

Sintesis dan karakterisasi senyawa kompleks dari Ion Tembaga(II) dengan Ligan Ion Tiosianat dan Isokuinolina

Linda Kusumawati¹, I Wayan Dasna¹, Nazriati¹

¹Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Malang

E-mail: lindakusumawati.kimia@gmail.com; idasna@um.ac.id; nazriati.fmipa@um.ac.id

Abstrak: Sintesis senyawa kompleks dari tembaga(II) klorida dengan ligan ion tiosianat, dan isokuinolina dengan stoikiometri 1:2:2 menghasilkan kristal hijau gelap, berbentuk balok, dan terdekomposisi pada suhu 155-157°C, yang menunjukkan senyawa tersebut baru dan murni. Analisis EDX menghasilkan rumus empiris $C_{20}H_{14}N_4S_2Cu$. Analisis FT-IR menunjukkan bahwa senyawa kompleks yang polimerik yang mengandung isokuinolina dan ion tiosianat. Analisis DHL dan analisis kualitatif anion klorida mengindikasikan bahwa senyawa kompleks merupakan senyawa molekuler. Hasil karakterisasi uji titik lebur, analisis EDX, analisis FT-IR, uji DHL, dan uji kualitatif anion klorida menunjukkan bahwa senyawa kompleks yang dihasilkan memiliki rumus kimia $[Cu(IQ)_2(SCN)_2]$. Berdasarkan perhitungan energi bebas menggunakan *softwareGaussian 09W*, struktur yang lebih stabil adalah senyawa kompleks polimerik $[Cu(IQ)_2(NCS)_2]_n$ dengan geometri oktahedral terdistorsi.

Kata Kunci: senyawa kompleks, ion tembaga(II), ion tiosianat, isokuinolina.

Abstract: Synthesis of complex compound from copper(II) chloride with ligands thiocyanate ion, and isoquinoline on stoichiometry 1:2:2 produced deep green crystal, block shape, and decomposed at 155-157°C. It was indicating that the compound is new and pure. EDX analysis have given result of empirical formula $C_{20}H_{14}N_4S_2Cu$. FT-IR analysis showed that the complex compound have polymeric structure that contain isoquinoline and thiocyanate ion. Electrical conductivity test and qualitative test of chloride ion indicated that complex compound is molecular compound. Based on the characterization result, chemical formula of complex compound is $[Cu(IQ)_2(NCS)_2]$. Based on the calculation of free energy using *software Gaussian 09W*, the more stable structure is the polymeric complex compound $[Cu(IQ)_2(NCS)_2]_n$ with distorted octahedral geometry.

Keywords: complex compound, copper(II) ion, thiocyanate ion, isoquinoline.

PENDAHULUAN

Ion tembaga(II) merupakan ion logam transisi dari golongan 11 periode 4 yang memiliki konfigurasi elektron $[18Ar] 3d^9$. Ion tembaga(II) dapat membentuk senyawa kompleks dengan ligan ion tiosianat dan piridina maupun turunannya. Senyawa kompleks tembaga(II) yang mengandung donor nitrogen dan sulfur telah terbukti memiliki potensi antibakteri dan agen fungal (Balan *dkk.*, 2013). Senyawa kompleks yang dihasilkan dari ion tembaga(II) dengan ligan ion tiosianat dan piridina maupun turunannya memiliki manfaat sebagai antimikroba. Senyawa kompleks dari ion tembaga(II) dengan ligan ion tiosianat dan piridina yaitu $[Cu(py)_2(NCS)_2]$ (py: piridina) dapat digunakan sebagai antimikroba (Chimaine *dkk.*, 2016). Senyawa kompleks tersebut dapat melawan jamur *C. albicans* 194b, *C. glabrata* 44B dan bakteri spesies *P. aeruginosa* dan *S. typhi* (Chimaine *dkk.*, 2016).

Salah satu senyawa kompleks dari ion tembaga(II) dengan ligan ion tiosianat dan turunan piridina yaitu $[Cu(NAL)_2(NCS)_2]$ (NAL: nikotinamilida), senyawa tersebut dapat digunakan sebagai antimikroba (Balan *dkk.*, 2013). Senyawa kompleks tersebut dapat melawan bakteri seperti *Klebsiella pneumonia* (MTCC 109), *Vibrio cholera* (ATCC 14035), *Micrococcus luteus* (ATCC 14452), dan *Staphylococcus aureus*

(MTCC 96) dan jamur seperti *Candida albicans* (MTCC 183), *Candida tropicalis* (MTCC 184) dan *Candida parapsilosis* (MTCC 2509).

