

## SINTESIS KEMOSENSOR ION CN<sup>-</sup> BERBASIS TURUNAN PIRAZOLIN DENGAN LOGAM Cu

Yulian Syahputri<sup>1\*</sup>, Diah Indah Purwati<sup>1</sup>, Sutanto<sup>1</sup>, Agus Taufiq<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Kimia, Universitas Pakuan, Bogor

<sup>2</sup>Akademi Kimia Analis Caraka Nusantara, Depok

\*e-mail: syahputri.yulian@unpak.ac.id

diterima: 20 Oktober 2021; direvisi: 25 Oktober 2021; disetujui: 28 Oktober 2021

### ABSTRAK

Salah satu anion beracun seperti sianida (CN<sup>-</sup>) memiliki dampak negatif bagi makhluk hidup. Turunan pirazolin dapat dikomplekskan dengan logam transisi dan dijadikan fluorosensor ion CN<sup>-</sup> karena turunan pirazolin memiliki sifat fluoresensi. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis kemosensor ion CN<sup>-</sup> berbasis turunan pirazolin yaitu para-di-2-(1-fenil-3-piridil-4,5-dihidro-1H-pirazol-5-il)benzena dengan logam Cu. Senyawa kompleks yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), Spektrofotometer UV-Vis, dan Spektrofluorometer. Selanjutnya, dilakukan studi kemosensor (fluorosensor) senyawa kompleks Cu<sup>2+</sup> dengan penambahan ion CN<sup>-</sup> menggunakan spektrofluorometer. Hasil menunjukkan bahwa sintesis senyawa kompleks Cu<sup>2+</sup> berhasil dilakukan dan diperoleh endapan berwarna coklat dengan rendemen sebesar 43% dengan titik leleh 243,3°C. Berdasarkan hasil karakterisasi dengan FTIR (cm<sup>-1</sup>) didapatkan 3400 (Amina), 2920,88-2852,42 (C-H piridin), 2360,38 (C=N), 1594,50-1490,39 (C=C aromatik), 1233,67-1021,17 (C-N), 982,66 (Cu-O), 348,00 (Cu-N), dan 320-280 (Cu-Cl). Hasil analisis spektroskopi UV-Vis senyawa kompleks Cu<sup>2+</sup> pada konsentrasi 5x10<sup>-5</sup> M diperoleh dua puncak serapan yaitu 242 nm dan 306 nm. Hasil analisis spektrofluorometer senyawa kompleks Cu<sup>2+</sup> sebesar 1516 a.u pada panjang gelombang 502 nm. Hasil studi kemosensor (fluorosensor) yaitu senyawa kompleks Cu<sup>2+</sup> pada penambahan ion CN<sup>-</sup> dapat dijadikan fluorosensor tipe *turn on-off*.

