

**Sintesis dan karakterisasi senyawa kompleks dari  $[\text{Mn}(\text{C}_9\text{H}_7\text{N})_2](\text{NO}_3)_2$   
dengan  $\text{K}_4[\text{Co}(\text{SCN})_6]$  sebagai bahan baterai ion kalium**

**Kumala Dewi<sup>1</sup>, I Wayan Dasna<sup>2</sup>, dan Fariati**  
*Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Malang,  
Jl. Semarang No. 5, Malang Indonesia  
E-mail: dewikmla@yahoo.com<sup>1</sup>  
<sup>2</sup>Correspondent author: idasna@um.ac.id*

**Abstrak:** Tujuan penelitian adalah untuk mensintesis dan mengkarakterisasi senyawa kompleks dari  $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; kuinolina dan KSCN dengan perbandingan stoikiometri 1:1:2:6 menggunakan pelarut metanol dan mengidentifikasi potensinya sebagai bahan baterai ion kalium. Karakterisasi senyawa kompleks hasil sintesis diuji dengan uji titik lebur; XRD; XRF; FTIR; uji daya hantar listrik; uji kualitatif dan voltametri siklik. Sintesis senyawa kompleks menghasilkan padatan biru kehijauan dan melebur pada 165-167°C. Berdasarkan hasil analisis, senyawa tersebut bersifat ionik; mengandung ion  $\text{SCN}^-$  dan kuinolina; tidak mengandung ion  $\text{Cl}^-$  dan ion  $\text{NO}_3^-$  dan rumus empirik  $\text{MnCoK}_2\text{S}_6\text{C}_{24}\text{N}_8$  dengan nilai potensial oksidasi dan reduksi berturut-turut sebesar -1,240 V dan +0,594 V.

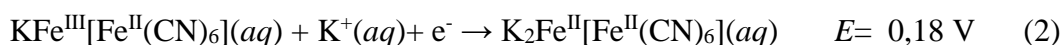
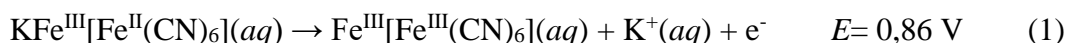
**Kata Kunci:** Senyawa kompleks, ion kobalt(II), ion mangan(II), ion tiosianat, kuinolina, Baterai ion kalium,

**Abstrac:** The purpose of this research to synthesize and characterize complex compound from  $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; quinolina and KSCN with stoichiometry ratio 1:1:2:6 using methanol solvent and identify its potential as a potassium ion battery. Characterization of synthesized complex compound was tested by melting point test; XRD; XRF; FTIR; electric conductivity test; qualitative test and 67°C. Based on the results of the analysis, the compound is ionic; contains  $\text{SCN}^-$  ion and quinolina; does not contain  $\text{Cl}^-$  ion and  $\text{NO}_3^-$  ion and have empirical formula  $\text{MnCoK}_2\text{S}_6\text{C}_{24}\text{N}_8$  with oxidation and reduction potential values -1,240 V and +0,594 V respectively.

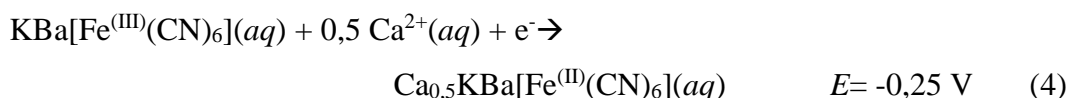
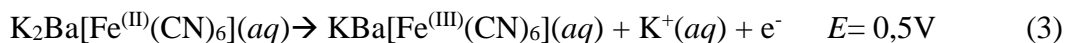
**Keyword:** complex compound, cobalt(II) ion, manganese(II) ion, thiocyanate ion, quinoline, potassium ion battery.