Senyawa kompleks dari ion tembaga(II) dengan ligan ion tiosianat dan piridina maupun turunannya dengan stoikiometri 1:2:2 telah banyak disintesis. Contoh senyawa kompleks meliputi $[\text{Cu}(\text{py})_2(\text{NCS})_2]$ (py: piridina) (Chen *dkk.*, 2005); $[\text{Cu}(4\text{-mepy})_2(\text{NCS})_2]$ (4-mepy: 4-metilpiridina) (Kabesova *dkk.*, 1989); dan $[\text{Cu}(4\text{-cpy})_2(\text{NCS})_2]$ (4-cpy : 4-nitripiridina) (Machura *dkk.*, 2013). Jika dilihat dari strukturnya, piridina memiliki tiga ikatan rangkap C=C terkonjugasi dengan satu PEB (pasangan elektron bebas), 4-metilpiridina tiga ikatan rangkap C=C terkonjugasi dengan satu PEB dan satu gugus pendorong elektron, dan 4-nitripiridina memiliki tiga ikatan rangkap C=C terkonjugasi, satu ikatan rangkap N≡C yang terkonjugasi terhadap ikatan C=C dengan dua PEB. Senyawa turunan piridina dengan ukuran yang lebih besar dan memiliki ikatan konjugasi yang lebih banyak adalah isokuinolina. Isokuinolina memiliki rumus molekul $\text{C}_9\text{H}_7\text{N}$.

Jika dibandingkan dengan turunan piridina yang lain, maka isokuinolina memiliki ikatan C=C konjugasi yang lebih banyak yaitu memiliki lima ikatan rangkap C=C terkonjugasi dan satu PEB. Senyawa kompleks dengan ligan yang memiliki ikatan rangkap terkonjugasi yang banyak diharapkan memiliki aktivitas antibakteri yang lebih baik, sehingga senyawa kompleks dengan ligan isokuinolina diharapkan memiliki aktivitas antibakteri yang lebih baik daripada senyawa kompleks dengan ligan piridina maupun turunan piridina yang lain.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) Mensintesis senyawa kompleks dari reaksi ion tembaga(II) dengan ligan ion tiosianat dan isokuinolina dengan stoikiometri 1:2:2. (2) Mengetahui karakteristik senyawa kompleks hasil sintesis. (3) Memprediksi struktur senyawa kompleks hasil sintesis.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat. Gelas kimia 50 mL, gelas ukur 10 mL, pipet tetes, *syringe*, gelas arloji, neraca analitik (*Shimadzu* ATX224), spatula plastik, corong kaca, pengaduk magnet *Cimarec*, jarum, seperangkat alat ukur titik lebur *Fisher Scientific Melting Point Apparatus*, *SEM-EDX* (FEI INSPECT S-50), *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR) (SHIMADZU), dan konduktometer (*CyberScan* CON 400).

Bahan. $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Merck; p.a), isokuinolina (Merck; p.a), KSCN (Merck; p.a), AgNO_3 (Merck; p.a), metanol (Fulltime; p.a), aseton (Merck; p.a), aluminium foil, kertas saring halus.

Prosedur Kerja

Sintesis Senyawa Kompleks. Senyawa kompleks tembaga(II) isokuinolina tiosianat disintesis dengan perbandingan mol reaktan $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: KSCN : isokuinolina = 1:2:2. Prosedur yang dilakukan adalah melarutkan garam $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0,0341 g; 0,2mmol) dalam 2 mL metanol, kemudian ditambahkan tetes demi tetes ke dalam isokuinolina (0,045 mL; 0,4 mmol) yang telah dilarutkan dalam 25mL metanol sambil diaduk dengan kecepatan 700 rpm dan dipanaskan pada suhu 65°C . Setelah penambahan garam selesai, campuran diaduk selama 4 jam.

Campuran yang dihasilkan kemudian ditambah dengan KSCN (0,0388g; 0,4 mmol) yang telah dilarutkan dalam 5 mL metanol tetes demi tetes sambil diaduk. Campuran yang dihasilkan terus diaduk dengan kecepatan 700 rpm dan dipanaskan

pada suhu 65°C selama 4 jam. Endapan yang dihasilkan disaring dan dikeringkan. Sebagian endapan kering diambil dan dilarutkan dalam 35 mL campuran aseton:metanol = 3:4 dengan diaduk pada kecepatan 700 rpm tanpa pemanasan hingga jernih. Larutan senyawa kompleks dipindah ke dalam gelas kimia 50 mL, ditutup dengan aluminium foil dan diberi sepuluh lubang menggunakan jarum. Larutan dievaporasi pada suhu ruang hingga terbentuk kristal balok berwarna hijau gelap. Kristal yang diperoleh dipindah ke kertas saring dan dibiarkan kering.

