

**Pengaruh Mol $K_3Fe(CN)_6$ dan Molaritas $FeSO_4$
untuk Sintesis Pigmen *Prussian Blue* Berbahan
Pasir Besi Muara Pantai Sunur Pariaman**



NAFIS SUDIRMAN

17036081 / 2017

JURUSAN KIMIA

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM**

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2021

**Pengaruh Mol $K_3Fe(CN)_6$ dan Molaritas $FeSO_4$
untuk Sintesis Pigmen *Prussian Blue* Berbahan
Pasir Besi Muara Pantai Sunur Pariaman**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Sarjana Sains



Oleh:

NAFIS SUDIRMAN

17036081 / 2017

PROGRAM STUDI KIMIA

JURUSAN KIMIA

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM**

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2021

PERSETUJUAN SKRIPSI

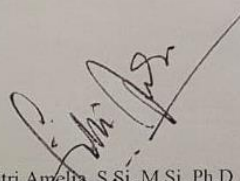
Pengaruh Mol $K_3Fe(CN)_6$ dan Molaritas $FeSO_4$ untuk Sintesis Pigmen *Prussian Blue* Berbahan Pasir Besi Muara Pantai Sunur Pariaman

Nama : Nafis Sudirman
NIM : 17036081
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

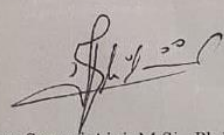
Padang, September 2021

Mengetahui:
Ketua Jurusan Kimia

Disetujui Oleh:
Pembimbing



Fitri Amelia, S.Si, M.Si, Ph.D
NIP. 19800810200912 2 002



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

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis saya, tugas akhir berupa skripsi dengan judul “Pengaruh Mol $K_3Fe(CN)_6$ dan Molaritas $FeSO_4$ untuk Sintesis Pigmen *Prussian Blue* Berbahan Pasir Besi Muara Pantai Sunur Pariaman”, adalah asli karya sendiri.
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya, tanpa bantuan pihak lain, kecuali pembimbing.
3. Di dalam karya tulis ini, tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan di dalam naskah dengan menyebutkan pengarang dan dicantumkan pada kepustakaan.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila terdapat penyimpangan di dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, September 2021
Pembuat pernyataan



Nafis Sudirman
NIM. 17036081

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Nafis Sudirman
NIM : 17036081
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**Pengaruh Mol $K_3Fe(CN)_6$ dan Molaritas $FeSO_4$ untuk Sintesis
Pigmen *Prussian Blue* Berbahan Pasir Besi Muara Pantai Sunur
Pariaman**

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

Padang, 27 Agustus 2021

Tim Penguji

Tanda tangan

Nama
Ketua : Dra. Syamsi Aini, M.Si., Ph.D
Anggota 1 : Miftahul Khair, S.Si., M.Sc., Ph.D
Anggota 2 : Dr. Hardeli, M.Si



Pengaruh Mol $K_3Fe(CN)_6$ dan Molaritas $FeSO_4$ untuk Sintesis Pigmen *Prussian Blue* Berbahan Pasir Besi Muara Pantai Sunur Pariaman

Nafis Sudirman

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan pengaruh mol $K_3Fe(CN)_6$ dan pengaruh molaritas Besi(II) sulfat ($FeSO_4$) terhadap warna pigmen *Prussian Blue*, hingga didapatkan kondisi optimum sintesis. Metode kopresipitasi dan setrifugasi digunakan untuk memisahkan pigmen dari pelarutnya. Besi(II,III) oksida (Fe_3O_4) direaksikan dengan Asam sulfat (H_2SO_4) 96% untuk mendapatkan larutan ion Fe^{2+} yang berikutnya direaksikan dengan $K_3Fe(CN)_6$ untuk menghasilkan endapan pigmen Biru prusia. Pada penelitian ini, divariasikan jumlah mol $K_3Fe(CN)_6$, produk yang dihasilkan selanjutnya disebut sebagai M1, M2 dan M3) dan variasi molaritas $FeSO_4$ sejumlah 0,005 M, 0,0025 M dan 0,00125 M, produk yang dihasilkan selanjutnya disebut sebagai K1, K2, K3. Pigmen yang dihasilkan diuji dengan spektrofotometer *UV-Visible*.

