligan maka polaritas ion logam akan menurun dan menyumbangkan sebagian muatan positif ion logam kepada gugus donor sehingga kompleks dapat menembus atau masuk ke dalam membran bakteri (Ruswanto et al., 2018).

Ligan ditiokarbamat juga dapat dikombinasikan dengan senyawa donor lainnya untuk meningkatkan keanekaragaman produk senyawa kompleks (Radisavljevic et al., 2018). Senyawa ditiokarbamat dapat dijadikan pilihan untuk pengobatan pada bidang kesehatan, karena memiliki kemampuan untuk mengikat logam. Senyawa ini juga menunjukkan potensi dalam aktivitas antimikroba dan pengobatan penyakit (Ruswanto et al., 2018).

Berdasarkan uraian tersebut, maka dilakukan penelitian sintesis senyawa kompleks dari ion logam Fe(III) dan Co(II) dengan menggunakan ligan asam amino yaitu valin dan fenilalanin ditiokarbamat sebagai anti bakteri *Mycobacterium Tuberculosis*.

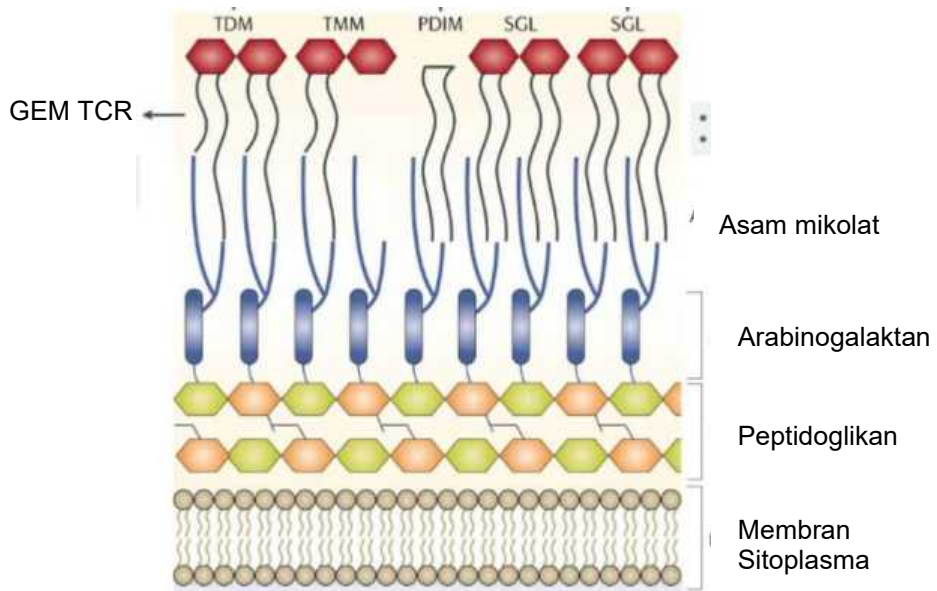
1.2 Landasan Teori

1.2.1 Tuberkulosis

Di negara-negara berkembang, tuberkulosis adalah penyebab kematian terbanyak. Dibandingkan dengan negara-negara Eropa, wilayah Asia memiliki jumlah kasus tuberkulosis tertinggi. Hal ini dipengaruhi oleh kepadatan penduduk yang menyebabkan interaksi cenderung lebih umum sehingga meningkatkan kemungkinan penyebaran bakteri *Mycobacterium tuberculosis* (Simanjuntak, 2021). Selain itu, perilaku orang yang tidak memperhatikan kesehatan, lingkungan, dan kebersihan pribadi juga berkontribusi positif terhadap peningkatan kasus penyakit di masyarakat. Padatan, ventilasi, kelembaban, jenis lantai, jenis dinding, suhu, dan pencahayaan adalah komponen lingkungan individu (Rahmawati et al., 2024).