**Kata Kunci:** Kemosensor, Senyawa kompleks, Sianida, Turunan pirazolin.

### SYNTHESIS OF CN<sup>-</sup> ION CHEMOSENSORS BASED ON PYRAZOLINE DERIVATIVES WITH Cu METAL

#### ABSTRACT

One of the toxic anions such as cyanide (CN<sup>-</sup>) has a negative impact on living things. Pyrazoline derivatives can be complexed with transition metals and used as CN<sup>-</sup> ion fluorosensor, because pyrazoline derivatives have fluorescence properties. This study aims to synthesize of CN<sup>-</sup> ion chemosensors based on pyrazoline derivative namely para-di-2-(1-phenyl-3-pyridyl-4,5-dihydro-1H-pyrazole-5-yl)benzene with Cu metal. The resulting complex compounds were characterized using Fourier Transform Infra Red (FTIR) Spectrophotometer, UV-Visible Spectrophotometer, and Spectrofluorometer. Then, a complex compound chemosensor (fluorosensor) study of Cu<sup>2+</sup> was carried out with the addition of CN<sup>-</sup> ions using a spectrofluorometer. The results showed that the synthesis of complex compound Cu<sup>2+</sup> was successfully carried out and a brown precipitate was obtained with a yield of 43% with a melting point of 243.3°C. Based on the results of characterization by FTIR (cm<sup>-1</sup>) generates 3400 (Amine), 2920.88-2852.42 (C-H pyridine), 2360.38 (C=N), 1594.50-1490.39 (C=C aromatic), 1233.67-1021.17 (C-N), 982.66 (Cu-O), 348.00 (Cu-N), and 320-280 (Cu-Cl). The results of the spectroscopy UV-Visible analysis Cu<sup>2+</sup> complex compounds at a concentration of 5x10<sup>-5</sup> M obtained two absorption peaks, 242 nm and 306 nm. The result of the spectrofluorometer analysis of Cu<sup>2+</sup> complex compound were 1516 a.u at a wavelength of 502 nm. The results of the chemosensor (fluorosensor) studies of the Cu<sup>2+</sup> complex compound with the addition of CN<sup>-</sup> ions can be used as a *turn on-off* type fluorosensor.

**Keywords:** chemosensor, complex compound, cyanide, pyrazoline derivatives.

## PENDAHULUAN

Sianida (CN<sup>-</sup>) merupakan salah satu anion dari beberapa anion yang sangat beracun dan berbahaya bagi makhluk hidup, bahkan dapat menyebabkan kematian dalam hitungan menit (Wang *et al.*, 2015). Meskipun sifatnya yang beracun, sianida berguna terhadap lingkungan ataupun dalam proses industri (Acheampong *et al.*, 2010). Saat ini banyak metode yang digunakan untuk mendeteksi sianida seperti potensiometri, voltametri, titrimetri, dan kromatografi (Rao *et al.*, 2019). Namun, sebagian besar dari metode ini mahal dan memakan waktu. Kemosensor fluoresensi (fluorosensor) ialah sensor kimia berdasarkan prinsip fluoresensi. Kemosensor ini telah diterapkan untuk deteksi anion seperti sianida dalam larutan, dan juga untuk analisis biologi (Lou *et al.*, 2013).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Rustikawati (2017) telah berhasil mensintesis ligan 2-(1,5-difenil-4,5-dihidro-1H-pirazol-3-yl)piridin, dimana ligan tersebut dikomplekskan dengan ion logam Fe<sup>3+</sup> dan Cu<sup>2+</sup> dan diaplikasikan sebagai detektor sianida. Hasil penelitian menunjukkan ketika kompleks ligan Fe<sup>3+</sup> dijadikan detektor ion sianida menghasilkan fluorosensor tipe “turn on-off”. Selanjutnya, pada senyawa kompleks Cu<sup>2+</sup> dijadikan detektor ion sianida menghasilkan fluorosensor tipe “turn on”.

Pada penelitian ini, ion logam yang digunakan yakni Cu<sup>2+</sup> sebagai atom pusat, karena logam Cu<sup>2+</sup> termasuk logam transisi sehingga dapat membentuk kompleks yang stabil dan dapat berfluoresensi. Senyawa kompleks yang digunakan dapat dijadikan fluorosensor apabila senyawa tersebut merupakan senyawa aromatik, heterosiklik ataupun molekul terkonjugasi. Senyawa kompleks dapat terbentuk karena terdapat logam dan ligan yang membentuk ikatan kovalen koordinasi (Hermawati dkk., 2016). Turunan pirazolin memiliki sifat fluoresensi, yakni memancarkan fluoresensi berwarna biru. Oleh karena itu, turunan pirazolin sangat berpotensi digunakan sebagai fluorosensor (Cao *et al.*, 2012).

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka penelitian ini bertujuan untuk mensintesis kemosensor fluoresensi (fluorosensor) ion sianida berbasis turunan pirazolin yaitu para-di-2-(1-fenil-3-piridil-4,5-dihidro-1H-pirazol-5-il)benzena dengan logam Cu.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni - November 2021 di Laboratorium Kimia dan Penelitian Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pakuan Bogor, dan Q-Lab Fakultas Farmasi Universitas Pancasila.