Setelah dilakukan karakterisasi menggunakan spektrofotometer *UV-Visible*, tampak bahwa produk M2 memiliki panjang gelombang absorbansi maksimum pada 747 nm, yang mana panjang gelombang absorbansi tersebut sudah mendekati panjang gelombang absorbansi standar pigmen *Prussian Blue*, yaitu pada interval panjang gelombang 680-740 nm, dan nilai absorbansinya juga tinggi. Percobaan variasi $K_3Fe(CN)_6$ dilakukan ulang, dengan kondisi reaksi yang mirip dan rentang waktu yang relatif singkat untuk menghindari kerusakan reaktan. Produk dengan pereaksi $K_3Fe(CN)_6$ berlebih memperlihatkan absorbansi pada interval 680-710 nm, yang mana sudah sangat sesuai dengan panjang gelombang absorbansi standar Pigmen *Prussian Blue*. Pada percobaan variasi ke-2 yaitu variasi molaritas Besi(II) sulfat ($FeSO_4$), terlihat bahwa molaritas $FeSO_4$ mempengaruhi warna *Prussian Blue* yang dihasilkan. Warna paling cerah/optimum dengan puncak spektra *UV-Visible* yang mendekati standar didapat pada molaritas $FeSO_4$ 11,85 mM.

Kata kunci: Pasir besi, *Prussian blue*, Kalium ferisianida, Zat warna, Kromofor.

Effect of Mole $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ and Molarity of FeSO_4 for Synthesis of Prussian Blue Pigment Made from Iron Sand at Sunur Pariaman Beach Estuary

Nafis Sudirman

ABSTRACT

This research was conducted to determine the effect of moles of $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ and the effect of molarity of Iron(II) sulfate (FeSO_4) on the color of the Prussian Blue pigment, to obtain the optimum synthesis conditions. Coprecipitation and centrifugation methods were used to separate the pigment from the solvent. Iron(II,III) oxide (Fe_3O_4) was reacted with 96% sulfuric acid (H_2SO_4) to obtain a solution of Fe^{2+} ions which was then reacted with $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ to produce a precipitate of Prussian blue pigment. In this study, the number of moles of $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ was varied, the resulting products were hereinafter referred to as M1, M2 and M3) and the molarity variation of FeSO_4 was 0.005 M, 0.0025 M and 0.00125 M, the resulting product was hereinafter referred to as K1, K2, K3. The resulting pigment was tested with a UV-Visible spectrophotometer.

After characterization using a UV-Visible spectrophotometer, it appears that the M2 product has a maximum absorbance wavelength at 747 nm, where the absorbance wavelength is close to the absorbance wavelength of the Prussian Blue pigment standard, which is at the wavelength interval of 680-740 nm, and the value is 680-740 nm. absorbance is also high. The $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ variation experiment was repeated, with similar reaction conditions and a relatively short time span to avoid damage to the reactants. The product with excess $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ reagent showed absorbance in the 680-710 nm interval, which was very much in accordance with the absorbance wavelength of the Prussian Blue Pigment standard. In the second variation experiment, namely the variation of the molarity of Iron(II) sulfate (FeSO_4), it is seen that the molarity of FeSO_4 affects the resulting Prussian Blue color. The brightest/optimum color with peak UV-Visible spectra that is close to the standard is obtained at 11.85 mM FeSO_4 molarity.

Keywords: Iron sand, Prussian blue, Potassium ferricyanide, Dyes, Chromophores.