## PENDAHULUAN

*Prussian Blue* merupakan senyawa kompleks dengan dua ion logam terikat pada ion  $\text{CN}^-$  sebagai ligan jembatan. PEB pada ion  $\text{CN}^-$  mengikat ion logam pada atom C dan N membentuk ikatan M-CN-M. *Prussian Blue* yang telah diteliti sebelumnya memiliki struktur kisi dengan rongga yang terbuka. Senyawa kompleks berbasis *Prussian Blue* dengan rumus struktur  $\text{A}_x\text{M}^{(1)}[\text{M}^{(2)}(\text{CN})_6]_y$  ( $\text{M}^{(1)}$  dan  $\text{M}^{(2)}$  = ion logam transisi dan A = ion alkali) (Paolella, dkk., 2017) telah banyak disintesis, beberapa contohnya: Penelitian  $\text{KFe}^{\text{III}}[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6]$  yang dilakukan oleh Eftekhari (2014) diperoleh reaksi redoks yang ditunjukkan pada Persamaan 1-2 sebagai berikut.



Penelitian  $K_2Ba[Fe^{(II)}(CN)_6]$  yang dilakukan oleh Padigi, dkk. (2014) diperoleh reaksi elektrokimia yang ditunjukkan pada Persamaan 3-4 sebagai berikut.



Senyawa kompleks berbasis *Prussian Blue* mengandung ion  $CN^-$  dari berasal dari reaktan KCN. KCN diketahui memiliki sifat yang sangat beracun untuk lingkungan, dosis mematikan oral pada manusia kurang dari 5 mg/kg atau kurang dari 7 tetes dalam 250 lb/Orang. KCN beracun dalam jumlah yang sangat kecil dan mematikan (Environment Protection Agency, 2010). Berdasarkan hal tersebut digunakan alternatif reaktan lain yang kurang beracun. KSCN dipilih sebagai alternatif lain karena memiliki karakteristik yang sama dengan KCN dengan sifat racun yang lebih rendah.

Pada penelitian sintesis berbasis *Prussian Blue like*, terbentuk ikatan M-SCN-M seperti *Prussian Blue*. Ion  $SCN^-$  mengikat dua logam dengan PEB pada atom S dan N sebagai ligan jembatan dan ligan kuinolina ditambahkan ke dalam senyawa kompleks berbasis *Prussian Blue like*. Potensi senyawa kompleks berbasis *Prussian Blue like* dengan dua logam transisi sebagai bahan baterai ion kalium belum pernah dilaporkan. Pada penelitian mengenai baterai sebelumnya, ion Co(II) dan ion Mn(II) sering dijadikan sebagai salah satu ion logam dalam baterai. Penggunaan ion Co(II) dan ion Mn(II) dalam senyawa kompleks memberikan reaksi redoks yang menunjukkan potensinya sebagai bahan baterai. Berdasarkan hal tersebut dilakukan penelitian berbasis *Prussian Blue like* yang bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi senyawa kompleks dari  $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ ;  $Mn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$  dan KSCN dan kuinolina dan mengetahui potensinya sebagai bahan baterai ion kalium.

## METODE

Penelitian dilakukan secara eksperimen di Laboratorium. Rancangan penelitian terdiri dari dua tahap. Tahap pertama merupakan sintesis senyawa

kompleks. Tahap kedua merupakan karakterisasi hasil sintesis senyawa kompleks, yaitu: uji titik lebur diukur dengan *Thermo Scientific Fisher Meelting Point Apparatus*; analisis pembanding senyawa menggunakan *X-Ray Diffraction*(XRD); analisis komposisi dan kadar dari *X-Ray Fluorosence* (XRF); analisis gugus fungsi hasil *Fourier Transform InfraRed* (FTIR); uji daya hantar listrik (DHL) menggunakan koduktometer; uji kualitatif dan analisis potensial diukur dengan voltameter.

### **Sintesis Senyawa Kompleks**

Senyawa kompleks dari  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dan KSCN dengan perbandingan stoikiometri  $\text{Co(II):SCN} = 1:6$  disintesis dengan memodifikasi metode Schlessinger (1962). KSCN (1,16 g; 0,012 mol) dilelehkan dalam kursibel porselen pada  $175^\circ\text{C}$  (suhu *hotplate*). Lelehan KSCN ditambahkan  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (0,476 g; 0,002 mol) dan diaduk hingga tercampur. Lelehan senyawa kompleks 1 dilarutkan dalam metanol dan disaring endapan 1 dengan kertas saring. Endapan 1 diuji kualitatif ion tiosianat dan ion klorida. Filtrat 1 diaduk dan dipanaskan pada suhu  $70^\circ\text{C}$  hingga tersisa padatan senyawa kompleks 1.

