

Sintesis Zat Warna *Prussian Blue* ($\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$)

Berbahan Pasir Besi Alam

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana (S.Si)



Oleh :

Muthiara Wahyuni

16036044/2016

PROGRAM STUDI KIMIA

JURUSAN KIMIA

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM**

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2021

PERSETUJUAN SKRIPSI

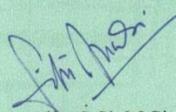
**SINTESIS ZAT WARNA *PRUSSIAN BLUE* $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$
BERBAHAN PASIR BESI ALAM**

Nama : Muthiara Wahyuni
NIM : 16036044
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Februari 2021

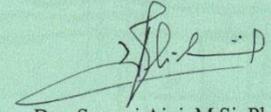
Mengetahui:

Ketua Jurusan Kimia


Fitri Amelia, S.Si., M.Si., Ph.D
NIP. 19800819 200912 2 002

Disetujui Oleh:

Pembimbing


Dra. Syamsi Aini, M.Si, Ph.D
NIP. 19650727 199203 2 010

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

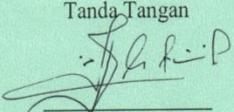
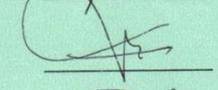
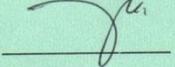
Nama : Muthiara Wahyuni
NIM : 16036044
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

SINTESIS ZAT WARNA *PRUSSIAN BLUE* $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ BERBAHAN PASIR BESI ALAM

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, Februari 2021

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
Ketua	: Dra. Syamsi Aini, M.Si, Ph.D	
Anggota	: Miftahul Khair, S.Si., M.Sc, Ph.D	
Anggota	: Budhi Oktavia, S.Si., M.Si., Ph.D	

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Muthiara Wahyuni
NIM : 16036044
Tempat/Tanggal lahir : Bukittinggi / 02 Juli 1997
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : Sintesis Zat Warna *Prussian Blue* $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$

Berbahan Pasir Besi Alam

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Karya tulis/skripsi ini adalah hasil karya saya dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik (sarjana) baik di UNP maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis/skripsi ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan tim pembimbing.
3. Pada karya tulis/skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan pada kepustakaan.
4. Karya tulis/skripsi ini sah apabila telah ditandatangani Asli oleh tim pembimbing dan tim penguji.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran di dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima **Sanksi Akademik** berupa pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh karena karya tulis/skripsi ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi

Padang, Februari 2021

Yang menyatakan

Muthiara Wahyuni
NIM : 16036044

Sintesis Zat Warna *Prussian Blue* ($\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$) Berbahan Pasir Besi Alam

Muthiara Wahyuni

ABSTRAK

Pasir besi alam biasanya mengandung mineral besi (besi oksida) seperti magnetite (Fe_3O_4), hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), dan maghemite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Pasir besi Sijunjung memiliki persentase besi dan kerentanan terhadap magnet yang lebih tinggi dari pasir besi yang ada di Sumatera Barat. Pasir besi yang ada perlu ditingkatkan nilai ekonominya, salah satu cara yaitu digunakan sebagai bahan dasar untuk membuat zat warna. Salah satu zat warna yang dapat disintesis dari bahan dasar besi adalah *Prussian Blue* dengan rumus $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$. Pasir besi alam memiliki komposisi kimia dan sifat yang berbeda dengan pasir besi daerah lain, dengan demikian memerlukan kondisi reaksi berbeda. *Prussian Blue* telah disintesis dengan metoda kopresipitasi pada temperatur ruang dengan memvariasikan massa $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Sintesis *Prussian Blue* menggunakan perbandingan FeCl_3 dan $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (4:3) dengan jumlah $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 21 gram menghasilkan warna yang sesuai standar *Prussian Blue*. Produk hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis untuk *Prussian Blue* kurang memenuhi standar karena muncul beberapa puncak yang tidak diinginkan yang menandakan zat yang dihasilkan tidak murni, sedangkan karakterisasi menggunakan FTIR terdapat gugus-gugus pembentuk *Prussian Blue* seperti CN dan $\text{Fe}^{2+}\text{-CN-Fe}^{3+}$.

Kata Kunci : Pasir besi, *Prussian Blue*, Kopresipitasi.

Synthesis of *Prussian Blue* ($\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$) Dyes made from Natural Iron Sand

Muthiara Wahyuni

ABSTRACT

Natural iron sand usually contains iron minerals (iron oxide) such as magnetite (Fe_3O_4), hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), and maghemite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Sijunjung iron sand has a higher percentage of iron and susceptibility to magnets than iron sand in West Sumatra. The existing iron sand needs to be increased in economic value, one way is to use it as a base material for making dyes. One of the dyes that can be synthesized from iron is *Prussian Blue* with the formula $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$. Natural iron sand has different chemical composition and properties from iron sand from other regions, and thus requires different reaction conditions. *Prussian Blue* has been synthesized by coprecipitation method at room temperature by varying the mass of $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. *Prussian Blue* synthesis uses a comparison of FeCl_3 and $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ with a number of $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 21 gram produces a *Prussian Blue* with color that is in accordance with the standard *Prussian Blue*. The synthesized products were characterized using a UV-Vis Spectrophotometer for *Prussian Blue*, which did not meet the standard because some unwanted peaks appeared which indicated that the resulting substance was impure, while characterization using FTIR contained *Prussian Blue* groups such as CN and $\text{Fe}^{2+}\text{-CN-Fe}^{3+}$.

Keyword : iron sand, $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, *Prussian Blue*, Co-precipitation.