Alat yang digunakan yaitu labu didih, gelas piala, *magnetic stirrer*, pipet volumetri, erlenmeyer, kaca arloji, mikropipet, bulb, kertas saring whatman, desikator, vial, neraca analitik, *hotplate*, batang pengaduk, *Rotatory Evaporator*, dan indikator universal. Instrumen yang digunakan meliputi FTIR (Shimadzu IR Spirit), Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV), dan Spektrofotometer Fluoresensi (Hitachi F-2700). Serta, bahan yang digunakan yaitu ligan para-di-2-(1-fenil-3-piridil-4,5-dihidro-1H-pirazol-5-il) benzena yang telah disintesis, metanol p.a (Merck), kloroform p.a (Merck), tembaga(II) klorida dihidrat (Merck), dan kalium sianida p.a (Merck).

Penelitian ini diawali dengan sintesis ligan turunan pirazolin yaitu para-di-2-(1-fenil-3-piridil-4,5-dihidro-1H-pirazol-5-il) benzena sesuai dengan prosedur sintesis yang dilakukan oleh Syahputri, dkk (2020), kemudian dilanjutkan dengan sintesis senyawa kompleks CuCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O. Hasil dari sintesis senyawa kompleks tersebut dikarakterisasi dengan menggunakan FTIR, Spektrofotometer UV-Vis, dan Spektrofotometer Fluoresensi. Selanjutnya, dilakukan studi kemosensor fluoresensi (fluorosensor) senyawa kompleks dengan penambahan ion CN<sup>-</sup> menggunakan spektrofluorometer untuk mengetahui tipe fluorosensor yang didapatkan.

### Sintesis Senyawa Kompleks $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dengan Ligan para-di-2-(1-fenil-3-piridil-4,5-dihidro-1H-pirazol-5-il)benzena

Sebanyak 520 mg (1 mmol) ligan dilarutkan dalam 8 ml kloroform p.a, lalu ditambahkan 170,48 mg (1 mmol)  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  yang telah dilarutkan dalam 13 ml metanol p.a. Kemudian, campuran diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit pada tekanan dan temperatur ruang. Larutan yang dihasilkan berwarna coklat kekuningan. Selanjutnya, untuk menghilangkan pelarut digunakan *rotatory evaporator* pada suhu  $60^\circ\text{C}$ . Setelah larutan mencapai volume sekitar 5 ml, evaporasi dihentikan dan larutan didinginkan, disaring, dan didiamkan dalam desikator. Kompleks yang dihasilkan dikarakterisasi dengan FTIR, Spektrofotometer UV-Vis, dan Spektrofotometer Fluoresensi.

### Karakterisasi Senyawa Kompleks

Karakterisasi senyawa kompleks  $\text{Cu}^{2+}$  dianalisis dengan menggunakan instrument FTIR, Spektrofotometer UV-Vis, dan Spektrofotometer Fluoresensi. Pada analisis FTIR, pengukuran dilakukan pada daerah  $4000\text{-}300\text{cm}^{-1}$  sehingga dapat diperoleh bilangan gelombangnya. Kemudian, pada analisis spektrofotometer UV-Vis pengukuran dilakukan dengan konsentrasi kompleks  $5 \times 10^{-5}$  M dalam pelarut kloroform dan metanol (1:1), kemudian dilakukan scanning pada panjang gelombang 190-550 nm dan diperoleh pola serapannya. Selanjutnya, untuk analisis senyawa kompleks dengan spektrofotometer fluoresensi diukur intensitas fluoresensinya, dengan cara senyawa kompleks dilarutkan dalam pelarut metanol dan kloroform (1:1) pada konsentrasi  $5 \times 10^{-5}$  M. Selanjutnya, dilakukan scanning pada range panjang gelombang 250-650 nm. Hasil pengukuran tersebut merupakan plot intensitas fluoresensi terhadap panjang gelombang.