Senyawa kompleks dari  $\text{Mn(NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  dan kuinolina dengan perbandingan  $\text{Mn(II):C}_9\text{H}_7\text{N} = 1:2$  disintesis dari  $\text{Mn(NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (0,251 g; 0,001 mol) dilarutkan dalam 2 mL metanol dan kuinolina (0,24 mL; 0,002 mol) dilarutkan dalam 2 mL metanol. Larutan  $\text{Mn(NO}_3)_2$  diteteskan secara perlahan ke dalam larutan kuinolina sambil diaduk dan dipanaskan pada suhu  $60^\circ\text{C}$  hingga terbentuk larutan senyawa kompleks 2.

Senyawa kompleks 3 disintesis dari senyawa kompleks 1 dan 2 dengan perbandingan senyawa kompleks 1:senyawa kompleks 2 = 1:1. Senyawa kompleks 1 (0,564 g; 0,001 mol) dilarutkan dalam 4 mL metanol. Larutan senyawa kompleks 1 diteteskan secara perlahan ke dalam gelas beaker berisi larutan senyawa kompleks 2 sambil diaduk dan dipanaskan pada suhu  $60^\circ\text{C}$ . Endapan 2 disaring dengan kertas saring. Endapan 2 diuji kualitatif ion nitrat. Filtrat 2 dipanaskan pada suhu  $70^\circ\text{C}$  hingga tersisa padatan senyawa kompleks 3. Padatan senyawa kompleks 3 dilarutkan dalam metanol 2 mL dan diuapkan pada suhu ruang ( $25^\circ\text{C}$ ) hingga terbentuk kristal senyawa kompleks 3.

## Karakterisasi Senyawa Kompleks

Karakterisasi senyawa kompleks hasil sintesis dilakukan dengan uji titik lebur; analisis XRD; analisis XRF; analisis FTIR; uji DHL; uji kualitatif ion klorida; ion nitrat dan ion tiosianat dan analisis voltametri siklik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Sintesis Senyawa Kompleks

Hasil sintesis senyawa kompleks dari  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dengan KSCN dan  $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  dengan kuinolina diperoleh padatan berwarna biru kehijauan. Padatan senyawa kompleks 1 dan senyawa kompleks 3 ditunjukkan berturut-turut pada Gambar 1(a) dan 1(b).