Menurut data Kemenkes RI tahun 2022, perkiraan jumlah kasus TBC di 2021 tercatat sebanyak 969.000 atau 354 per 100.000 sebesar 22.000 kasus per tahun atau 8,1 per 100.000 in karena TBC diperkirakan sebesar 144.000 atau 52 per dan kematian TBC-HIV sebesar 6.500 atau 2,4 per 100.000





Gambar 1. Struktur sel *Mycobacterium Tuberculosis* (Ho Park & Bendelac, 2000).

Dinding sel terdiri dari peptidoglikandan mirip dengan organisme gram-positif lainnya yang banyak mengandung polisakarida rantai cabang, protein dan lipid. Dinding selnya memiliki struktur berlapis yang mengandung peptidoglikan, arabinogalaktan, asam mikolat (Imam & Siregar, 2014). Asam mikolat merupakan asam lemak α -alkil- β -hidroksi kompleks yang sangat panjang (C60-C90) dan kuat. Ditemukan baik terikat secara kovalen pada dinding sel atau dalam bentuk trehalosa monomikolat. Lapisan ini menyebabkan permeabilitas yang sangat rendah dari dinding sel mikobakteria dan menjelaskan ketahanan alami mikobakteria terhadap antibiotik (Imam & Siregar, 2014). Secara struktural, asam mikolat terdiri dari rantai asam lemak panjang yang memiliki berbagai macam gugus fungsi, yaitu ikatan rangkap, keto, ester, etoksi, metoksi, dan cincin siklopropana. Asam lemak ini merupakan salah satu faktor terpenting terhadap ketahanan bakteri (Hasminisari, 2018).

Penelitian (Lutsenko et al., 2022) melaporkan bahwa senyawa kompleks dengan logam Co(II) dan Zn(II) dapat menghambat enzim kunci dalam jalur mikolat dan akan mencegah pembentukan struktur kovalen lebih kuat.



1.2.2 Senyawa Kompleks

Senyawa kompleks atau senyawa koordinasi merupakan senyawa yang dibentuk oleh atom atau ion pusat (logam) dengan beberapa gugus molekul atau gugus ion melalui ikatan kovalen koordinasi. Senyawa kompleks sangat berhubungan dengan asam dan basa lewis, dimana atom pusat bersifat asam lewis artinya sebagai penerima pasangan elektron bebas dan ligan bersifat basa lewis yang artinya sebagai donor pasangan elektron (Hermawati et al., 2016).

Secara umum, ion pusat memiliki orbital-orbital d yang tidak terisi penuh dengan elektron, yang memungkinkannya bertindak sebagai akseptor pasangan elektron tersebut. Sifat-sifat unik yang dihasilkan oleh ciri ini termasuk warna yang berbeda, pembentukan senyawa paramagnetik, aktivitas katalitik, dan yang paling penting, kecenderungan yang tinggi untuk membentuk senyawa kompleks.

Pembentukan senyawa kompleks antara logam dan ligan mengikuti prinsip HSAB (*Hard Soft Acid Base*), yang mengatur interaksi antara asam dan basa berdasarkan sifat kekerasan dan kelunakannya. Karena ditiokarbamat tergolong basa lunak, maka ia lebih cenderung membentuk kompleks dengan asam lunak (Duwila & Amin, 2023).