Karakterisasi. Karakterisasi senyawa kompleks hasil sintesis dilakukan dengan uji titik lebur, analisis *SEM-EDX*, analisis FT-IR, uji daya hantar listrik (DHL), dan analisis kandungan ion klorida.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Reaksi antara ion tembaga(II), ion tiosianat, dan isokuinolina menghasilkan kristal berbentuk balok yang berwarna hijau gelap. Kristal terbentuk pada dasar gelas kimia setelah dievaporasi selama tujuh hari. Kristal hasil sintesis yang berwarna hijau gelap, berbeda dengan warna reaktan $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (biru kehijauan), isokuinolina (kuning pucat), dan KSCN (tidak berwarna). Kristal senyawa kompleks yang terbentuk dari ion tembaga(II) dengan ligan ion tiosianat dan piridina maupun turunannya memiliki warna dan bentuk yang mirip seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Hal ini menunjukkan bahwa senyawa kompleks berhasil disintesis.

Tabel 1. Warna dan Bentuk Kristal yang Terbentuk dari Ion Tembaga(II) dengan Ligan Ion Tiosianat dan Piridina dan Turunannya serta Senyawa Kompleks Hasil Sintesis

No.	Senyawa Kompleks	Warna Kristal	Bentuk kristal
1.	$[\text{Cu}(\text{py})_2(\text{NCS})_2]^*$	Biru	Balok
2.	$[\text{Cu}(4\text{-mepy})_2(\text{NCS})_2]**$	Hijau	Jarum
3.	$[\text{Cu}(4\text{-cpy})_2(\text{NCS})_2]***$	Hijau	-
4.	$[\text{Cu}(\text{Q})_2(\text{NCS})_2]****$	Hijau	Jarum
5.	Senyawa kompleks hasil sintesis	Hijau gelap	Balok

*) Data diambil dari Chen *dkk.* (2005)

**) Data diambil dari Kabesova *dkk.* (1989)

***) Data diambil dari Machura *dkk.* (2013)

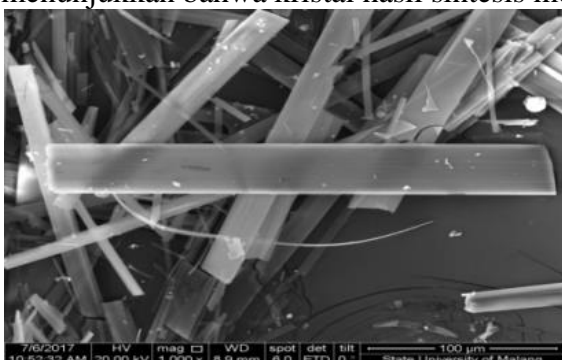
****) Data diambil dari Chen *dkk.* (2010)

Kristal senyawa kompleks hasil sintesis terdekomposisi pada suhu 155-157°C. Data tersebut menunjukkan bahwa kristal senyawa kompleks terdekomposisi pada suhu yang berbeda dengan reaktannya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Selain itu senyawa kompleks terdekomposisi dengan rentang tidak lebih dari 2°C. Hal ini menunjukkan bahwa kristal senyawa kompleks hasil sintesis merupakan senyawa baru dan murni.

Tabel 2. Data Pengaruh Suhu Terhadap Reaktan dan Senyawa Kompleks

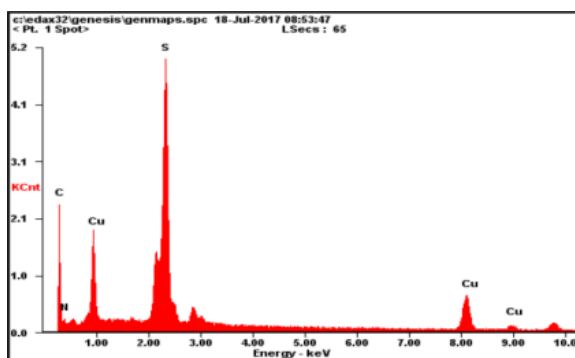
Senyawa	Pengamatan	Suhu (°C)	Titik Lebur Teoritis (°C)
CuCl ₂ anhidrat	-	Tidak dilakukan	498 (<i>The Merck Indeks</i> , 13 rd Edition)
CuCl ₂ .2H ₂ O	Biru kehijauan → coklat	87-89 (dekomposisi)	100 (dekomposisi lepasnya air) (<i>The Merck Indeks</i> , 13 rd Edition)
Isokuinolina	-	Tidak dilakukan	26,48 (<i>The Merck Indeks</i> , 13 rd Edition)
KSCN	Lebur	181-183	~ 173 (<i>The Merck Indeks</i> , 13 rd Edition)
Senyawa Kompleks	Hijau gelap → kuning	155-157 (dekomposisi)	-

Analisis menggunakan *SEM-EDX* menghasilkan data berupa foto morfologi kristal dan komponen unsur penyusun dari senyawa kompleks. Hasil *SEM* pada perbesaran 1000 kali didapatkan foto kristal pada Gambar 1, foto hasil *SEM* menunjukkan bahwa kristal hasil sintesis memiliki bentuk balok.