Gambar 1 (a) Padatan Senyawa Kompleks 1 (b) Padatan Senyawa Kompleks 3

## Karakterisasi Senyawa Kompleks Hasil Sintesis

### Uji Titik Lebur

Pada uji titik lebur diperoleh data titik lebur

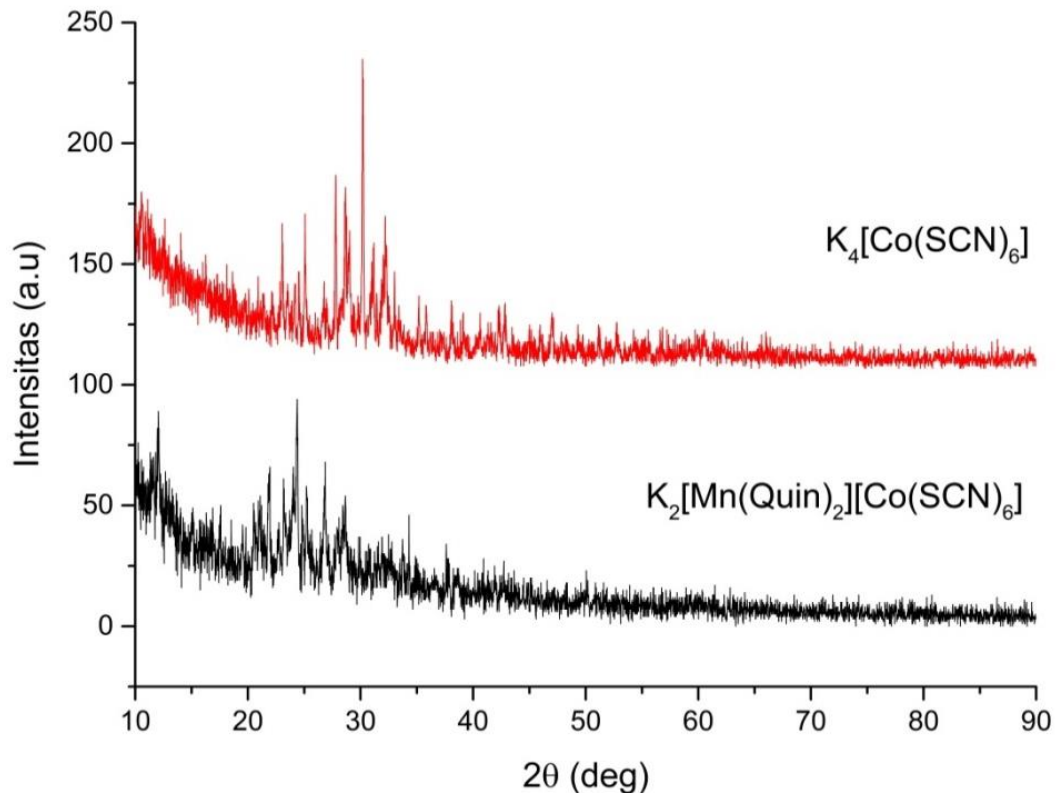
Tabel 1 Data Titik Lebur Reaktan dan Senyawa  $\text{K}_2[\text{Mn}(\text{C}_9\text{H}_7\text{N})_2][\text{Co}(\text{SCN})_6]$

Senyawa	Pengamatan	Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	Titik Lebur ( $^{\circ}\text{C}$ ) ( <i>The Merck Index, 13<sup>rd</sup> Edition</i> )
$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Lebur	86	$87^{\circ}\text{C}$
$\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Lebur	37	$37,1^{\circ}\text{C}$
KSCN	Lebur	175	$\sim 173^{\circ}\text{C}$
Kuinolina	-	-	$-15^{\circ}\text{C}$
$\text{K}_4[\text{Co}(\text{SCN})_6]$	Lebur	112	-
$\text{K}_2[\text{Mn}(\text{C}_9\text{H}_7\text{N})_2][\text{Co}(\text{SCN})_6]$	Lebur	165-167	-

Suhu peleburan senyawa kompleks 3 tidak sama dengan rentangan suhu peleburan reaktan yang digunakan dan memiliki rentangan tidak melebihi  $2^{\circ}\text{C}$  yang menunjukkan bahwa senyawa kompleks hasil sintesis merupakan senyawa kompleks baru dan murni.

### *Analisis XRD*

Hasil XRD diperoleh spektrum pada Gambar 2 menunjukkan spektrum dengan beberapa puncak yang antara senyawa kompleks 1 dan 3 menunjukkan ion  $[\text{Co}(\text{SCN})_6]^-$  terdapat dalam senyawa kompleks 3. Beberapa puncak pada spektrum senyawa kompleks hasil sintesis membuktikan bahwa senyawa kompleks 3 merupakan senyawa berbeda dengan senyawa kompleks 1.



Gambar 2 Spektrum XRD Senyawa Kompleks 1 dan Senyawa kompleks 3

### *Analisis XRF*

Pada analisis XRF menunjukkan komponen unsur penyusun senyawa kompleks 3 yang yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Data Komposisi Unsur dan Persentase Senyawa Kompleks 3

Unsur	Komposisi (%)
S	23,2
K	15,3
Cr	0,051
Mn	18,2
Co	23,8
Mo	16
Eu	3,2

Data Tabel 2 menunjukkan komponen unsur penyusun senyawa kompleks 3 yang meliputi unsur K; S; Mn dan Co, persentase atom hasil XRF yang diperoleh hampir sama dengan persentase atom teoritis. Persentase atom S yang diperoleh lebih kecil dibandingkan persentase teoritis, hal ini disebabkan instrumen XRF tidak sensitif pada atom ringan. Persentase komposisi pada senyawa kompleks 3 meliputi Mn dan Co yaitu berturut-turut 18,2:23,8. Dari persentase ini dapat diketahui perbandingan atom pada senyawa kompleks. Persentase atom Mn:Co berturut turut diperoleh 0,0033:0,0040 dan dibulatkan menjadi 1:1 yang membuktikan terdapat 2 logam pada senyawa kompleks 3 yaitu, logam Mn dan Co dengan perbandingan Mn:Co = 1:1.