Basa	Asam
<u>Keras</u> H ₂ O, OH ⁻ , F ⁻ , CH ₃ CO ₂ ⁻ , PO ₄ ³⁻ , Cl ⁻ , ClO ₄ ⁻ , NO ₃ ⁻ , ROH, RO, R ₂ O, NH ₃ , RNH ₂ , N ₂ H ₄	<u>Keras</u> H ⁺ , Li ⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , Be ²⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Al ³⁺ , Ca ³⁺ , Cr ³⁺ , Co ³⁺ , Fe ³⁺ , CH ₃ ⁺ , Sn ³⁺ , Si ⁴⁺ , Ti ⁴⁺ , RCO ⁺ , CO ₂ , NC ⁺ , HX (molekul molekul ikatan hidrogen)
<u>Madya</u> C ₆ H ₅ NH ₂ , C ₅ H ₅ N, N ₃ , Br, NO ₂ , SO ₃ , N ₂	<u>Madya</u> Fe ²⁺ , Co ²⁺ , Ni ²⁺ , Cu ²⁺ , Zn ²⁺ , Pb ²⁺ , Sn ²⁺ , B(CH ₃) ₃ , SO ₂ , NO ⁺ , R ₃ C ⁺ , C ₆ H ₅ ⁺
<u>Lunak</u> R ₂ S, RSH, RS ⁻ , I ⁻ , SCN ⁻ , S ₂ O ₃ ²⁻ , (RO) ₃ P, CN ⁻ , RNC, CO, C ₂ H ₄ , C ₆ H ₆ , H ₂ , R ₃ P	<u>Lunak</u> Cu ⁺ , Ag ⁺ , Au ⁺ , Tl ⁺ , Hg ⁺ , Pd ²⁺ , Cd ²⁺ , Pt ²⁺ , Hg ²⁺ , CH ₃ Hg ⁺ , Co(CN) ₅ ²⁻ , I ⁺ , Br ⁺ , HO, RO ⁺ , M ^o (atom logam), CH ₂

Tabel 1. Asam dan basa beberapa senyawa dan ion menurut prinsip HSAB dari Pearson (Amri & Fahrurrozi, 2014).

Penelitian mengenai penggunaan senyawa kompleks ditiokarbamat (DTC) berkembang karena aplikasi luasnya dalam berbagai aspek. Di bidang kimia, senyawa ini sering dimanfaatkan sebagai isis unsur atau sebagai bahan resin (Li et al., 2022). Kompleks logam dengan ditiokarbamat bisa mengubah struktur mikolat pada bakteri *Mycobacterium tuberculosis* tersebut juga daya tahan sel bakteri (Hasminisari, 2015).



1.2.3 Logam Fe

Besi (Fe) adalah logam transisi dan memiliki nomor atom 26. Bilangan oksidasi Fe adalah +3 dan +2. Fe merupakan logam esensial bagi tubuh yang dalam dosis tinggi bersifat toksik. Kadar Fe yang terlalu tinggi bisa mengakibatkan kerusakan selular akibat radikal bebas. Sementara itu, wanita menopause lebih berisiko terserang penyakit jantung koroner karena tubuh tidak lagi mengalami menstruasi sehingga pembuangan Fe berlebih dalam tubuh tidak terjadi (Karim et al., 2017).

Logam besi (Fe) dalam senyawa kompleks memiliki potensi besar sebagai agen antibakteri karena kemampuannya mengganggu proses biologis mikroorganisme. Kompleks besi dapat menghasilkan spesies oksigen reaktif (ROS) melalui reaksi redoks yang merusak membran sel bakteri, protein, dan DNA, sehingga menghambat pertumbuhan atau menyebabkan kematian sel bakteri. Selain itu, senyawa kompleks besi juga dapat mengganggu sistem transportasi besi dalam bakteri, menghambat enzim esensial, atau memblokir sintesis protein penting. Aplikasi ini dimanfaatkan dalam pengembangan obat antimikroba baru untuk melawan infeksi bakteri yang resisten terhadap antibiotik konvensional. Beberapa kompleks besi juga digunakan dalam bahan pelapis antimikroba untuk permukaan medis dan perangkat kesehatan guna mencegah kontaminasi bakteri. Ion logam Fe(III) dalam prinsip HSAB (*Hard Soft Acid Base*) tergolong asam keras. Dalam bentuk ionik, logam Fe bisa jadi berbahaya, tetapi jika dikomplekskan akan memberikan manfaat yang sangat besar. Misalnya, ion Fe(III) yang dikomplekskan dengan ligan *N-Heptylmethyl dithiocarbamate* berpotensi untuk bertindak sebagai agen antituberkulosis (Ranggina, 2024).