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal ini judul **“Sintesis Zat Warna Prussian Blue ($\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$) Berbahan Pasir Besi Alam”**. Skripsi ini diajukan untuk memenuhi dan melengkapi persyaratan kelulusan dalam rangka memperoleh gelar sarjana S-1 pada jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Seluruh pendanaan dalam penelitian yang telah dilakukan dibiayai melalui dana penelitian pembimbing. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih atas bimbingan, dorongan dan semangat kepada :

1. Ibu Dra, Syamsi Aini, M.Si., Ph.D sebagai pembimbing dalam penulisan proposal sekaligus Penasehat Akademik (PA).
2. Ibu Fitri Amelia, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Ketua Jurusan dan Bapak Umar Kalmar Nizar, M.Si., Ph.D selaku Ketua Program Studi Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang.
3. Bapak Budhi Oktavia, M.Si., Ph.D dan Bapak Miftahul Khair, S.Si., M.Sc., Ph.D dosen pembahas Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang.
4. Orang tua (Ibu, Ayah, Ibuk, Ipap) serta keluarga sebagai motivasi terbesar penulis menyelesaikan skripsi ini.
5. Sahabat terbaik penulis untuk semangat yang sudah diberikan dalam proses penulisan skripsi ini.

6. Tim penelitian Dra. Syamsi Aini Angkatan 2016 atas segala bantuan dan dukungannya dalam penulisan skripsi ini.
7. Seluruh Staf Pengajar dan Tenaga Administrasi Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang.
8. Labor Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang.
9. Teman-teman Kimia 2016 khususnya teman-teman terdekat yang telah memberi masukan dan dorongan kepada penulis dalam pembuatan skripsi ini.

Akhirnya, untuk kesempurnaan skripsi ini maka dengan kerendahan hati penulis mengharapkan masukan dan saran yang membangun dari semua pihak. Atas masukan dan saran yang diberikan penulis ucapkan terimakasih.

Padang, Februari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	9
A. Latar Belakang	9
B. Identifikasi Masalah	11
C. Batasan Masalah.....	12
D. Rumusan Masalah	12
E. Tujuan Penelitian	12
F. Manfaat Penelitian	12
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	13
A. Pasir Besi.....	13
B. Kompleks <i>Prussian Blue</i>	17
C. Spektrofotometri UV-Vis.....	22
D. Fourier-transform infrared (FTIR)	24
BAB III METODE PENELITIAN.....	28
A. Waktu dan Tempat Penelitian	28
B. Variabel Penelitian	28
C. Alat dan Bahan	28
D. Prosedur Kerja.....	28
E. Metode pengukuran.....	29

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
A. Pembuatan FeCl ₃	31
B. Pembuatan <i>Prussian Blue</i>	31
C. Spektrofotometer UV-Vis	34
D. Fourier-transform infrared (FTIR)	35
BAB V PENUTUP.....	40
A. KESIMPULAN	40
B. SARAN	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN.....	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Pasir Besi Sijunjung	14
Gambar 2. <i>Prussian Blue</i>	18
Gambar 3 Struktur kisi <i>prussian blue</i>	18
Gambar 4. UV-Vis <i>Prussian Blue</i>	23
Gambar 5. <i>Prussian Blue</i> hasil sintesis dengan variasi penggunaan a) 11 gram, b) 12 gram, c) 13 gram, d) 20 gram dan e) 21 gram $K_4Fe(CN)_6$	32
Gambar 6. UV-Vis Standar <i>Prussian Blue</i>	34
Gambar 7. UV-Vis <i>Prussian Blue</i> sintesis dengan variasi penggunaan PB1) 11 gram, PB2) 12 gram, PB3) 13 gram $K_4Fe(CN)_6$	35
Gambar 8. Standar FTIR <i>Prussian Blue</i>	37
Gambar 9. Hasil Uji FTIR <i>Prussian Blue</i> dengan variasi 11 gram kalium ferrosianida(PB1)	37
Gambar 10. Hasil Uji FTIR <i>Prussian Blue</i> dengan variasi 12 gram kalium ferrosianida(PB2)	38
Gambar 11. Hasil Uji FTIR <i>Prussian Blue</i> dengan variasi 13 gram kalium ferrosianida(PB3)	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan pembuatan FeCl_3 dan zat warna <i>Prussian Blue</i>	43
Lampiran 2. Pembuatan FeCl_3	44
Lampiran 3. Pembuatan <i>Prussian Blue</i>	46
Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian	47
Lampiran 5. Data hasil pengukuran UV-Vis.....	49

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sumatera Barat merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang terkenal dengan kekayaan sumber daya alamnya yaitu berupa batu bara, pasir besi, batu galena, timah hitam, seng, emas, batu kapur (semen), kelapa sawit, kakao, gambir dan hasil perikanan. Salah satu dari sumber daya alam pada provinsi Sumatera Barat ini dapat dilakukan penelitian yaitu pasir besi (Salomo et al., 2018). Beberapa daerah di Sumatera Barat yang memiliki pasir besi melimpah diantaranya Pasaman, Pariaman, Solok, Pesisir Selatan, dan Sijunjung. Menurut (Aini.S, 2019) pasir besi daerah Pasaman, Pariaman dan Solok memiliki pengotor dalam bentuk CaHPO_4 dan SiO_2 yang mengakibatkan persentase besi menjadi rendah dibandingkan dengan pasir besi daerah Sijunjung yang memiliki persentase besi dan kerentanan terhadap magnet yang lebih tinggi. Pasir besi ini memiliki ciri-ciri warna kehitaman dan banyak ditemukan di berbagai pantai, sungai, dan pegunungan. Pasir besi merupakan bijih besi berbentuk pasir yang banyak ditemui di alam yang bercampur dengan pasir. Endapan besi yang terdapat dalam batuan sedimen berupa pasir dikenal sebagai pasir besi. Pasir besi banyak ditemukan di sungai-sungai besar yang ada di Sumatera Barat seperti salah satunya yaitu sungai batang sukam Sijunjung Sumatera Barat (Salomo et al., 2018).

Batang Sukam Sijunjung Sumatera Barat merupakan salah satu daerah yang memiliki potensi bahan galian yaitu emas, yang secara tradisional dieksploitasi oleh masyarakat dengan menggunakan cara dan teknik sederhana yang dikenal

dengan mendulang emas (Refles, 2012). Sisa pendulangan emas ini berupa pasir besi yang mengandung mineral magnetik dengan nilai kerentanan terhadap magnet yang cukup tinggi (Siregar dan Budiman, 2015) dan didominasi oleh mineral magnetik (Rizki & Budiman, 2018). Menurut (Aini.S, 2019) pasir besi dari daerah Sijunjuang merupakan limbah dari kegiatan penambangan yang dilakukan oleh masyarakat. Sementara itu, pasir hitam seperti batu bara yang mereka hasilkan dibuang begitu saja ke tanah atau sungai terdekat.