### ***Analisis FTIR***

Data bilangan gelombang mengindikasikan keberadaan gugus fungsi pada senyawa kompleks secara analisis dan teoritik tertera pada Tabel 3 dan spektrum FTIR dari senyawa kompleks 3 ditunjukkan pada Gambar 3.

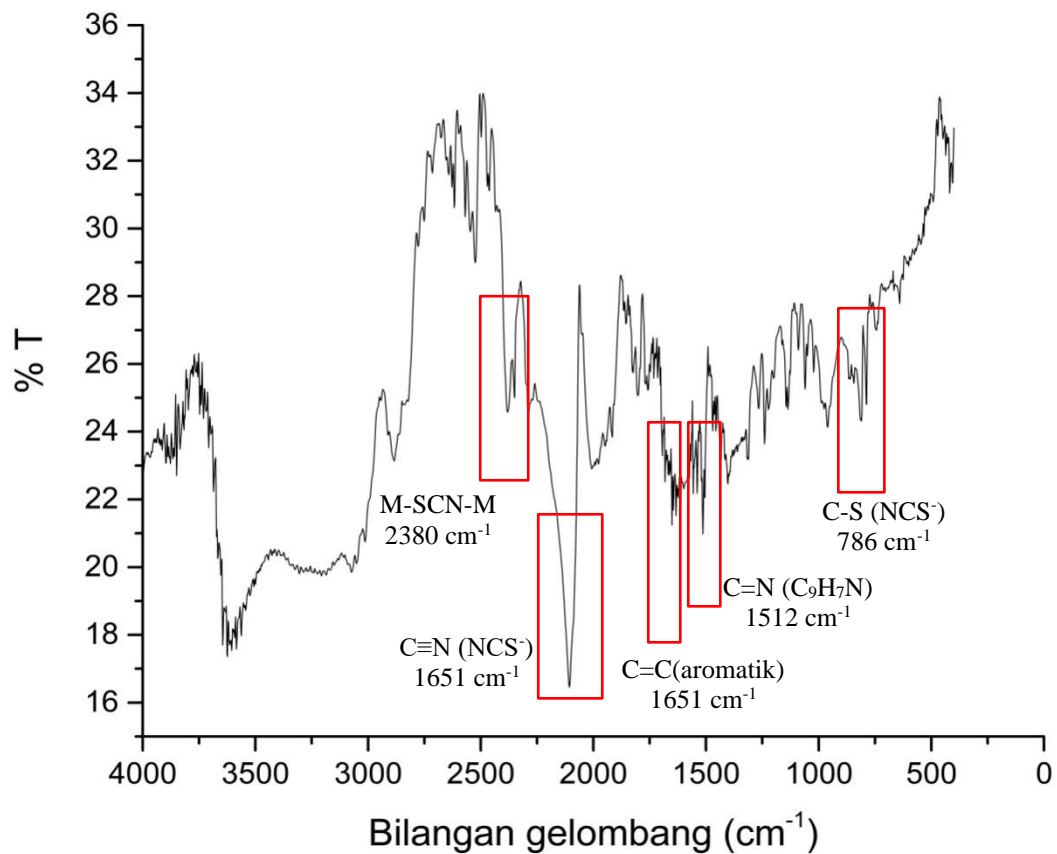
**Tabel 3 Data Bilangan Gelombang FTIR Senyawa Kompleks 3 Analisis dan Secara Teori**

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm <sup>-1</sup> )			Senyawa Kompleks 3
	Teoritik	KSCN *)	Kuinolina **)	
C=C (aromatik)	1600-1585 dan 1500-1400	-	-	1651
C=N (C <sub>9</sub> H <sub>7</sub> N)	1556	-	1556	1512
C≡N (NCS <sup>-</sup> )	2300-1850	2020	-	2112
C-S (NCS <sup>-</sup> )	~700-800 (***)	746	-	786
NCS <sup>-</sup>	~400 (***)	-	-	Tidak teramati
M-NCS	~300 (***)	-	-	Tidak teramati
M-SCN	2050-2200 (***)	-	-	2112
M-SCN-M	2140-2510 (***)	-	-	2380
M-N (ligan aromatik)	200-300	-	-	Tidak teramati