### Studi Fluoresensi Senyawa Kompleks Dengan Penambahan Ion $\text{CN}^-$

Pengukuran intensitas fluoresensi senyawa kompleks dengan penambahan ion  $\text{CN}^-$  dilakukan untuk mengetahui konsentrasi optimum ion  $\text{CN}^-$  yang dapat menyebabkan penurunan atau peningkatan intensitas fluoresensi. Pada studi fluorosensor ini, senyawa kompleks pada konsentrasi  $5 \times 10^{-5}$  M dilarutkan dalam pelarut metanol dan kloroform (1:1). Kemudian senyawa kompleks tersebut ditambahkan ion  $\text{CN}^-$  pada range konsentrasi  $5 \times 10^{-7}$  M sampai  $5 \times 10^{-4}$ . Selanjutnya, dilakukan scanning pada panjang gelombang 250-650 nm.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Sintesis Senyawa Kompleks $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dengan Ligan para-di-2-(1-fenil-3-piridil-4,5-dihidro-1H-pirazol-5-il)benzena

Senyawa kompleks  $\text{Cu}^{2+}$  yang dihasilkan berwarna coklat. Hasil rendemen kompleks yang didapat sebesar 43% dengan titik leleh sebesar  $243,3^\circ\text{C}$ , sedangkan titik leleh yang diperoleh ligan sebesar  $230,9^\circ\text{C}$ .

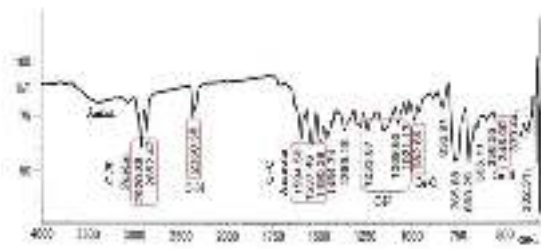
Titik leleh senyawa kompleks yang lebih besar dari pada ligan menandakan bahwa senyawa kompleks telah terbentuk.

#### Karakteristik Senyawa Kompleks

Senyawa kompleks ion logam  $\text{Cu}^{2+}$  dengan ligan para-di-2-(1-fenil-3-piridil-4,5-dihidro-1H-pirazol-5-il) benzena di karakterisasi menggunakan FTIR untuk menentukan gugus fungsi, spektroskopi UV-Visibel untuk mengetahui terjadinya pergeseran puncak serapan maksimum serta penurunan atau peningkatan intensitas serapan, dan spektrofotometer fluoresensi untuk melihat intensitas fluoresensi.

### Analisis FTIR Senyawa Kompleks

Analisis senyawa kompleks menggunakan instrument FTIR dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Spektrum FTIR senyawa kompleks Cu dengan turunan pirazolin

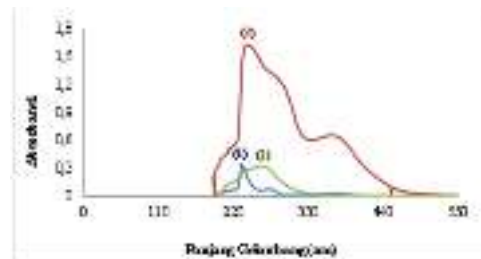
Berdasarkan hasil analisis FTIR pada Gambar 1, puncak yang melebar pada daerah  $3400\text{ cm}^{-1}$  merupakan ikatan amina (Swastika & Fahimah, 2012). Pada bilangan gelombang  $2920,88\text{-}2852,42\text{ cm}^{-1}$  merupakan ikatan C-H pada cincin piridin (Pavia *et al.*, 2001). Pada bilangan gelombang  $2360,38\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya ikatan C=N pada gugus pirazolin (Hakim & Agustino, 2016). Pada bilangan gelombang  $1594,50\text{-}1490,39\text{ cm}^{-1}$  merupakan ikatan C=C pada cincin aromatik. Pada bilangan gelombang  $1233,67\text{-}1021,17\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya ikatan C-N pada gugus pirazolin (Pavia *et al.*, 2001). Pada bilangan gelombang  $982,66$  menunjukkan adanya ikatan Cu-O (Annuur, 2015). Pada bilangan gelombang  $348,00\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya ikatan Cu-N (Swastika & Fahimah, 2012) dan pada range bilangan gelombang  $320\text{-}280\text{ cm}^{-1}$  merupakan ikatan Cu-Cl (Buttrus & AL-Omari, 2010).