Gambar 1. Hasil SEM Senyawa Kompleks Perbesaran 1000 kali

Hasil analisis *EDX* pada Gambar 2 menunjukkan komponen unsur penyusun atom pusat dan atom donor pada senyawa kompleks hasil sintesis meliputi C, N, S, dan Cu. Persentase massa dan persentase atom C, N, S, dan Cu diberikan pada Tabel 3. Persentase yang didapatkan hampir sama dengan persentase teoritis. Persentase atom C yang didapatkan lebih kecil daripada persentase atom teoritis, hal ini disebabkan instrumen *EDX* tidak sensitif terhadap atom ringan atau atom berelektron sedikit.



Gambar 2. Spektrum EDX Senyawa Kompleks

Tabel 3. Kandungan Unsur Senyawa Kompleks Hasil Analisis EDX dan Secara Teoritis

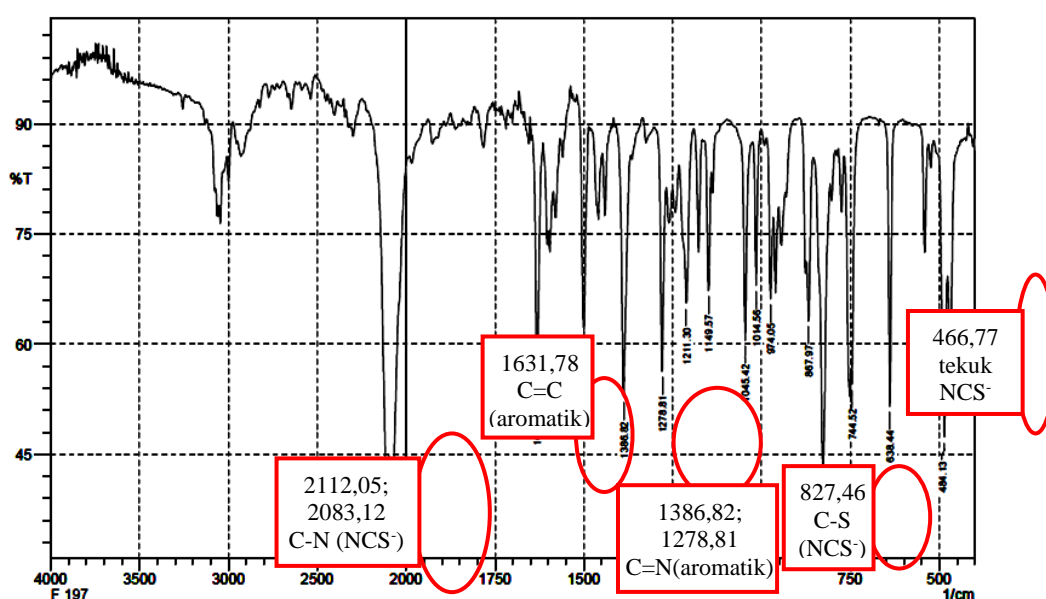
Unsur	% Massa (%Wt)		% Atom (%At)	
	EDX	Teoritis	EDX	Teoritis
C	52.54	56,67	71.68	74,07
N	12.97	13,22	15.17	14,81
S	16.81	15,11	08.59	7,41
Cu	17.68	14,99	04.56	3,70

Persentase atom pusat dan atom donor pada senyawa kompleks hasil sintesis meliputi Cu, N, dan S yaitu berturut-turut 4,56%; 15,17%; dan 8,59%. Dari persentase ini dapat diketahui perbandingan atom pusat dan ligan pada senyawa kompleks dengan membagi persentase masing-masing atom dengan persentase atom terkecil. Untuk atom Cu = $\frac{4,56}{4,56}$; atom N = $\frac{15,17}{4,56}$; atom S = $\frac{8,59}{4,56}$, sehingga didapatkan perbandingan atom Cu : N : S = 1 : 3,33 : 1,88, dibulatkan menjadi 1 : 4 : 2.

Perbandingan untuk atom nitrogen dibulatkan ke atas karena instrumen EDX hanya sensitif terhadap atom berelektron banyak, sehingga EDX kurang sensitif untuk atom berelektron sedikit atau massa atomnya kurang dari 12 sma. Hal ini juga didukung dengan tidak adanya pelarut metanol maupun aseton pada senyawa kompleks yang ditandai dengan tidak adanya atom oksigen pada analisis EDX. Pada analisis FT-IR juga tidak menunjukkan tidak adanya pita serapan untuk gugus fungsi O-H dari metanol maupun gugus fungsi C=O dari aseton.