Salah satu pemanfaatan pasir besi yang memiliki nilai ekonomi lebih tinggi yakni digunakan sebagai zat warna. Sebelumnya pada penelitian (Atma K, 2013) telah berhasil mensintesis pasir besi yang berada di Purwokerto untuk di jadikan zat warna hitam dari oksida besi (Fe_3O_4) dengan menambahkan natrium hidroksida (NaOH) dan ammonium hidroksia (NH_4OH), zat warna merah dari oksida besi (Fe_2O_3) dengan menambahkan asam sulfat (H_2SO_4), dan zat warna kuning dari zat warna merah yang ditambahkan dengan asam klorida (HCl). Diperlukan pengembangan lebih lanjut mengenai penelitian tersebut, yaitu salah satunya dengan sintesis pigmen biru berbahan dasar pasir besi sehingga semua warna dasar dapat tersediakan (Wahyuni et al., 2013).

Prussian Blue juga disebut ferri ferrosianida, memiliki sejarah panjang dari abad ke-18. Untuk waktu yang lama, *Prussian Blue* telah digunakan di berbagai daerah, karena stabil dalam cahaya. Bahan ini dapat digunakan dalam industri pelapis yaitu sebagai campuran dalam pernis baking, pewarna tinta dan aditif deterjen. *Prussian Blue* juga banyak digunakan sebagai katalis dalam beberapa reaksi kimia, atau dapat membantu penyimpanan hidrogen dan fotokimia, bahkan dapat menjadi sensor kimia, pemantauan biosensor dan kedokteran klinis.

Prussian Blue ini terkenal dalam elektrokimia, fotokimia, sifat magnetik, dan aplikasi analitis potensial (Chiang, 2019).

Metode kopresipitasi dan metode hidrotermal merupakan metode yang biasa digunakan dalam menyintesis zat warna. Umumnya *Prussian Blue* disintesis menggunakan metode kopresipitasi. Metode ini memiliki berbagai keunggulan seperti proses persiapan sederhana, membutuhkan energi yang rendah, dan produk fase murni yang mudah didapat. Teknologi inti persiapan *Prussian Blue* dengan metode kopresipitasi adalah kontrol kondisi konsentrasi ligan (Chiang, 2019).

Metode kopresipitasi merupakan salah satu metode sintesis nanopartikel berdasarkan pengendapan zat yang diinginkan (Keenan, 1992). Pada penelitian ini dipilih metode kopresipitasi dikarenakan prosesnya menggunakan suhu rendah dan mudah untuk mengontrol ukuran partikel sehingga waktu yang dibutuhkan relatif lebih singkat (Fernandez, 2011). Kopresipitasi adalah pengendapan ikatan, proses dimana suatu zat yang biasanya dapat larut, ikut tersangkut dan mengendap selama proses pengendapan zat yang diinginkan (Wahyuni et al., 2013). Berdasarkan uraian diatas, maka penulis mempelajari kondisi reaksi sintesis zat warna *Prussian Blue* menggunakan bahan pasir besi dengan metode kopresipitasi. Oleh sebab itu, maka penelitian ini diberi judul **“Sintesis Zat Warna *Prussian Blue* ($\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$) Berbahan Pasir Besi Alam”**.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka identifikasi masalah pada penelitian ini adalah :

1. Pasir besi dapat digunakan sebagai bahan dasar dalam sintesis zat warna *Prussian Blue*.
2. Ada beberapa metode yang digunakan dalam sintesis zat warna *Prussian Blue*.

3. Ada beberapa variasi yang mempengaruhi kualitas zat warna *Prussian Blue* dari pasir besi seperti suhu, konsentrasi ligan, waktu, dan oksida besi yang digunakan.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Pasir besi yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir besi Sijunjung.
2. Metode yang digunakan dalam sintesis zat warna *Prussian Blue* adalah metode kopresipitasi.
3. Variabel yang diteliti adalah massa kalium ferrosianida $K_4Fe(CN)_6$.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh massa kalium ferrosianida $K_4Fe(CN)_6$ terhadap warna *Prussian Blue* yang dihasilkan?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini adalah :

1. Menentukan pengaruh massa kalium ferrosianida $K_4Fe(CN)_6$ terhadap warna *Prussian Blue*.

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menambah ilmu pengetahuan dan informasi mengenai cara mensintesis zat warna *Prussian Blue*, dan dapat meningkatkan nilai ekonomi yang lebih tinggi dari pasir besi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Pasir Besi

Pasir besi merupakan sumber daya alam yang banyak dijumpai di Indonesia. Pasir besi tersebar diberbagai pantai seperti : barat Sumatera, selatan Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Nusa Tenggara dan Kepulauan Maluku. Pasir besi juga banyak ditemukan didaerah sungai. Dalam pasir besi terdapat kandungan mineral magnetik seperti magnetit (Fe_3O_4), hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) (Nengsi, 2016).

Tabel 1. Komposisi Kimia dari Pasir Besi Sijunjung

Oksida	Kandungan
MgO	1.886
Al_2O_3	6.406
SiO_2	8.058
P_2O_5	1.460
K_2O	0.022
CaO	0.305
TiO_2	9.49
V_2O_5	0.442
Cr_2O_3	0.098
MnO	0.230
FeOFe_2O_3	69.813

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa batuan besi dari daerah Sijunjung yang telah dilakukan penelitian oleh (Aini.S, 2019) setelah berhasil dihaluskan dan dipisahkan oleh magnet memiliki komposisi kimia yang banyak dengan besi oksida atau logam besi, yaitu 76,365%. Pasir besi Sijunjung memiliki warna hitam yang sama dengan komersial magnetik Fe_3O_4 dan memiliki kerentanan magnetik tertinggi. Pasir besi adalah pasir dengan persentase Fe dalam bentuk mineral magnetit (Fe_3O_4), hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), maghemite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), dan

unsur-unsur pengotor yang tinggi dalam bentuk Ti, Si, Mn, Mg, Ca dan V dengan warna abu-abu kehitaman(Aini.S, 2019). Pasir besi memiliki sifat fisik berupa serbuk atau pasir berwarna hitam, semakin hitam warna dari pasir besi maka semakin bagus kualitas dari pasir besi tersebut. Massa jenis pasir besi adalah $7,86 \text{ g/cm}^3$, titik lebur pada $1538 \text{ }^\circ\text{C}$ dan meleleh pada suhu $2861 \text{ }^\circ\text{C}$. Kalor peleburan dari pasir besi adalah $13,81 \text{ kJ/mol}$, kalor penguapannya 340 kJ/mol dan kapasitas kalornya ($25 \text{ }^\circ\text{C}$) $25,10 \text{ J/(mol.K)}$.