### Analisis UV-Visibel Senyawa Kompleks

Pembentukan senyawa kompleks diawali dengan scanning panjang gelombang, scanning panjang gelombang tersebut dilakukan untuk mengetahui panjang gelombang maksimum dari ligan para-di-2-(1-fenil-3-piridil-4,5-dihidro-1H-pirazol-5-il)benzena, ion ion logam tembaga(II), serta senyawa kompleks. Panjang gelombang maksimum tersebut ditentukan pada rentang 190-550 nm.

Pergeseran puncak ke arah panjang gelombang yang lebih besar seperti yang

terlihat pada Gambar 2 merupakan awal kompleks yang telah terbentuk. Pergeseran panjang gelombang ini menunjukkan bahwa adanya interaksi elektrostatis antara ligan yang memiliki pasangan elektron bebas dengan senyawa kompleks yang memiliki ion logam tembaga (Rustikawati, 2017).



**Gambar 2.** Spektra UV-Vis

- (1) larutan ligan turunan pirazolin,
- (2) larutan logam  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , dan
- (3) larutan senyawa kompleks

Berdasarkan pada Gambar 2, diperoleh data perbedaan panjang gelombang maksimum pada  $\text{Cu}^{2+}$  seperti pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Analisis panjang gelombang Maksimum

Larutan	Panjang gelombang maks (nm)
Ligan	232
$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	262
Cu(II)-Ligan	242
	306

Berdasarkan pada Tabel 1 dapat diamati bahwa terjadi pergeseran panjang gelombang maksimum dari Ligan ke kompleks Cu(II)-Ligan yaitu 232 nm menjadi 242 nm dan 306 nm. Hal ini menunjukkan bahwa kompleks Cu(II)-Ligan telah terbentuk.

Spektrum UV-Vis dari senyawa kompleks menunjukkan dua pita serapan. Data panjang gelombang maksimum serta puncak serapan senyawa kompleks, terlihat pada Tabel 2.

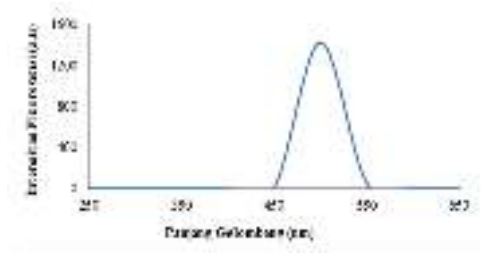
**Tabel 2.** Puncak serapan UV-Visibel senyawa kompleks

$\lambda_{\text{maks}}$ , nm ( $\epsilon$ , $\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ )	Absorbansi	Log $\epsilon$
242,0 nm (32500)	1,625	4,51
306,0 nm (18960)	0,948	3,27

Transisi elektron  $\pi \rightarrow \pi^*$  ditandai dengan harga absorptivitas molar ( $\epsilon$ ) relatif besar dan ini terlihat pada kedua puncak serapan. Harga absorptivitas molar ( $\epsilon$ ) relatif besar menandakan senyawa ini mempunyai intensitas fluoresensi yang kuat (Lakowicz, 2006).

**Analisis Fluoresensi Senyawa Kompleks**

Pada penelitian ini telah dilakukan pengamatan terhadap karakteristik fluoresensi senyawa kompleks Cu-turunan pirazolin, yang dapat dilihat pada Gambar 3.