1.2.4 Logam Co

Logam Co(II) memiliki sifat diantaranya, paramagnetik, dapat terurai pada suhu pemanasan 150°C dan memiliki kelarutan 0,4 gram per 100 mL air pada suhu ruang (Abbas, 2015). Cobalt(II) merupakan salah satu logam transisi dengan konfigurasi elektron $[Ar]3d^7$ yang memungkinkan terjadinya pembentukan kompleks. Kedua jenis kobalt relatif stabil; namun, Co(II) lebih stabil dalam senyawa sederhana daripada Co(III). Berbagai macam ligan dapat membentuk kompleks kobalt (Soekarjo, 1999).

Cobalt(II) dalam senyawa kompleks memiliki aktivitas antibakteri yang memungkinkan interaksi dengan struktur biologis bakteri. Kompleks Co(II) dapat berikatan dengan biomolekul seperti protein dan DNA melalui ikatan koordinasi, s penting seperti replikasi DNA dan sintesis protein. Selain itu, s ini sering bersifat redoks-aktif, sehingga mampu es oksigen reaktif (ROS) yang merusak membran sel bakteri aseluler lainnya. Beberapa senyawa kompleks Co(II) juga t enzim esensial dalam metabolisme bakteri, membuatnya bagai jenis patogen, termasuk bakteri resisten. Karena itu,



kompleks Co(II) banyak diteliti untuk pengembangan obat antimikroba baru dan bahan pelapis antimikroba untuk aplikasi medis dan industri (Ranggina, 2024).

1.2.5 Asam Amino Valin

Valin merupakan salah satu asam amino rantai cabang atau biasa disebut *Branched-Chain Amino Acid* (BCAA) yang berfungsi sebagai prekursor glikogen. Valin sangat penting untuk pertumbuhan dan pemeliharaan jaringan otot. Valin juga dapat merangsang kemampuan mental, koordinasi otot, membantu memperbaiki jaringan yang rusak, dan menjaga keseimbangan nitrogen (Susilo, 2017).

Dalam konteks senyawa kompleks, valin dapat berfungsi sebagai ligan, di mana gugus amino ($-NH_2$) dan karboksil ($-COOH$) dalam strukturnya dapat berkoordinasi dengan ion logam untuk membentuk kompleks logam. Kompleks ini memiliki berbagai potensial, terutama dalam bidang biomedis dan farmasi, seperti dalam sistem penghantaran obat, katalisis enzimatis, atau sebagai bahan aktivitas antimikroba dan antioksidan. Rantai bercabang pada valin juga dapat mempengaruhi stabilitas dan sifat struktural kompleks yang dihasilkan.

1.2.6 Asam Amino Fenilalanin

Fenilalanin adalah asam amino esensial yang memainkan peran krusial dalam pembentukan protein serta bertindak sebagai prekursor neurotransmitter seperti dopamin. Dalam kimia koordinasi, fenilalanin juga dapat bertindak sebagai ligan, di mana gugus amino ($-NH_2$) dan karboksil ($-COOH$) dalam strukturnya berikatan dengan ion logam untuk membentuk senyawa kompleks. Kompleks ini memiliki potensi aplikasi luas, terutama di bidang kesehatan dan farmasi, misalnya dalam pengembangan obat atau sistem penghantaran obat berbasis logam.

Penelitian (Aziz, 2010) menemukan bahwa sintesis ligan yang dibentuk dari asam amino fenilalanin yang dikoordinasikan dengan logam seperti Cu(II), Zn(II), atau Ni(II) menunjukkan aktivitas penghambatan yang signifikan terhadap MTb. Fenilalanin sebagai asam amino aromatik, membawa cincin fenil yang mampu meningkatkan sifat lipofilik suatu kompleks, sehingga memperbesar kecenderungan molekul untuk larut dalam lingkungan berlemak. Peningkatan karakter lipofilik ini sangat relevan untuk agen antituberkulosis karena dinding sel *Mycobacterium tuberculosis* tersusun atas lapisan tebal dan kaya asam mikolat yang menuntut senyawa mampu berdifusi secara efisien melaluinya. Dengan struktur aromatikanya, fenilalanin dapat berkontribusi pada optimalisasi kemampuan kompleks untuk berpenetrasi dan diserap oleh sel mikobakteri, sehingga berpotensi meningkatkan efektivitas aktivitas biologisnya. Selain itu, fenilalanin dapat memperkuat interaksi hidrofobik dengan ri, meningkatkan penetrasi senyawa kompleks ke dalam sel (20).