Gambar 1. Pasir Besi Sijunjung

Pasir besi memiliki kandungan mineral magnetik seperti magnetit (Fe_3O_4), hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), dan maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Mineral-mineral tersebut yang dapat dikembangkan untuk bahan industri, antara lain magnetit digunakan untuk bahan dasar tinta kering (*toner*) dan printer laser, maghemit adalah bahan utama untuk pita kaset. Mineral tersebut dapat diaplikasikan sebagai pewarna serta campuran (*filter*) untuk cat bahan dasar industri magnet permanen (Yulianto, 2003). Mineral magnetik seperti hematit dan maghemit banyak digunakan dalam bidang industri. Hematit yang warnanya merah sering digunakan sebagai zat warna. Maghemit memiliki ciri warnanya yang kecoklatan dan banyak digunakan sebagai media penyimpan rekaman dan data (Salomo et al., 2018).

Menurut (Syukriani, 2017) proses pemurnian Fe_2O_3 dari pasir besi dengan cara sebagai berikut : pasir besi dicuci dengan aquades sebanyak 5 kali untuk menghilangkan pengotor, setelah dicuci pasir besi dikeringkan di udara terbuka selama 24 jam, kemudian pasir besi ditarik dengan magnet permanen untuk memisahkan mineral magnetik dengan mineral non-magnetik, selanjutnya magnetit di ayak dengan ayakan 100 mesh karena mineral magnetik dengan ukuran dibawah 100 mesh memiliki sifat magnetik yang lebih kuat. Serbuk magnetit (Fe_3O_4) yang diperoleh pada langkah sebelumnya diambil sebanyak 200 g lalu dioksidasi menggunakan furnace dengan temperatur $700\text{ }^\circ\text{C}$ ditahan selama 3 jam. Hal ini dilakukan untuk mengoksidasi magnetit (Fe_3O_4) menjadi hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$).

Berdasarkan klasifikasinya zat warna besi oksida dapat dikategori kedalam *black pigment* (magnetit), *colored pigment* (goethit dan maghemit), dan *metal effect pigment* (hematit). Zat warna yang berbasis magnetit akan menghasilkan warna hitam, berbasis hematit akan menghasilkan warna merah dan berbasis maghemit akan menghasilkan warna coklat (Saputra, 2017). Atma K, 2013 mensintesis pasir besi Fe_3O_4 menjadi zat warna hitam dengan menambahkan natrium hidroksida (NaOH) dan ammonium hidroksia (NH_4OH), oksida besi Fe_2O_3 menjadi zat warna merah dengan menambahkan asam sulfat (H_2SO_4), dan zat warna merah yang ditambahkan dengan asam klorida (HCl) untuk menghasilkan zat warna kuning. Karakteristik warna akhir masing-masing dari zat warna berbeda-beda bergantung pada penambahan ion kromofor (biasanya logam transisi) dalam ikatan spinelnya (Saputra, 2017), seperti *Prussian Blue* dihasilkan dari reaksi antara larutan FeCl_3 dengan larutan $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Larutan FeCl_3

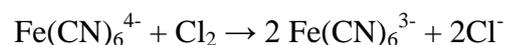
dihasilkan dari pasir besi dengan terlebih dahulu mensintesis Fe_3O_4 dengan metode kopresipitasi kemudian disintering dengan temperatur 700°C dengan waktu penahanan 2 jam sehingga dihasilkan Fe_2O_3 . FeCl_3 diperoleh dengan mereaksikan Fe_2O_3 dengan HCl (Wahyuni et al., 2013). Pasir besi Sijunjuang yang dilarutkan dalam HCl pekat akan menghasilkan larutan FeCl_3 berwarna coklat kehijauan, dengan komponen tidak larut yang tersisa dalam bentuk asam SiO_2 dan CaO sebanyak 18% (Aini.S, 2019).

Besi (III) klorida merupakan katalis yang sering digunakan dalam industri kimia, dengan rumus kimia FeCl_3 . Senyawa ini merupakan senyawa yang umum digunakan dalam pengolahan limbah, produksi air minum maupun katalis. Besi (III) klorida memiliki sifat-sifat fisika diantaranya berat molekul 162,2 g/mol, titik lebur yang rendah dan mendidih pada suhu 315°C . Besi (III) klorida bersifat berbuih diudara lembab karena munculnya HCl yang terhidrolisis membentuk kabut. FeCl_3 mengalami hidrolisis jika dilarutkan dalam air yang merupakan reaksi eksotermis.

Jika kalium sianida ditambahkan pada larutan garam besi (II), maka akan terbentuk kalium ferrosianida $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$.



Jika ion $\text{Fe}_3(\text{CN})_6^{4-}$ dioksidasi oleh khlorin, maka akan terbentuk ion $\text{Fe}(\text{CN})_6$ ion ferrisianida.



Ion besi (II) bereaksi dengan ion $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ akan membentuk endapan putih $[\text{FeFe}(\text{CN})_6]^{2-}$. Ion besi (III) bereaksi dengan ion $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ akan membentuk endapan biru $[\text{FeFe}(\text{CN})_6]^-$ biasa disebut *Prussian Blue*. Ion besi (II) bereaksi

dengan ion $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ membentuk endapan biru $[\text{FeFe}(\text{CN})_6]^-$, biasa disebut *Turnbull Blue*. Ion besi (III) bereaksi dengan ion $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ membentuk endapan coklat kehijauan (Suharmiati, 1985).