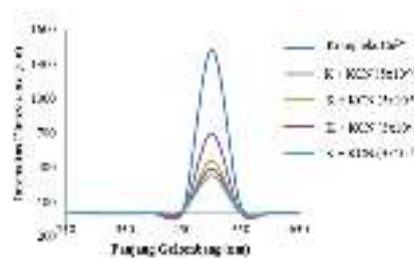


**Gambar 3.** Spektrum fluoresensi senyawa kompleks

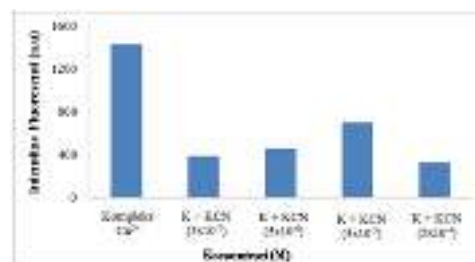
Hasil yang didapat pada fluoresensi yaitu berupa spektrum emisi. Berdasarkan Gambar 3, terdapat satu puncak absorpsi senyawa kompleks yaitu pada daerah 502 nm dengan intensitas fluoresensinya 1516 a.u. Hal ini sejalan dengan data hasil karakterisasi senyawa kompleks dengan spektrofotometer UV-Visibel, yaitu dimana senyawa kompleks mempunyai nilai absorptivitas molar yang besar, maka intensitas fluoresensinya pun juga tinggi (Lakowicz, 2006).

**Studi Kemosensor Fluoresensi (Fluorosensor) Senyawa Kompleks Pada Penambahan Ion CN<sup>-</sup>**

Penambahan ion CN<sup>-</sup> dilakukan dengan konsentrasi  $5 \times 10^{-7}$  M -  $5 \times 10^{-4}$  M kedalam senyawa kompleks dengan konsentrasi  $5 \times 10^{-5}$  M dalam pelarut metanol-kloroform (1:1). Hasil intensitas fluoresensi senyawa kompleks dengan penambahan ion CN<sup>-</sup> dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



**Gambar 4.** Spektrum intensitas fluoresensi senyawa kompleks terhadap penambahan ion CN<sup>-</sup> pada berbagai konsentrasi



**Gambar 5.** Grafik perubahan intensitas fluoresensi senyawa kompleks terhadap penambahan ion CN<sup>-</sup> pada berbagai konsentrasi

Intensitas fluoresensi senyawa kompleks dengan penambahan variasi konsentrasi ion CN<sup>-</sup> menggunakan panjang gelombang emisi maksimum senyawa kompleks yaitu 502 nm. Pada Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan senyawa kompleks dengan penambahan ion CN<sup>-</sup> pada rentang konsentrasi  $5 \times 10^{-7}$  M -  $5 \times 10^{-4}$  M terjadi sedikit pergeseran panjang gelombang yaitu pada panjang gelombang 504 nm. Pergeseran panjang gelombang ini menunjukkan adanya interaksi antara senyawa kompleks dengan ion CN<sup>-</sup>. Gambar 5 menunjukkan bahwa senyawa kompleks dengan penambahan ion CN<sup>-</sup> mengalami kenaikan kemudian diikuti dengan penurunan intensitas fluoresensi (*turn on-off*).

Pada saat penambahan ion CN<sup>-</sup> dengan konsentrasi  $5 \times 10^{-7}$  M mengalami penurunan intensitas fluoresensi, karena pada saat emisi elektron yang berada pada tingkat energi tereksitasi kembali ke keadaan dasar dengan melepaskan energi dalam bentuk fluoresensi (emisi radiatif) lebih kecil dibandingkan dengan elektron yang mengalami emisi non-radiatif, yang kemungkinan disebabkan karena sedikitnya jumlah ion CN<sup>-</sup> yang