\*) Data diambil dari Miller dan Wilkins (1952) dalam Kusumawati (2017)

\*\*\*) Data diambil dari Zuhri (2015)

\*\*\*\*) Data diambil dari Bailey, dkk. (1970)



**Gambar 3** Spektrum FTIR Senyawa Kompleks 3

Berdasarkan analisis FTIR, senyawa kompleks hasil sintesis memiliki ikatan antara logam dengan ligan kuinolina dan ion tiosianat yang berperan sebagai ligan jembatan.

### *Uji DHL*

Pada uji DHL, diperoleh data DHL yang dapat dibaca pada Tabel 4.

**Tabel 4** Data Harga DHL Listrik Pelarut, Reaktan dan Senyawa Kompleks 3

Senyawa	Konsentrasi (M)	Harga DHL ( $\mu$ S)
Metanol	-	20,1
CoCl <sub>2</sub> . 6 H <sub>2</sub> O	$1,0 \times 10^{-3}$	150,1
Mn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> . 4 H <sub>2</sub> O	$1,0 \times 10^{-3}$	138,9
Senyawa kompleks 1	$1,0 \times 10^{-3}$	262
Senyawa kompleks 3	$1,0 \times 10^{-3}$	175,7

Harga DHL senyawa kompleks 3 diketahui sebesar 175,7  $\mu$ S, harga DHL ini mendekati harga DHL garam-garamnya. Hal ini menunjukkan bahwa senyawa kompleks hasil sintesis merupakan senyawa kompleks ionik.



dengan rumus empirik  $\text{MnCoK}_2\text{S}_6\text{C}_{24}\text{N}_8$  dan struktur senyawa yang dihasilkan adalah  $\text{K}_2[\text{Mn}(\text{C}_9\text{H}_7\text{N})_2][\text{Co}(\text{SCN})_6]$ .