B. Kompleks *Prussian Blue*

Prussian Blue yang juga disebut ferric ferrocyanide, memiliki sejarah panjang dari abad ke-18. Selama ini telah digunakan di banyak daerah, karena stabil dalam cahaya. Bahan ini dapat digunakan dalam produksi industri pelapis seperti campuran dalam pernis baking, pewarna tinta dan aditif deterjen. Ini juga banyak digunakan sebagai semacam katalis dalam beberapa reaksi kimia, atau dapat membantu penyimpanan hidrogen dan fotokimia, bahkan dapat menjadi sensor kimia, pemantauan biosensor dan kedokteran klinis. Ini terkenal dalam, elektrokimia, fotokimia, sifat magnetik, dan aplikasi analitis potensial (Chiang, 2019).

Di antara berbagai senyawa anorganik, *Prussian Blue* muncul sebagai salah satu senyawa paling bermanfaat dan menjanjikan di bidang industri, perangkat nanomagnetik, elektrokimia, dan optik. Formula umum *Prussian Blue* adalah $A_n[\text{B}(\text{CN})_6]_m \cdot x\text{H}_2\text{O}$, di mana A dan B adalah logam transisi. Sifat magnetik, seperti magnetisasi saturasi, suhu transisi, medan koersif dll. Dari *Prussian Blue* ini dapat dimanipulasi dengan mengubah konsentrasi ion magnetik atau dengan mengubah ion magnetik oleh ion magnetik lain (Rohilla et al., 2010).

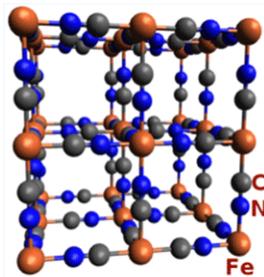
Prussian Blue memiliki sifat magnetik yang menarik untuk dikaji jika dilihat dari interaksi magnetik antara ion-ionnya. *Prussian Blue* memiliki pusat logam Fe(II) yang bersifat diamagnetik. Logam Fe(II) berhubungan dengan logam Fe(III) melalui ligan sianida. Fe(III) memiliki sifat feromagnetik. Antar logam

Fe(III) memiliki jarak 10,28 Å. Hal ini mengakibatkan *exchange coupling* sangat lemah. Hal ini mendorong para ilmuwan untuk membuat *Prussian Blue* analog, yaitu dengan mengganti logam Fe(II) maupun Fe(III) dengan tujuan dapat mengurangi jarak antar logam yang bersifat paramagnetik (Bilalodin et al., 2015).



Gambar 2. *Prussian Blue* (<http://youtu.be/BtnCynfmBnc>)

Prussian Blue digambarkan sebagai zat warna biru tua yang dihasilkan ketika oksidasi garam ferrosianida terjadi. *Prussian Blue* mengandung besi hexacyanoferrate (II) dalam struktur kristal kisi kubik.



Gambar 3 Struktur kisi *prussian blue*

Zat warna *Prussian Blue* mudah diperoleh sebagai endapan yang tidak larut dalam hasil kuantitatif dari campuran berair (Fe^{3+} dan $[\text{Fe}_2(\text{CN})_6]^{4-}$) dan (Fe^{2+} dan $[\text{Fe}_3(\text{CN})_6]^{3-}$). Ketidaklarutan dalam pelarut umum adalah suatu kekurangan yang mencolok sehingga manipulasi langsung dari zat warna untuk perangkat elektronik fungsional telah dihentikan. Diperlukan metode untuk menyebarkan *Prussian Blue* ke dalam pelarut sebagai nanopartikel, menciptakan tinta

nanopartikel, untuk pengembangan perangkat berbasis *Prussian Blue* baru yang dapat dirancang dengan pola halus atau film menggunakan teknik pencetakan canggih, misalnya, pencetakan ink-jet (Gotoh et al., 2007).

Prussian Blue adalah salah satu senyawa koordinasi yang paling banyak dipelajari, itu adalah pertanyaan lama mengapa zat warna *Prussian Blue* tidak larut dalam pelarut yang paling umum. Baru-baru ini, telah dipahami bahwa apa yang disebut '*Prussian Blue* tidak larut', $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, adalah padatan curah, dan nanosains juga telah menghadirkan bidang baru yang terkait dengan sintesis *Prussian Blue* dan nanopartikel *Prussian Blue Analog* selama tujuh tahun terakhir (Gotoh et al., 2007).

Dalam konteks istilah *Prussian Blue* "larut" tidak mengacu pada kelarutan yang sebenarnya tetapi hanya untuk kecenderungan sampel *Prussian Blue* tertentu untuk membentuk larutan koloid. Perbedaan ini terkait dengan ada atau tidaknya kalium, untuk $\text{KFeFe}(\text{CN})_6$ mewakili "Larut" dan $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ mewakili "tidak larut" (Buser et al., 1977).

Prussian Blue merupakan bubuk yang berwarna biru tua atau biru gelap. *Prussian Blue* tidak dapat larut dalam air, tetapi memungkinkan untuk membuat larutan koloid. Garam ganda dengan kalium menghasilkan larutan koloid dengan mudah, oleh karena itu dikenal sebagai *Prussian Blue* "tidak larut", meskipun tidak benar-benar larut. *Prussian Blue* relatif pada kondisi dibawah normal, jika dipanaskan pada suhu 200°C akan terurai dan mengeluarkan gas sianogen (berbahaya). Pemanasan yang lebih tinggi menyebabkan sianida itu sendiri rusak, nitrogen dibebaskan, meninggalkan besi karbida dan karbon didalam tabung reaksi. Dalam kondisi yang sangat basa, *Prussian Blue* terurai menjadi ferrosianida

dan besi (III) hidroksida, dan suspensi kehilangan karakteristik warna biru menjadi coklat.