Atom donor S berasal dari ligan ion tiosianat, sedangkan atom donor N berasal ligan tiosianat dan isokuinolina. Jika dilihat dari perbandingan atom yang didapatkan maka perbandingan ion tembaga(II) : ion tiosianat : isokuinolina = 1 : 2 : 2. Hal ini sesuai dengan perbandingan mol reaktan tembaga(II) : isokuinolina : ion tiosianat yang digunakan pada sintesis senyawa kompleks.

Hasil analisis FT-IR senyawa kompleks menunjukkan beberapa vibrasi meliputi vibrasi ulur C=C aromatik, vibrasi ulur C=N amina aromatik, vibrasi ulur C=N (NCS⁻), vibrasi ulur C-S (NCS⁻), dan vibrasi tekuk NCS⁻ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. dan Tabel 4.



Gambar 3. Spektrum FT-IR Senyawa Kompleks Hasil Sintesis

Tabel 4. Hasil Analisis FT-IR Ligan Isokuinolina, Senyawa Kompleks dan Secara Teori

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang					
	Teoritik	Isokuinolina	KSCN *)	Cu(4-mepy) ₂ (NCS) ₂ **)	Cu(Q) ₂ (NCS) ₂ ***)	Senyawa Kompleks
C=C (aromatik)	1600-1585 dan 1500-1400	1627,92 ; ~1580	-	-	1501	1631,78
C=N (amina aromatik)	1342-1266	1382,96	-	-	1390	1386,82; 1278,81
C-N (NCS)	2300-1850	-	2020	2080; 2100	2080	2112,05; 2083,12
C-S (NCS)	~700	-	746	810	812	827,46
NCS	~800	-	-	477	463	466,77
M-NCS	~400	-	-	321	326	Tidak Teramati
M-N (ligan aromatik)	~300	-	-	261; 250	247****)	Tidak Teramati

*) Data diambil dari Miller dan Wilkins (1952)

**) Data diambil dari Kabesova dan Gazo (1979)

***) Data diambil dari Williams dan Fouche (1964)

****) Data diambil dari Clark dan Williams (1966)

Ligan isokuinolina dalam senyawa kompleks ditunjukkan dengan adanya vibrasi ulur C=C aromatik pada bilangan gelombang 1631,78 cm⁻¹ dan vibrasi ulur C=N amina aromatik pada bilangan gelombang 1386,82 dan 1278,81 cm⁻¹. Bilangan gelombang yang didapat mirip dengan data bilangan gelombang dari isokuinolina yaitu vibrasi ulur C=C aromatik pada bilangan gelombang 1627,92 cm⁻¹ dan vibrasi ulur C=N amina aromatik pada bilangan gelombang 1382,96 cm⁻¹. Bilangan gelombang yang didapat mirip dengan data bilangan gelombang dari senyawa kompleks [Cu(Q)₂(NCS)₂] yaitu vibrasi ulur C=C aromatik pada bilangan gelombang 1501 cm⁻¹ dan vibrasi ulur C=N amina aromatik pada bilangan gelombang 1390 cm⁻¹. Berdasarkan analisis tersebut, isokuinolina pada senyawa kompleks berperan sebagai ligan.

Ligan ion tiosianat dalam senyawa kompleks ditunjukkan dengan adanya vibrasi ulur C-N (NCS), vibrasi ulur C-S (NCS), dan vibrasi tekuk NCS dari ion tiosianat. Pada hasil analisis FT-IR senyawa kompleks vibrasi ulur C-N (NCS) ditunjukkan pada bilangan gelombang 2112,05 cm⁻¹ dan 2083,12 cm⁻¹, vibrasi ulur C-S ditunjukkan pada bilangan gelombang 827,46 cm⁻¹, dan vibrasi tekuk NCS pada bilangan gelombang 466,77 cm⁻¹. Bilangan gelombang yang didapat lebih tinggi daripada data bilangan gelombang dari KSCN yaitu vibrasi ulur C-N (NCS) ditunjukkan pada bilangan gelombang 2020 cm⁻¹, vibrasi ulur C-S ditunjukkan pada bilangan gelombang 746 cm⁻¹ (Miller dan Wilkins, 1952). Hal ini disebabkan ion tiosianat pada senyawa kompleks hasil sintesis terikat pada atom pusat. Ion tiosianat yang terikat pada ion tembaga(II) mengalami ikatan balik sehingga panjang ikatan C-N maupun C-S menjadi lebih pendek, sehingga memunculkan pita serapan untuk vibrasi yang lebih tinggi.