terdapat di dalam senyawa kompleks (Syahputri dkk, 2020). Kemudian, pada saat penambahan ion CN<sup>-</sup> dengan konsentrasi  $5 \times 10^{-6}$  M –  $5 \times 10^{-5}$  M, mengalami kenaikan intensitas fluoresensi. Hal ini terjadi karena pada saat penambahan ion CN<sup>-</sup> pada konsentrasi tersebut terjadi peningkatan intensitas fluoresensi emisi yang disebabkan oleh *inner filter effect* (Ding *et al.*, 2017). *Inner filter effect* (IFE) yaitu hubungan tidak linear antara intensitas fluoresensi dan konsentrasi (Wang *et al.*, 2017). Pada saat penambahan ion CN<sup>-</sup> dengan konsentrasi  $5 \times 10^{-4}$  M mengalami penurunan intensitas fluoresensi (*quenching*), mekanisme fluoresensi quenching (*turn off*) merupakan akibat adanya interaksi agen pemadam (*quencher*) pada saat eksitasi elektron terjadi. Agen pemadam dapat berupa unsur paramagnetik, Cu<sup>2+</sup> merupakan logam paramagnetik (Pallikkavil *et al.*, 2013). Unsur paramagnetik memiliki elektron yang tidak berpasangan pada orbital d sehingga menyebabkan perubahan elektron pada orbital tereksitasi di dalam senyawa tersebut sehingga menghasilkan eksitasi triplet. Fenomena ini disebut dengan *intersystem crossing*. Proses kembalinya elektron pada eksitasi triplet menuju ke kondisi dasar menjadi terlarang sehingga berlangsung lambat (Rustikawati, 2017).

## KESIMPULAN

1. Senyawa kompleks ion logam Cu<sup>2+</sup> dengan ligan para-di-2-(1-fenil-3-piridil-4,5-dihidro-1H-pirazol-5-il)benzena telah berhasil disintesis dengan rendemen 43% dengan titik leleh sebesar 243,3°C.
2. Berdasarkan hasil karakterisasi senyawa kompleks dengan FTIR (KBr, cm<sup>-1</sup>) didapatkan ikatan: amina; C-H piridin; C=N; C=C aromatik; C-N, Cu-O, Cu-N, dan Cu-Cl. Hasil analisis spektroskopi UV-Visibel senyawa kompleks diperoleh dua puncak serapan yaitu pada 242 nm dan 306 nm dengan absorptivitas molar sebesar  $\log \epsilon$  4,51 dan  $\log \epsilon$  4,27. Hasil analisis fluoresensi senyawa kompleks diperoleh intensitas fluoresensi sebesar

1516 a.u pada panjang gelombang 502 nm.

3. Hasil studi kemosensor fluoresensi (fluoresensor) menunjukkan bahwa senyawa kompleks Cu<sup>2+</sup> berpotensi untuk dijadikan fluorosensor ion CN<sup>-</sup> dengan tipe “*turn on-off*”

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas Pakuan Bogor yang telah mendanai penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Acheampong, M.A., Roel, J.W.M., and Piet, N.L.L. (2010). Removal of Heavy Metals and Cyanide from Gold Mine Wastewater. *J Chem Technol Biotechnol.* 85: 590-613. DOI 10.1002/jctb.2358.
- Annuur, Rose Malina. (2015). Sintesis dan Uji Toksisitas Senyawa Kompleks Cu(II) Dengan Ligan 2(4-Nitrofenil)-4,5-Difenil-1H-Imidazol. *Resopitory Institut Teknologi Sepuluh Nopember.* <https://repository.its.ac.id/id/eprint/63238>.
- Buttrus, N.H., and A.F. AL-Omari. (2010). New Trinuclear Complexes of Co(II), Ni(II), Cu(II) and Zn(II) with Thiolato Triazole, Dithiocarbamate Indium(III) and Their Biological Study. *National Journal of Chemistry.* 37: 101-110.
- Cao, X. Q., Xiao H.L., Yan Zhu., Yan Q.G., and Jian W.W. (2012). The Optical Properties, Synthesis and Characterization of Novel 5-aryl-3-benzimidazolyl-1-phenyl-pyrazoline derivatives. *Spechtrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Specstroscopy.* 98: 76-80. DOI: 10.1016/j.saa.2012.08.036.
- Ding, P., Xia X., Lingli Z., Zengchun X., Qinghong Z., Jianmei J., and Guiying X. (2017). On-Off-On Fluorescent Oligomer as a Chemosensor For The