Zat warna *Prussian Blue* dapat disintesis dengan beberapa metode diantaranya :

1. Metode Kopresipitasi

Metode kopresipitasi merupakan salah satu metode dalam sintesis zat warna anorganik yang berdasarkan pada pengendapan lebih dari satu substansi secara bersama-sama ketika telah melewati titik jenuhnya. Kebanyakan orang menggunakan metode kopresipitasi untuk mensintesis warna *Prussian Blue*, karena metode ini memiliki berbagai keunggulan seperti proses persiapan sederhana, memerlukan energi yang rendah, dan produk murni yang mudah didapat (Chiang, 2019). Metode kopresipitasi merupakan metode yang efisien dan sederhana karena prosesnya menggunakan suhu rendah dan dapat mengontrol ukuran partikel yang didapatkan sehingga waktu yang dibutuhkan relatif singkat (Saputra, 2017).

Metode kopresipitasi merupakan metode sintesis *bottom up* yang digunakan untuk mendapatkan ukuran partikel kecil berukuran nanometer (nm). Metode ini memiliki prinsip yaitu melepas ikatan kontinyu yang dimiliki oleh suatu senyawa logam dalam bentuk cairan tanpa mempertimbangkan mekanisme spesifik yang terjadi. Dengan menggunakan metode kopresipitasi, didapatkan material berbentuk padatan (solid) dari presipitatnya yang berbentuk cairan (aqueous). Sehingga, metode ini sangat sesuai diterapkan pada proses sintesis untuk mendapatkan material-material jenis logam seperti seng (Zn), titanium (Ti) dan besi (Fe) (Ningtyas, 2010).

Pada kopresipitasi, material-material dasar diendapkan bersama secara stoikiometri dengan reaktan tertentu. Metode yang dilakukan adalah dengan tahap pelarutan dengan aquades, pengeringan dan pencucian. Kopresipitasi termasuk rekristalisasi dimana ada tujuh metode dalam rekristalisasi yaitu: memilih pelarut, melarutkan zat pelarut, menghilangkan warna larutan, memindahkan zat padat, mengkristalkan larutan, mengumpul dan mencuci kristal, dan mengeringkan produknya (hasil) (Khairiah, 2011).

Chen R, (2016) menyatakan ada beberapa faktor yang mempengaruhi morfologi kristal *Prussian Blue* termasuk konsentrasi larutan stok, jenis precipitator, suhu reaksi, waktu aging dan nilai pH. Meskipun memiliki keunggulan seperti itu, masih ada dua kekurangan dalam persiapan yaitu: waktu persiapan yang panjang, dan hasil yang sangat rendah. Oleh karena itu, dengan pengembangan studi, kita tahu bahwa perlu pada premis jaminan integritas morfologi kristal, juga memperhatikan mempersingkat waktu reaksi dan meningkatkan hasil (Chiang, 2019).

Metode kopresipitasi, prinsip kerja dari metode ini adalah dengan mengubah suatu garam logam menjadi endapan dengan menggunakan pengendap basa hidroksida atau karbonat, yang kemudian diubah ke bentuk oksidanya dengan cara pemanasan (Pinna, 1998).

2. Metode hidrotermal

Sintesis hidrotermal dan kopresipitasi memiliki banyak kesamaan. Metode ini membutuhkan waktu reaksi yang lebih singkat dan distribusi partikel yang seragam. Tetapi itu juga memiliki kekurangan yang jelas: pada sintesis hidrotermal tidak dapat memonitor reaksi ini secara langsung karena ia memiliki

sistem tertutup. Sintesis ini juga membutuhkan suhu tinggi dan kondisi tekanan tinggi selama reaksi sehingga kita membutuhkan peralatan yang kuat. Proses ini cocok untuk produksi industri tetapi tidak di laboratorium (Chiang, 2019).

Faktor utama yang diperhatikan dalam metode hidrotermal adalah lingkungan kimia yang sesuai dengan material yang diproses. Proses ini memakan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan metode deposisi atau proses lainnya, namun tingkat kristalinitas yang dihasilkan serta kontrol terhadap ukuran dan bentuk partikel dari hidrotermal memiliki poin yang lebih bagus. Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan, variabel-variabel yang perlu diperhatikan diantaranya: temperatur, tekanan, serta potensial kimia selama proses (Yoshimura, 2008).

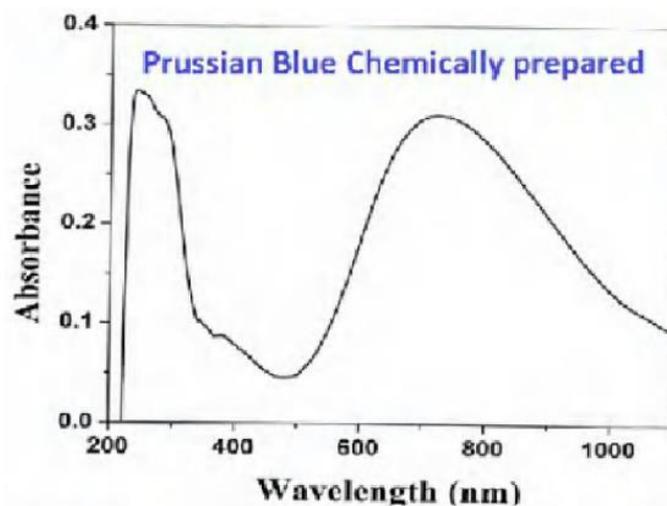
C. Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis adalah teknik analisis spektrometer yang memakai sumber radiasi elektromagnetik ultraviolet dekat (190 nm – 380 nm) dan sinar tampak (380 nm – 780 nm) dengan menggunakan instrumen spektrometer. Metode spektrofotometri UV-Vis adalah salah satu metode analisis kimia untuk menentukan unsur logam, baik secara kualitatif maupun secara kuantitatif (Bruno, 2019).

Spektrofotometri merupakan salah satu metode dalam kimia analisis yang digunakan untuk menentukan komposisi suatu sampel baik secara kuantitatif dan kualitatif yang didasarkan pada interaksi antara materi dengan cahaya. Peralatan yang digunakan dalam spektrofotometri disebut spektrofotometer. Cahaya yang dimaksud dapat berupa cahaya visibel, UV dan inframerah, sedangkan materi

dapat berupa atom dan molekul namun yang lebih berperan adalah elektron valensi (Hidayati, 2010).