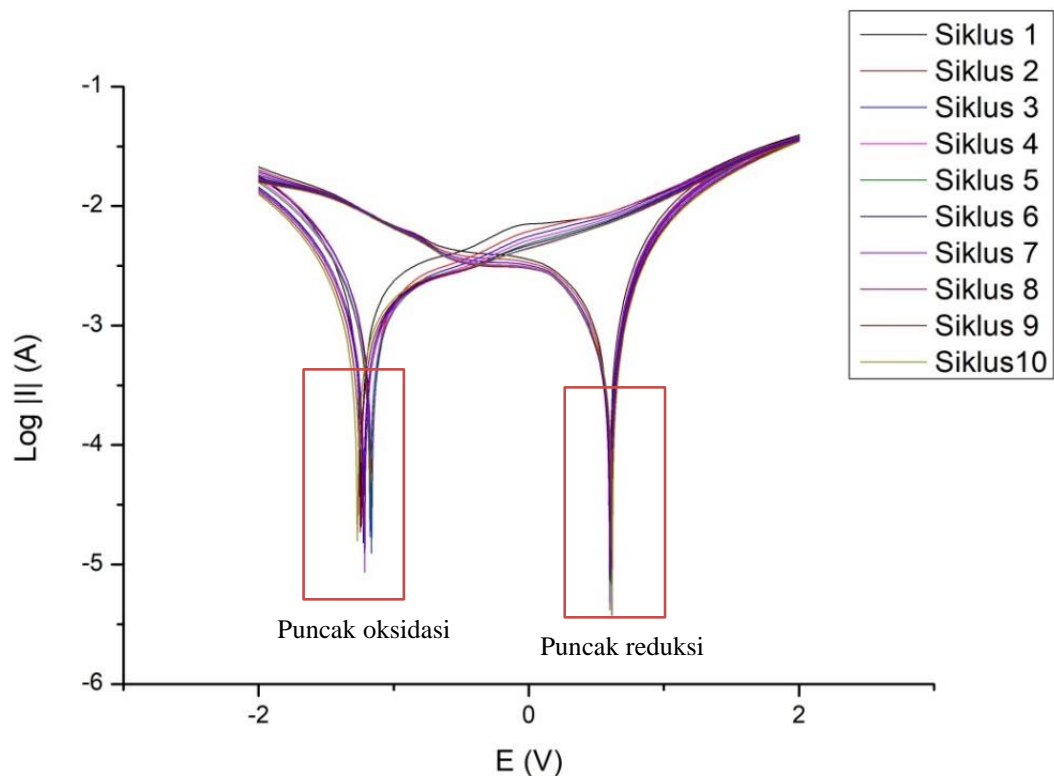
### Analisis Voltametri Siklik

Pada uji voltametri siklik diperoleh grafik pada Gambar 7 dengan 2 puncak yang menunjukkan senyawa kompleks 3 mengalami reaksi redoks. Puncak pada grafik merupakan nilai potensial yang diperoleh dari reaksi redoks. Data nilai potensial reduksi standar reaktan ditunjukkan pada Tabel 5.

**Tabel 5 Data Nilai Potensial Reduksi Standar Terhadap Hidrogen dan Ag/AgCl**

Reaksi	$E^\circ$ (V/SHE) *)	$E$ (V/Ag/AgCl)
$\text{K}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{K}(\text{s})$	-2,93	-2,75
$\text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}(\text{s})$	-1,18	-1,4
$2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{OH}^-(\text{aq})$	-0,83	-1,05
$\text{Co}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Co}(\text{s})$	-0,28	-0,5
$2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g})$	<b>0</b>	-0,22
$\text{AgCl}(\text{s}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}(\text{s}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$	+0,22	<b>0</b>
$\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$	+0,40	+0,18
$\text{O}_2(\text{g}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+1,23	+1,01
$\text{Co}^{3+}(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Co}^{2+}(\text{aq})$	+1,81	+1,59
$\text{Mn}^{3+}(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq})$	+1,51	+1,29

\*) Diambil dari Atkins & Paula (2010)



**Gambar 7 Grafik Voltametri Siklik Senyawa Kompleks 3**

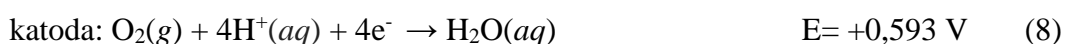
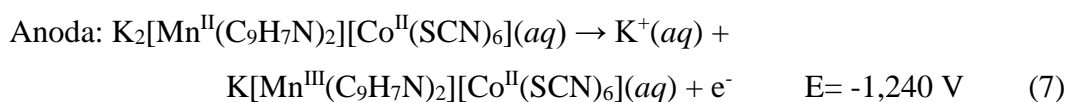
Dari data pada Tabel 5, Nilai potensial oksidasi dari reaksi oksidasi ion Mn(II) menjadi ion Mn(III) diketahui sebesar -1,29 V (terhadap Ag/AgCl) dengan reaksi yang dituliskan pada persamaan 3.10.



Nilai potensial tersebut mendekati nilai potensial oksidasi pada senyawa kompleks 3 yaitu sebesar -1,240 V (terhadap Ag/AgCl). Reaksi oksidasi pada senyawa kompleks 3 dituliskan pada Persamaan 3.10. Nilai potensial reduksi dari reaksi reduksi O<sub>2</sub> diketahui sebesar +1,01 V (terhadap Ag/AgCl) dengan reaksi yang dituliskan pada persamaan 3.11.



Nilai potensial tersebut paling mendekati nilai potensial reduksi pada senyawa kompleks 3 yaitu sebesar +0,593 V (terhadap Ag/AgCl). Reaksi reduksi pada senyawa kompleks 3 dituliskan pada Persamaan 3.12.



Analisis voltametri menunjukkan senyawa kompleks hasil sintesis dapat mengalami reaksi redoks seperti senyawa kompleks berbasis *Prussian Blue like* yang membuktikan senyawa tersebut berpotensi sebagai bahan baterai.