1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah senyawa kompleks ion logam Fe(III) dan Co(II) dengan ligan valin dan fenilalanin ditiokarbamat dapat disintesis secara *in situ*?
2. Bagaimana karakteristik hasil sintesis senyawa kompleks ion logam Fe(III), dan Co(II) menggunakan ligan valin dan fenilalanin ditiokarbamat?
3. Bagaimana hasil pengujian senyawa kompleks Co(II) dan Fe (III) menggunakan ligan valin dan fenilalanin ditiokarbamat sebagai antibakteri *Mycobacterium tuberculosis*?

1.4 Maksud dan Tujuan Penelitian

1.4.1 Maksud Penelitian

Adapun maksud dari penelitian ini adalah:

1. Melakukan sintesis senyawa kompleks Co(II) dan Fe(III) menggunakan ligan valin dan fenilalanin ditiokarbamat sebagai antibakteri *Mycobacterium tuberculosis*.
2. Melakukan karakterisasi hasil sintesis senyawa kompleks Co(II) dan Fe(III) menggunakan ligan valin dan fenilalanin ditiokarbamat.
3. Melakukan pengujian senyawa kompleks Co(II) dan Fe(III) menggunakan ligan valin dan fenilalanin ditiokarbamat sebagai prekursor.

1.4.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menghasilkan senyawa kompleks Co(II) dan Fe(III) menggunakan ligan valin dan fenilalanin ditiokarbamat sebagai antibakteri *Mycobacterium tuberculosis*.
2. Mendapatkan data karakter dari senyawa kompleks Co(II) dan Fe(III) menggunakan ligan valin dan fenilalanin ditiokarbamat yang telah disintesis.
3. Memperoleh data hasil pengujian senyawa kompleks Co(II) dan Fe(III) menggunakan ligan valin dan fenilalanin ditiokarbamat terhadap *Mycobacterium tuberculosis*.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi mengenai sintesis senyawa kompleks dari logam Co(II) dan Fe(III) dengan ligan ditiokarbamat dan dapat menjadi bahan referensi untuk peneliti selanjutnya.



BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Merck), $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Merck), CS_2 (Merck), valine, fenilalanin, etanol *absolute for analyse* (Merck), karbon disulfida, aquabides, kertas saring whatman No.42, *ice bath*, DMSO, bakteri *Mycobacteriaceae Tuberculosis* dan *tissue roll*.

2.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini neraca analitik, desikator, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) (Shimadzu, IR Prastige21), Spektrofotometer Uv-Vis *magnetic stirrer*, pengukur titik leleh model Elektrotermal 9100, *Spektrofotometer Fourier Transform Infrared* SHIMADZU, instrumen *X-ray Diffraction*, dan peralatan gelas yang umum digunakan di laboratorium.

2.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2024 – April 2025. Penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik FMIPA, Laboratorium Kimia Terpadu Departemen Kimia dan Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin Makassar.

2.4 Prosedur Penelitian

2.4.1 Sintesis ligan valin dan fenilalanin ditiokarbamat (Kartina et al, 2019)

Kalium hidroksida sebanyak 0,1683 g (3 mmol) dimasukkan ke dalam gelas Erlenmeyer 100 mL dan ditambahkan akubides hingga larut. Selanjutnya ditambahkan larutan CS_2 sebanyak 0,22 mL (3 mmol) tetes demi tetes pada suhu dingin. Setelah itu ditambahkan valin sebanyak 0,3525 g (3 mmol) yang telah dilarutkan dengan etanol 10 mL, lalu diaduk. Setelah itu diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Selanjutnya endapan yang terbentuk kemudian disaring dan dimasukkan dalam desikator hingga kering kemudian dikristalisasi dengan etanol hingga diperoleh kristal murni. Selanjutnya, hasil sintesis dianalisis dan dikarakterisasi. Perlakuan yang sama dilakukan dengan mengganti asam amino valin dengan 0,4955 g fenilalanin.