Spektrofotometri merupakan metode analisis yang didasarkan pada besarnya nilai absorpsi suatu zat terhadap radiasi sinar elektromagnetik. Prinsip kerja spektrometer berdasarkan hukum Lambert-Beer, bila cahaya monokromatik melalui suatu media (larutan) maka sebagian cahaya tersebut diserap, sebagian dipantulkan, dan sebagian lagi dipancarkan. Absorban adalah suatu polarisasi cahaya yang terserap oleh bahan atau komponen kimia tertentu pada panjang gelombang tertentu sehingga akan memberikan warna tertentu terhadap bahan. Sinar yang dimaksud bersifat monokromatis dan mempunyai panjang gelombang tertentu. Persyaratan hukum Lambert-Beer antara lain radiasi yang digunakan harus monokromatik, energi radiasi yang di absorpsi oleh sampel tidak menimbulkan reaksi kimia, dan sampel (larutan) yang mengabsorpsi harus homogen (Bruno, 2019).



Gambar 4. UV-Vis *Prussian Blue*

Spektrum sinar UV-Vis *Prussian Blue* (PB) yang dibuat dengan metode kimiawi (dengan mencampurkan larutan kalium ferrisianida dan besi sulfat dalam air) akan muncul pada 275 nm dan 750 nm (Rajendran & Rathish, 2016).

Warna biru pekat *Prussian Blue* dikaitkan dengan energi transfer elektron dari Fe (II) ke Fe (III). Banyak senyawa valensi campuran menyerap panjang gelombang tertentu dari cahaya tampak yang dihasilkan dari transfer muatan interval. Dalam hal ini, cahaya oranye-merah sekitar 680 nanometer dengan panjang gelombang diserap, dan cahaya yang dipantulkan tampak biru sebagai hasilnya. Warna *Prussian Blue* tidak dapat ditampilkan secara akurat pada layar komputer. *Prussian Blue* bersifat elektrokromik, berubah dari biru menjadi tidak berwarna setelah reduksi. Perubahan ini disebabkan oleh reduksi Fe (III) menjadi Fe (II), menghilangkan transfer muatan interval yang menyebabkan warna *Prussian Blue* (Ware, 2008).

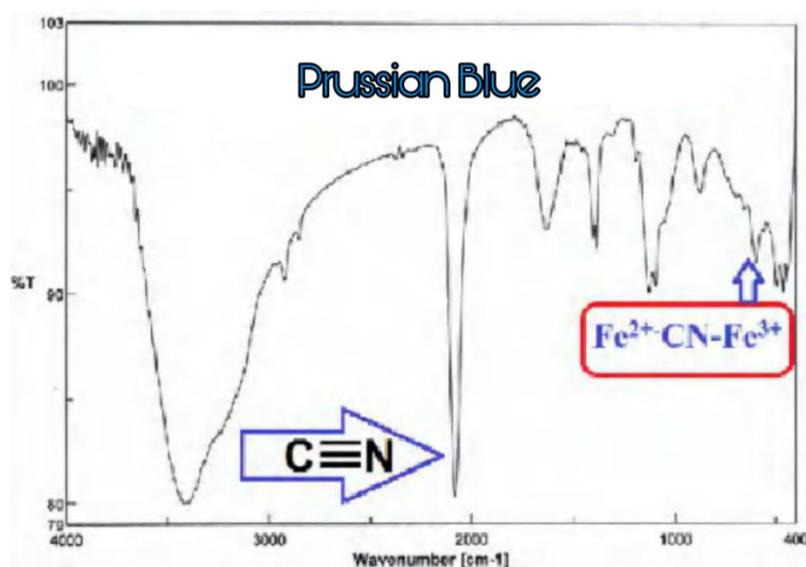
Prussian Blue bersifat mudah dibuat, murah, tidak beracun, dan diwarnai secara intens, maka dapat diaplikasikan dalam banyak bidang (Berrie, 1997).

D. Fourier-transform infrared (FTIR)

Spektroskopi FTIR merupakan suatu metode analisis yang dipakai untuk karakterisasi bahan polimer dan analisis gugus fungsi. Dengan cara menentukan dan merekam hasil spektra residu dengan serapan energi oleh molekul organik dalam sinar infra merah. Dengan infra merah didefinisikan sebagai daerah yang memiliki panjang gelombang dari $1-500 \text{ cm}^{-1}$. Setiap gugus dalam molekul umumnya mempunyai karakteristik sendiri sehingga spektroskopi FTIR dapat digunakan untuk mendeteksi gugus yang spesifik pada polimer. Intensitas pita serapan merupakan ukuran konsentrasi gugus yang khas yang dimiliki oleh polimer. Metode ini didasarkan pada interaksi antara radiasi infra merah dengan materi (interaksi atom atau molekul dengan radiasi elektromagnetik). Interaksi ini berupa absorpsi pada frekuensi atau panjang gelombang tertentu yang

berhubungan dengan energi transisi antara berbagai keadaan energi vibrasi, rotasi dan molekul. Radiasi infra merah yang penting dalam penentuan struktur atau analisis gugus fungsi terletak pada $650\text{ cm}^{-1} - 4000\text{ cm}^{-1}$.

Prinsip kerja dari FTIR ini yaitu apabila suatu senyawa kompleks ditembak oleh suatu energi yang berasal dari sumber sinar maka molekul tersebut akan mengalami vibrasi. Vibrasi ini terjadi karena energi yang berasal dari sumber sinar yaitu sinar infrareddidak cukup kuat untuk menyebabkan terjadinya atomisasi ataupun eksitasi elektron pada molekul senyawa yang ditembak dimana besarnya energi vibrasi tiap atom atau molekul berbeda tergantung pada atom-atom dan kekuatan ikatan yang menghubungkannya sehingga dihasilkan frekuensi yang berbeda-beda (Haseth, 2007).