Kata Pengantar

Alhamdulillahirabbil'alamin penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan judul “Pengaruh Mol $K_3Fe(CN)_6$ dan Molaritas $FeSO_4$ untuk Sintesis Pigmen *Prussian Blue* Berbahan Pasir Besi Muara Pantai Sunur Pariaman”. Skripsi ini diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih atas bimbingan, dorongan dan semangat kepada :

1. Kedua orangtua penulis yang telah memberikan dukungan dan doanya.
2. Ibu Dra. Syamsi Aini, M.Si., Ph.D sebagai pembimbing penelitian, dan sebagai pembimbing akademik.
3. Bapak Dr. Hardeli, M.Si yang telah memberikan kritik, masukan dan saran terhadap penyusunan Skripsi ini.
4. Bapak Miftahul Khair, S.Si., M.Sc., Ph.D yang telah memberikan kritik, masukan dan saran terhadap penyusunan Skripsi ini.
5. Bapak Budhi Oktavia, M.Si., Ph.D sebagai Ketua Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
6. Kepada semua pihak yang telah memberikan kritik, masukan dan saran terhadap penyusunan Skripsi ini.

Walaupun demikian, penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam Skripsi ini. Oleh karena itu, kami masih mengharapkan kritik, masukan dan saran dari berbagai pihak, guna kami jadikan sebagai bahan evaluasi kedepannya. Semoga Skripsi ini dapat memberikan manfaat.

Padang, 12 September 2021

Nafis Sudirman

Daftar Isi

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi.....	iv
Daftar Gambar.....	vi
Daftar Grafik	viii
Daftar Lampiran	x
Daftar Tabel	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	3
C. Batasan Masalah.....	4
D. Perumusan Masalah.....	4
E. Tujuan Penelitian	4
F. Manfaat Penelitian	4
BAB II KERANGKA TEORITIS.....	5
A. Pasir Besi	5
B. Kompleks Prussian Blue	8
1. Struktur, Sifat dan Penggunaan	8
2. Reaksi Sintesis Pigmen Biru Prusia.....	10
C. Teknik Sintesis Zat Warna <i>Prussian Blue</i>	11
1. Teknik Kopresipitasi.....	11
2. Teknik Hidrotermal.....	12
D. Instrumen Karakterisasi Fe_3O_4 yang digunakan Sebagai Bahan Baku Sintesis <i>Prussian Blue</i>	12
E. Spektrofotometer UV-Vis sebagai Instrumen Karakterisasi Warna Pigmen <i>Prussian Blue</i>	14
BAB III METODE PENELITIAN.....	16
A. Waktu dan Tempat Penelitian	16

B.	Objek Penelitian	16
C.	Variabel Penelitian	16
D.	Alat dan Bahan	16
1.	Alat.....	16
2.	Bahan	17
E.	Prosedur Kerja.....	17
1.	Sintesis FeSO_4	17
2.	Sintesis Prussian Blue	17
F.	Karakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis.....	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		19
A.	Sintesis FeSO_4 dari Pasir Besi.....	19
B.	Sintesis Pigmen <i>Prussian Blue</i> dengan Variasi jumlah mol $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 21	
C.	Karakterisasi UV-Vis Pigmen Biru Prusia.....	25
D.	Optimasi kondisi sintesis Pigmen <i>Prussian Blue</i> berdasarkan hasil UV- Vis variasi jumlah mol pereaksi $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$	31
E.	Variasi molaritas FeSO_4 dan pergeseran panjang gelombang absorbansi pigmen <i>Prussian Blue</i>	38
BAB V KESIMPULAN		42
DAFTAR PUSTAKA		43
LAMPIRAN		46
Lampiran 1. Skema Kerja Preparasi FeSO_4		46
Lampiran 2. Skema Kerja Preparasi Pigmen <i>Prussian Blue</i>		47
Lampiran 3. Dokumentasi Tambahan Penelitian		48
BIODATA PENULIS		50