## SIMPULAN

Sintesis senyawa kompleks dari ion Mn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O; kuinolina; CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O dan KSCN dengan perbandingan stoikiometri 1:2:1:6 menghasilkan padatan berwarna biru kehijauan yang melebur pada suhu 165-167°C dengan perbandingan Mn:Co sebesar 1:1. Senyawa kompleks hasil sintesis merupakan senyawa ionik. Senyawa kompleks hasil sintesis memiliki nilai potensial oksidasi dan reduksi berturut-turut sebesar -1,240 V dan +0,59 V.

## SARAN

Metode karakterisasi yang digunakan belum menentukan kuinolina dan ion SCN<sup>-</sup> yang terikat dengan ion Mn(II) dan ion Co(II) sehingga perlu dilakukan metode analisis difraksi sinar-X kristal tunggal (*XRD-Singel Crystal*).

## DAFTAR RUJUKAN

- Atkins, P. & Paula, J. D. 2010. *Physical Chemistry, Nine Edition*. New York: University of Oxford Press
- Bailey, R. A., Kozak, S.L., Michelsen T. W., & Mills W. N. 1970. Infrared Spectra of Complexes of The Thiocyanate and Related Ions. *Departement of Chemistry, Rensselaer Polytechnic Institute*. 6(1971):407-445
- Eftekhari,A. 2004. Potassium Secondary Cell Based on Prussian Blue Cathode. *Journal of Power Sources*. (126): 221-228. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2003.08.007
- Eftekhari, A., Jian, Z. & Ji, X. 2014. Potassium Secondary Batteries. *American Chemical Society*. (9): 4404-4419. DOI: 10.1021/acsami6b07989
- EPA. 2010. *Toxicological Review of Hydrogen Cyanide and Cyanide Salts*. Washington, DC: U.S Environmental Protection Agency
- Jian Z., Luo, W., & Ji, X. 2015. Carbon Electrodes for K-Ion Batteries Carbon Electrodes for K-Ion Batteries. *Journal of American Chemical Society*. DOI: 10.1021/jacs.5b06809
- Kusumawati, L. 2017. *Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Kompleks dari Ion Tembaga(II) dengan Ligan Ion Tiosianat dan Isokuinolina*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: FMIPA UM
- Miller, F. A. Dan Wilkins, C. H. 1952. *Infrared Spectra and Characteristic Frequencies of Inorganic Ions*. Analytical Chemistry, 24: 1253-1294
- Padigi, P., Goncher, G., Evans, D., & Solanki, R. 2015. Potassium Barium Hexacyanoferrate a Potential Cathode Material for Rechargeable Calcium Ion Batteries. *Journal of Power Sources*. (273): 460-464
- Paolella, A., Faure, C., Timoshevskii, V., Marras, S., Bertoni, G., Guerfi, A., Vijh, A., Armand, M. & Zaghbi, K. 2017. A Review on Hexacyanoferrate-based Material for Energy Storage and Smart Windows: Challenges and Perspective. *Journal of Material Chemistry A*. DOI: 10.1039/C7TA05121B
- Schlessinger, G. G. 1962. *Inorganic Laboratory Preparations*. New York: Chemical Pub. Co. Dari <https://onlinebooks.library.upenn.edu/webbin/book/lookupid?key=olbp7152>
- Svehla, G. 1990. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro (Bagian II) Edisi ke-5*. Jakarta: Pt. Kalman Media Pustaka.
- Wang, B., Han, Y., Wang, X., Bahlawane, N., Pan, H., Yan, M., & Jiang, Y. 2018. Prussian Blue Analogs for Rechargeable Batteries. *iScience*. (3):110-133
- Wessells, C. D., Huggins, R. A., & Cui, Y. 2011. Copper Hexacyanoferrate Battery Electrodes with Long Cycle Life and High Power. *Nature Communications*. (2):550. DOI: 10.1038/ncomms1563
- Wessells, C. D., Peddada, S. V., Huggins, R. A., & Cui, Y. 2011. Nickel Hexacyanoferrate Nanoparticle Electrode For Aqueous Sodium and Potassium Ion Batteries. *American Chemical Society*. (11):5421-5425. DOI: 10.1021/nl203193q
- Zuhri, M. R. 2015. *Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Kompleks dari [Cu(Quin)]<sup>2+</sup> dan [Co(NCS)<sub>4</sub>]<sup>2-</sup>*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: FMIPA UM