Gambar 5. FTIR *Prussian Blue*

Spektrum FTIR dari *Prussian Blue* yang disiapkan secara kimia ditunjukkan pada gambar 5, dimana terdapatnya puncak $\text{C}\equiv\text{N}$ dan puncak $\text{Fe}^{2+}\text{-CN-Fe}^{3+}$ yang menegaskan pembentukan *Prussian Blue* (Rajendran & Rathish, 2016).

Spektroskopi infra merah merupakan suatu metode untuk mengamati interaksi suatu molekul dengan radiasi elektromagnetik pada daerah panjang

gelombang 0,75-1000 mikrometer atau pada bilangan gelombang 10-13000 cm^{-1} . Dalam spektroskopi inframerah, radiasi inframerah dilewatkan melalui suatu sampel. beberapa radiasi inframerah diserap oleh sampel dan yang lainnya ditransmisikan.

Penyerapan gelombang elektromagnetik pada daerah inframerah menyebabkan adanya vibrasi pada gugus fungsi tertentu. Vibrasi suatu gugus fungsi spesifik pada bilangan gelombang tertentu. Oleh karena itu, spektroskopi IR dapat digunakan untuk identifikasi suatu gugus fungsi (Sastrohamidjojo, 1991).

Spektroskopi inframerah merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk membedakan konfigurasi maupun konformasi molekul organik dan juga molekul kompleks yang mengandung ligan senyawa organik (Foulds, 1978). Serapan yang terjadi di daerah 3500-200 cm^{-1} terutama disebabkan oleh vibrasi yang mungkin terjadi ligan koordinasi. Banyak informasi berharga tentang struktur dan ikatan dari penafsiran spektrum inframerah yaitu vibrasi logam-ligan terjadi antara 400-200 cm^{-1} . Dari spektrum inframerah akan diperoleh informasi tentang pergeseran frekuensi getaran yang diakibatkan oleh kompleksasi ligan, dan ada tidaknya pita-pita inframerah tertentu sering digunakan untuk mengetahui informasi struktural suatu senyawa (Day & Selbin, 1985).

Spektrum inframerah senyawa kompleks sudah banyak dipelajari. Banyak peneliti menganalisis puncak-puncak tertentu pada spektrum inframerah yang diduga berasal dari ikatan koordinasi ion pusat dengan ligan. Beberapa referensi menyatakan bahwa puncak 400 - 200 cm^{-1} berasal dari ikatan koordinasi baik murni maupun bergabung dengan puncak ligan. Puncak serapan dari ikatan

koordinasi ini mempunyai hubungan dengan kekuatan ikatan koordinasi sehingga diduga besar mempunyai hubungan dengan kestabilan termodinamika senyawa kompleks.

BAB V PENUTUP

A. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa dalam sintesis *Prussian Blue* massa kalium ferrosianida $K_4Fe(CN)_6$ berpengaruh terhadap warna *Prussian Blue* yang dihasilkan, semakin banyak massa kalium ferrosianida $K_4Fe(CN)_6$ yang digunakan maka semakin cerah warna biru yang dihasilkan dan mendekati warna standar. Pengotor yang dihasilkan juga semakin sedikit. Zat yang dihasilkan pada penelitian kurang murni karena kesalahan perbandingan zat yang digunakan.

B. SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka disarankan untuk peneliti selanjutnya melakukan penelitian mengenai zat warna *Prussian Blue* sebaiknya menggunakan $FeCl_3$ dan $K_4Fe(CN)_6$ dengan perbandingan 4:3, dan variasi massa Kalium ferrosianida ($K_4Fe(CN)_6$) sebanyak 21 gram, agar dihasilkan warna *Prussian Blue* standar.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, S (2019). The Characterization of West Sumatera Iron Sand as a Raw Material to Synthesize Magnetic Nanoparticles. Padang : UNP.
- Abderrazak, H., Dachraoui, M., & Lendl, B. (2000). A novel flow injection procedure for determination of phosphate in industrial raw phosphoric acid. *Analyst*, 125(6), 1211–1213. <https://doi.org/10.1039/b001208o>
- Bilalodin, Irayani, Z., Sehad, & Sugito. (2015). *Sintesis dan Karakterisasi pigmen Warna Hitam, Merah dan Kuning Berbahan Dasar Pasir Besi*. 10(2), 129–134.
- Bruno, L. (2019). Studi Penggunaan UV-VIS Spectroscopy. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Buser, H. J., Ludi, A., Schwarzenbach, D., & Petter, W. (1977). The Crystal Structure of Prussian Blue: $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$. *Inorganic Chemistry*, 16(11), 2704–2710. <https://doi.org/10.1021/ic50177a008>
- Chiang, Y. H. (2019). Research and Application of Prussian Blue in Modern Science. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 384(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/384/1/012005>
- Farah, A. M., Billing, C., Dikio, C. W., Dibofori-Orji, A. N., Oyedeji, O. O., Wankasi, D., Mtunzi, F. M., & Dikio, E. D. (2013). Synthesis of prussian blue and its electrochemical detection of hydrogen peroxide based on cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) modified glassy carbon electrode. *International Journal of Electrochemical Science*, 8(11), 12132–12146.
- Gotoh, A., Uchida, H., & Ishizaki, M. (2007). Simple synthesis of three primary colour nanoparticle inks of Prussian blue and its analogues. *Nanotechnology*, 18(34). <https://doi.org/10.1088/0957-4484/18/34/345609>
- Haseth, J. A. De. (2007). *Quantitative analysis 9.1*. 197–224.
- Nengsi, S. W. (2016). Karakterisasi Struktur Kristal dan Sifat Magnetik Maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) yang Dioksidasi dari Magnetit (Fe_3O_4) dari Pasir Besi Batang Sukam Kabupaten Sijunjung Sumatera Barat dengan Variasi Waktu Oksidasi. *Jurnal Fisika Unand*, 5(3), 248–251. <https://doi.org/10.25077/jfu.5.3.248-251.2016>
- Rajendran, S., & Rathish, J. (2016). Green Electrochemistry - A Versatile Tool in Green Synthesis: an Overview. *Portugaliae Electrochimica Acta*, 34(5), 321–342. <https://doi.org/10.4152/pea.201605321>