Daftar Gambar

Gambar 1. Struktur Kisi Kristal Magnetit.....	6
Gambar 2. Pasir Besi Tampak secara Visual	6
Gambar 3. Struktur Besi (III) Klorida.....	8
Gambar 4. <i>Prussian Blue</i>	8
Gambar 5. Struktur Kisi Prussian Blue.....	9
Gambar 6. Struktur ion Ferisianida (kiri) dan Ferisianida (kanan).....	10
Gambar 7. Komponen Kristalografi sinar-X.....	13
Gambar 8. Spektrofotometri UV-Vis.....	15
Gambar 9. Hasil <i>UV-Visible Prussian Blue</i>	15
Gambar 10. Pasir besi yang tertarik magnet	19
Gambar 11. Pasir besi setelah dihaluskan.....	20
Gambar 12. Larutan FeCl_3 yang didapat (kiri) dan larutan FeCl_3 rujukan (kanan).....	20
Gambar 13. Larutan FeSO_4 yang didapat (kiri) dan larutan FeSO_4 rujukan (kanan).....	20
Gambar 14. Ferosulfat yang masih berpengotor pasir besi.....	21
Gambar 15. Proses penyaringan lumpur prekursor.....	22
Gambar 16. Lapisan atas sampel ke-3 diuji kualitatif keberadaan Ferosulfat yang terbukti tak tersisa, ditandai dengan tidak munculnya warna Pigmen Biru .	23
Gambar 17. Uji kualitatif sintesis pigmen	23
Gambar 18. Uji kuantitatif penentuan titik ekuivalen jumlah mol pereaksi $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$	23

Gambar 19. Penetesan larutan pereaksi $K_3Fe(CN)_6$ dengan buret sampel M2, sambil distirer.....	24
Gambar 20. Larutan 3 sampel menghasilkan pigmen Biru prusia.....	25
Gambar 21. Sampel yang akan dikarakterisasi	26
Gambar 22. Warna endapan pigmen setelah dicuci aquades dan dikeringkan pada desikator.....	31
Gambar 23. Penetesan 0,3 mL $K_3[Fe(CN)_6]$ 0,01 M (dibawah jumlah mol $K_3[Fe(CN)_6]$ ekivalen yang dibutuhkan) ke larutan $FeSO_4$ 1 mM, 150 mL, menghasilkan pigmen Prussian Blue	31
Gambar 24. Variasi molaritas $FeSO_4$	38
Gambar 25. Stirer dan Pemanasan prekursor Ferosulfat.....	48
Gambar 26. Tahap awal prekursor tampak keruh	48
Gambar 27. Pasir besi setelah dicuci dan dikeringkan.....	49
Gambar 28. Hasil prekursor Ferosulfat.....	49

Daftar Grafik

Grafik 1. Hasil uji XRD Pasir Besi beberapa kota/kabupaten di Sumatera Barat	14
Grafik 2. Grafik perbandingan UV-Vis Prussian Blue dari 3 jumlah mol (M1, M2, M3) $K_3[Fe(CN)_6]$ 30,37 mM	27
Grafik 3. Grafik UV-Vis Prussian Blue pada sampel M1, 100 mL $K_3[Fe(CN)_6]$ 30,37 mM	28
Grafik 4. Grafik UV-Vis Prussian Blue dengan variasi 325,1 mL $K_3[Fe(CN)_6]$ 30,37 mM	29
Grafik 5. Grafik UV-Vis Prussian Blue dengan variasi 402,2 mL $K_3[Fe(CN)_6]$ 30,37 mM	30
Grafik 6. Grafik absorbansi $K_3[Fe(CN)_6]$ 10 mM, pigmen Prussian Blue tanpa $K_3[Fe(CN)_6]$ dan Prussian Blue yang tercampur $K_3[Fe(CN)_6]$	32
Grafik 7. Grafik absorbansi pada rentang panjang gelombang 580 - 900 nm	33
Grafik 8. Spektrum UV-Visible dari : larutan $K_3[Fe(CN)_6]$, (a) sebelum iradiasi dan (b) setelah iradiasi. (Syed Kazim Moosvi, 2016)	34
Grafik 9. Grafik absorbansi $K_3[Fe(CN)_6]$	35
Grafik 10. Grafik absorbansi pigmen Prussian Blue tanpa pengotor $K_3[Fe(CN)_6]$	36
Grafik 11. Grafik absorbansi pigmen <i>Prussian Blue</i> dengan pengotor $K_3[Fe(CN)_6]$	37
Grafik 12. Variasi molaritas $FeSO_4$; sampel K1, K2 dan K3 pada uji UV-Vis	39