- Detection Of Manganese(VII), Sulfur(II) and Aldehydes Based On The Inner Filter Effect. *RSC Advances*. 7: 3051-3058. DOI: 10.1039/c6ra25583c.
- Hakim, Y.Z., and Agustino Zulys. (2016). A Fluorescence Study of Pyrazole Derivate 2-(1,5-diphenyl-4,5-dihidro-1H-pyrazole-3-yl)pyridine Upon Addition of  $\text{La}^{3+}$  and  $\text{Eu}^{3+}$  Ions. *International Conference on Materials, Manufacturing and Mechanical Engineering*. ISBN: 978-1-60595-413-4.
- Hermawati, E.S., Suhartana., dan Taslimah. (2016). Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Kompleks Zn(II)-8Hidroksokuinolin. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 19(3): 94-98. DOI: 10.14710/jksa.19.3.94-98.
- Lacowicz, J.R. (2006). Principles of Fluorescence Spectroscopy. University of Maryland School of Medicine Baltimore. Maryland, USA (3rd Ed).
- Lou, Z., Peng, L., Qiang, P., and Keli, H. (2013). A Reversible Fluorescent Probe for Detecting Hypochloric Acid in Living Cells and Animals : Utilizing a Novel Strategy for Effectively Modulating the fluorescense of Selenide and Selenoxide. *Chem Commun*. 49: 2445-2447. DOI: 10.1039/c3cc39269d.
- Pallikkavil, R., M. Basheer U., and Krishnannair K. (2013). Synthesis, Characterization, and Fluorescence Study of Phthalhydrazidylazo Derivative of an Unsaturated Diketone and its Metal Complexes. *Turk J Chem*.37: 889-895. DOI:10.3906/kim-1301-19
- Pavia, D.L., Gary M.L., and George S.K., (2011). *Introduction To Spectroscopy*. Third Edition. Thomson Learning: Singapura.
- Rao, P.G., Birudaraju, S., and T.Siva Rao. (2019). Highly Selective Reaction based Colorimetric and Fluorometric Chemosensors for Cyanide Detection via ICT Offin Aqueous Solution. *Journal of Photochemistry and Photobiology A Chemistry*. 372: 177-185. DOI:10.1016/j.jphotochem.2018.12.018.
- Rustikawati. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Kompleks  $\text{Fe}^{3+}$  dan  $\text{Cu}^{2+}$  dengan Ligan 2-(1,5-difenil-4,5-dihidro-1Hpirazol-3-yl)piridin Sebagai Detektor Ion Sianida. *LibUI*. <http://lontar.ui.ac.id/detail?id=20446412>.
- Swastika, L.N., dan Fahimah Martak. (2012). Sintesis dan Sifat Magnetik Kompleks Ion Logam Cu(II) Dengan Ligan 2-Feniletilamin. *Jurnal Sains dan Semi Pomits*. 1(1): 1-5.
- Syahputri, Yulian., Linda J.K., dan Sutanto. (2020). Fluorosensor Ion Sianida ( $\text{CN}^-$ ) dari Ligan Turunan Pirazolin. *Prosiding Senantias*. Vol.1, No.1: 929-934. <http://openjournal.unpam.ac.id>.
- Wang, L., Linhui, Z., and Derong, C. (2015). A Colorimetric Probe based on Diketopyrrolopyrrole and Tert-butyl Cyanoacetate for Cyanide Detection. *New J Chem*. 39: 7211-7218. DOI: 10.1039/c5nj01214g.
- Wang, Tan., Li-Hua, Z., and Dao-Liang, L. (2017). A Review on the Methods for Correcting the Fluorescence Inner-Filter Effect of Fluorescence Spectrum. *Applied Spectroscopy Reviews*. 52(10): 883-908. DOI: 10.1080/05704928.2017.1345758.