Data bilangan gelombang untuk vibrasi ulur vibrasi ulur C-S (NCS) dan vibrasi tekuk NCS senyawa kompleks mirip dengan data bilangan gelombang milik [Cu(4-mepy)₂(NCS)₂] (Kabesova dan Gazo, 1979) dan [Cu(Q)₂(NCS)₂] (Williams dan Fouche,

1964). Data bilangan gelombang untuk vibrasi ulur vibrasi ulur C-N (NCS) senyawa kompleks mirip dengan data bilangan gelombang milik $[\text{Cu}(4\text{-mepy})_2(\text{NCS})_2]$ (Kabesova dan Gazo, 1979) namun berbeda dengan $[\text{Cu}(\text{Q})_2(\text{NCS})_2]$ (Williams dan Fouche, 1964). Terdapat dua pita serapan C-N (NCS) pada senyawa kompleks dan $[\text{Cu}(4\text{-mepy})_2(\text{NCS})_2]$, namun pada $[\text{Cu}(\text{Q})_2(\text{NCS})_2]$ hanya satu. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat dua ikatan C-N (NCS) yang berbeda jenis pada senyawa kompleks dan $[\text{Cu}(4\text{-mepy})_2(\text{NCS})_2]$ dan terdapat satu jenis ikatan C-N (NCS) pada $[\text{Cu}(\text{Q})_2(\text{NCS})_2]$. Dua pita serapan pada senyawa kompleks hasil sintesis dan $[\text{Cu}(4\text{-mepy})_2(\text{NCS})_2]$ muncul karena terdapat ion tiosianat yang berperan sebagai ligan jembatan dan ligan terminal.

Analisis FT-IR yang dilakukan tidak dapat menunjukkan ikatan antara atom pusat dengan ligan, karena instrumen FT-IR yang digunakan hanya menghasilkan spektrum dengan rentang bilangan gelombang $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$ sedangkan untuk mengetahui ikatan antara atom pusat dan ligan diperlukan data pada bilangan gelombang $400\text{-}200\text{ cm}^{-1}$. Namun untuk mengetahui ikatan antara ion tembaga(II) dan ion tiosianat dapat dilihat dari vibrasi ulur ikatan C=N. Pita serapan untuk vibrasi ulur C-N yang mengalami *splitting* yang jelas yaitu munculnya dua pita kuat pada bilangan gelombang 2112,05 dan 2083,12 menunjukkan ion tiosianat yang terikat pada dua ion tembaga(II) membentuk jembatan. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Uddin dan Rupa (2015) bahwa ligan ion tiosianat yang terikat pada atom pusat melalui atom N (M-NCS) akan memunculkan pita pada bilangan gelombang $2020\text{-}2096\text{ cm}^{-1}$, melalui atom S (NCS-M) akan memunculkan pita pada bilangan gelombang pada 2100 cm^{-1} . Sedangkan untuk ion tiosianat yang berperan sebagai jembatan (M-NCS-M) akan memunculkan pita yang kuat pada bilangan gelombang $2020\text{-}2096\text{ cm}^{-1}$ dan diatas 2100 cm^{-1} dengan *splitting* yang jelas antara kedua pita. Kabesova dan Gazo (1979) mengemukakan bahwa senyawa yang memiliki ion tiosianat sebagai ligan terminal dan sebagai ligan jembatan akan memberikan pita serapan untuk vibrasi ulur C-N dengan *splitting* yang jelas. Berdasarkan analisis pada pita tersebut, kedua ion tiosianat pada senyawa kompleks berperan sebagai ligan jembatan.

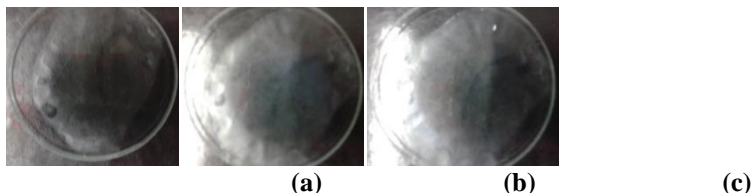
Data yang disajikan Tabel 5., menunjukkan nilai DHL senyawa kompleks sebesar $34,1\text{ }\mu\text{S/cm}$. Nilai DHL senyawa kompleks mendekati nilai DHL pelarut yang digunakan yaitu $17,9\text{ - }20,6$.