Sintesis Kompleks Fe(III) dan Co(II) dengan ligan valin dan ditiokarbamat

sejumlah 0,3366 g (3 mmol) dimasukkan ke dalam gelas Erlenmeyer 100 mL dan ditambahkan akubides hingga larut. Selanjutnya ditambahkan larutan CS_2 sebanyak 0,3 mL (3 mmol) tetes demi tetes pada suhu dingin. Setelah itu ditambahkan valin sebanyak 0,5875 g (3 mmol) yang telah dilarutkan dengan etanol 10 mL, lalu diaduk. Kemudian ditambahkan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

sebanyak 0,8109 g (3 mmol) yang telah dilarutkan dalam etanol 10 mL. Setelah itu diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Endapan yang terbentuk disaring dan dimasukkan dalam desikator hingga kering kemudian dikristalisasi dengan etanol hingga diperoleh kristal murni. Hasil sintesis dianalisis dan dikarakterisasi dan dilakukan perlakuan yang sama untuk logam Co(II) menggunakan ligan Val, PheDtc, dan Logam Fe(III) ValDtc, Phe Dtc.

2.4.3 Analisis Instrumentasi

2.4.3.1 Pengukur titik leleh

Pipa kapiler yang berisi sampel hasil sintesis dimasukkan ke dalam slot pada alat melting point. Tekan tombol ON, atur tingkat pemanasan dengan memutar heating control knob. Amati dan catat suhu titik leleh melalui *eyepiece*.

2.4.3.2 Konduktometer

Sampel Fe (III) dan Co (II) hasil sintesis dilarutkan dalam etanol, kemudian masing-masing larutan diukur daya hantar listriknya/konduktivitasnya menggunakan alat konduktometer.

2.4.3.3 Spektrofotometer FT-IR

Sampel Fe(III) ValinDtc dan Co(II) hasil sintesis dihaluskan menggunakan mortar kemudian dicampurkan bahan nujol mull, diaduk hingga berbentuk pasta. Kemudian dicampurkan dengan KBr murni, diaduk hingga rata dan dimasukkan ke dalam pelet NaCl, kemudian diukur menggunakan instrumen FTIR pada daerah bilangan gelombang kisaran $340\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$.

2.4.3.4 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis digunakan sebagai alat untuk mengetahui adanya ikatan yang terbentuk antara ligan dan logam dalam senyawa kompleks. Sampel senyawa kompleks hasil sintesis dilarutkan ke dalam etanol hingga diperoleh larutan dengan konsentrasi 100 mg/L, kemudian diukur spektrum elektroniknya pada daerah 200-800 nm.

2.4.3.5 X-ray Diffraction (XRD)

Analisis XRD dilakukan untuk mengidentifikasi material kristalit dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X. Sampel disinari dengan sinar-X yang dihasilkan dari logam yang di uji pada sudut difraksi (2θ) berkisar antara $5\text{--}90^\circ$ dengan interval $0,02^\circ/\text{step}$. Setelah itu, akan diperoleh difraktogram antara sudut difraksi (2θ) dan intensitas puncak (*counts*).

2.4.4 Pengujian Antibakteri *Mycobacterium tuberculosis*

Bakteri *Mycobacterium tuberculosis* diremajakan pada media Lowenstein Jensen dalam tabung sekam selama 6 minggu pada suhu 37°C . Media uji disediakan dan diinokulasi dengan suspensi sel sulfoksida (kontrol negatif), larutan senyawa kompleks dengan konsentrasi 500, 1000 dan 1500 mg/L, dan larutan obat izoniazid (kontrol positif) dengan konsentrasi 4000 mg/L dalam masing-masing media uji. Medium kemudian diinkubasi dalam media uji dan dihomogenkan. Media uji kemudian diberi suspensi bakteri selama 6 minggu pada suhu 37°C . Selanjutnya diamati pertumbuhan bakterinya.