Tabel 5. Data Hasil Uji Daya Hantar Listrik Pelarut, Garam, dan Senyawa Kompleks

No.	Senyawa	Konsentrasi (M)	Harga DHL ($\mu\text{S/cm}$)
1.	Aseton	-	17,9
2.	Metanol	-	20,6
3.	Aseton:metanol = 3:4	-	20,4
4.	Garam $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$1,0 \times 10^{-3}$	253
5.	Senyawa Kompleks	$1,0 \times 10^{-3}$	34,1

Apabila nilai DHL senyawa kompleks mendekati nilai DHL pelarut maka senyawa kompleks tergolong senyawa molekuler karena senyawa kompleks tidak dapat terionisasi di dalam pelarut yang digunakan sehingga DHL senyawa kompleks mirip dengan DHL pelarut. Jika mendekati nilai DHL garam maka senyawa kompleks tergolong senyawa ionik karena senyawa kompleks dapat terionisasi di dalam pelarut yang digunakan sehingga DHL senyawa kompleks mirip dengan DHL garam yang digunakan namun tidak sama persis. Dari hasil analisis DHL senyawa kompleks hasil sintesis merupakan senyawa molekuler.

Uji kualitatif anion klorida yang berasal dari garam tembaga(II) klorida yang digunakan dilakukan untuk mendukung data daya hantar listrik. Uji kualitatif anion klorida yang dilakukan tidak menghasilkan endapan putih dengan penambahan AgNO_3 hingga tetes ketiga seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



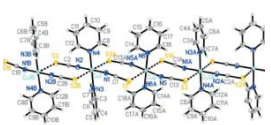
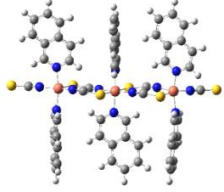
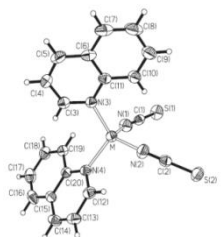
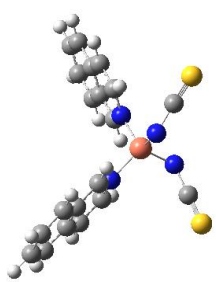
Gambar 4. Hasil Uji Kualitatif Anion Klorida pada Kompleks Hasil Sintesis Tetes Ke (a) Pertama, (b) Kedua, (c) Ketiga

Hasil uji kualitatif anion klorida yang dilakukan menunjukkan bahwa senyawa kompleks tidak mengandung ion klorida. Hal ini menunjukkan bahwa senyawa kompleks hasil sintesis merupakan senyawa kompleks molekuler dan tidak mengandung anion klorida.

Hasil karakterisasi uji titik lebur, analisis *EDX*, analisis *FT-IR*, uji *DHL*, dan uji kualitatif anion klorida di atas menunjukkan bahwa senyawa kompleks yang dihasilkan memiliki rumus kimia $[\text{Cu}(\text{C}_9\text{H}_7\text{N})_2(\text{NCS})_2]$. Rumus kimia tersebut sesuai dengan prediksi pertama dan kedua. Prediksi pertama adalah $[\text{Cu}(\text{IQ})_2(\text{NCS})_2]_n$ dan prediksi kedua adalah $[\text{Cu}(\text{IQ})_2(\text{NCS})_2]$.

Struktur dan energi bebas dari kedua prediksi dihitung dengan *Software Gaussian 09W* untuk mengetahui struktur senyawa kompleks mana yang lebih stabil. Struktur dan hasil perhitungan menggunakan *Software Gaussian 09W* ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Data Energi Bebas Prediksi Struktur Senyawa Kompleks

No.	Rumus Struktur	Struktur Rujukan	Struktur Kompleks	Senyawa Kompleks	Energi Bebas (kJ/mol)
1.	$[\text{Cu}(\text{IQ})_2(\text{NCS})_2]_n$	 $[\text{Cu}(\text{py})_2(\text{NCS})_2]_n$ (py: piridina) (Chen <i>dkk.</i> , 2005)			-1386,9248
2.	$[\text{Cu}(\text{IQ})_2(\text{NCS})_2]$	 $[\text{Cu}(\text{Q})_2(\text{NCS})_2]$ (Q: kuinolina) (Chen <i>dkk.</i> , 2010)			-23,3039

Tabel 6 menunjukkan bahwa prediksi struktur senyawa kompleks $[\text{Cu}(\text{C}_9\text{H}_7\text{N})_2(\text{NCS})_2]_n$ yang berupa senyawa yang polimerik dengan geometri oktahedral di sekitar atom pusat memiliki energi bebas sebesar -1386,9248, sedangkan senyawa kompleks $[\text{Cu}(\text{IQ})_2(\text{NCS})_2]$ dengan geometri tetrahedral terdistorsi memiliki energi bebas sebesar -23,3039 kJ/mol. Energi bebas senyawa kompleks yang polimerik memiliki energi bebas Gibbs yang jauh lebih kecil dari pada senyawa kompleks dengan geometri tetrahedral, hal ini menunjukkan bahwa senyawa kompleks $[\text{Cu}(\text{C}_9\text{H}_7\text{N})_2(\text{NCS})_2]_n$ yang polimerik dengan geometri oktahedral lebih stabil daripada senyawa kompleks dengan geometri tetrahedral. Hal ini disebabkan makin negatif energi bebas maka senyawa kompleks yang terbentuk semakin stabil. Kemungkinan kristal hasil sintesis dari senyawa kompleks memiliki rumus $[\text{Cu}(\text{C}_9\text{H}_7\text{N})_2(\text{NCS})_2]_n$. Rumus tersebut didukung oleh hasil analisis FT-IR yang melaporkan bahwa ligan ion tiosianat bertindak sebagai jembatan.

Kesimpulan

Sintesis senyawa kompleks dari tembaga(II) klorida dengan ligan ion tiosianat dan isokuinolina dengan stoikiometri 1:2:2 berhasil disintesis dan menghasilkan kristal hijau gelap, berbentuk balok, dan terdekomposisi pada suhu 155-157°C. Senyawa kompleks hasil sintesis merupakan kompleks molekuler dengan rumus kimia $[\text{Cu}(\text{C}_9\text{H}_7\text{N})_2(\text{NCS})_2]$. Kemungkinan prediksi struktur senyawa kompleks yang paling stabil adalah geometri oktahedral terdistorsi di sekitar atom pusat dengan ion tiosianat berperan sebagai ligan jembatan.

DAFTAR RUJUKAN

- Balan, A.M.K.R., Ashok, R. F.N., Vasanthi, M., Prabu, R., dan Paulraj, A. 2013. Mixed Ligand Complexes of Nickel(II), Copper(II) and Zinc(II) with Nicotinilide and Thiocyanate. *International Journal of Life Science and Pharma Research*, 3: L67-L75.
- Chen, D-Y., Gao, H., Hu, X-F., Guo, X-Y., Yang, F., dan Bai, Y. 2010. Synthesis, Crystal Structure, and Luminescent Properties of Two Ternary Complexes with Mixed Thiocyanate and Quinoline Ligands. *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic, and Nano-Metal Chemistry*, 40:112-115.
- Chen, G., Bai, Z-P., dan Qu, S-J. 2005. Catena-poly[[dipyridylcopper(II)]-di- μ -thiocyanato]. *Acta Crystallographica*, E61: m2718–m2719.
- Chimaine, F.T., Yufanyi, D.M., Yuoh, A.C.B., Eni, D.B., dan Agwara, M.O. 2016. Synthesis, Crystal Structure, Photoluminescent and Antimicrobial Properties of A Thiocyanatobridged Copper(II) Coordination Polymer. *Cogent Chemistry*, 2: 1-14.
- Clark, R.J.H. dan Williams, C.S. 1966. Infra-Red Spectra (3000-200 cm^{-1}) of Metal-Isothiocyanate Complexes. *Spectrochimica Acta*, 22: 1081-1090.
- Kabešova, M. dan Gažo J. 1979. Structure and Classification of Thiocyanates and The Mutual Influence of Their Ligands. *Chem. Zvesti*, 34: 800-841.

- Kabesova, M., Koziskova, Z., dan Jurco, D.M. 1989. The Crystal and Molecular Structure of The Bis(Thiocyanato)-Bis(4-Methylpyridine)Copper(II) Complex at 180°K. *Collect. Czech. Chem. Commun.*, 55: 1184-1192.
- Machura, B., Switlicka, A., Mrozinski, J., Kalinska, B., dan Kruszynski, R. 2013. Structural Diversity and Magnetic Properties of Thiocyanate Copper(II) Complexes. *Polyhedron*, 52: 1276–1286.
- Merck Index 13rd Edition.
- Miller, F.A. dan Wilkins, C.H. 1952. Infrared Spectra and Characteristic Frequencies of Inorganic Ions. *Analytical Chemistry*, 24: 1253-1294.
- Svehla, G. 1990. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro Bagian II, Edisi ke-5*. Jakarta: PT. Kalman Media Pustaka.
- Uddin, M.N. dan Rupa, T.S. 2015. Thiocyanato Bridged Bimetallic Complexes (M-SCN-Co): Synthesis, Characterization and Biological Studies. *Modern Chemistry*, 3: 1-6.
- Williams, C.S. dan Fouche, K.F. 1964. The Infra-Red Absorption Spectra of The Addition Complexes of Quinoline with Copper Salts. *Z. Naturforschg*, 19a: 363—370.