Grafik 13. Variasi FeSO_4 ; sampel K1, K2 dan K3 pada uji UV-Vis saat grafik diperbesar	40
--	----

Daftar Lampiran

Lampiran 1. Skema Kerja Preparasi FeSO_4	46
Lampiran 2. Skema Kerja Preparasi Pigmen <i>Prussian Blue</i>	47
Lampiran 3. Dokumentasi Tambahan Penelitian.....	48

Daftar Tabel

Tabel 1. Komposisi kimia dari pasir besi kabupaten Pariaman	5
Tabel 2. Pergeseran Panjang Gelombang pada Sampel Variasi Molaritas FeSO_4	40

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, emas, pasir besi, dan lainnya. Salah satu dari kekayaan Sumber Daya Alam (SDA) di provinsi Sumbar yang bisa menjadi bahan pengembangan penelitian adalah pasir besi (Salomo, 2018). Beberapa daerah di Sumatera Barat yang memiliki pasir besi melimpah diantaranya Pasaman, Pariaman, Solok, Pesisir Selatan, dan Sijunjung. Pasir besi daerah Pasaman dan Solok memiliki pengotor dalam bentuk CaHPO_4 dan SiO_2 yang mengakibatkan persentase besi menjadi rendah dibandingkan dengan pasir besi daerah kabupaten Pariaman yang memiliki persentase besi dan suseptibilitas (kerentanan/kepekaan) terhadap magnet yang relatif tinggi ($1307.34 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$) (Aini.S, 2019).

Warna kehitaman/abu-abu gelap, bisa ditarik magnet, sering didapat di berbagai pantai dan pegunungan merupakan ciri-ciri yang pasir besi miliki. Pasir yang banyak ditemui di alam bercampur dengan silika dan oksida logam lainnya. Pasir besi banyak ditemukan di muara sungai yang ada di Sumatera Barat seperti sungai batang sukam Sijunjung Sumatera Barat, muara sungai pantai Sunur Pariaman, dan Muara sungai di Pasaman (Salomo, 2018). Pasir besi banyak ditemukan di daerah muara sungai karena pasir besi terbentuk dari pencucian batuan vulkanik oleh hujan, dibawa air sungai hingga oksida besi dan silika yang tidak larut dengan air akan menumpuk di daerah muara sungai. (Refles, 2012). Pasir besi memiliki suseptibilitas(kerentanan/kepekaan) terhadap magnet yang cukup tinggi, karena didominasi oleh mineral magnetit yang berwarna hitam (Rizki, 2018).

Pasir besi dari Muara sungai pantai Sunur Pariaman berwarna hitam keabu-abuan, memiliki kadar Fe yang tinggi, dapat direaksikan dengan HCl membentuk larutan FeCl_3 , dan dapat dijadikan bahan dasar untuk mensintesis Senyawa yang

mengandung besi dengan harga jual yang lebih tinggi. Salah satunya adalah FeCl_3 dari pasir besi untuk mensintesis zat warna. (Aini.S, 2019)

Sebelumnya pada penelitian Atma K, (2013) telah berhasil menggunakan 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). Perlu pengembangan lebih lanjut mengenai penelitian tersebut, yaitu salah satunya dengan sintesis pigmen biru berbahan dasar pasir besi sehingga semua warna dasar dapat tersediakan (Wahyuni, 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 jika terkena cahaya. Bahan ini dapat digunakan dalam industri pelapis yaitu sebagai campuran dalam perning beking, pewarna tinta dan aditif deterjen. *Prussian Blue* juga banyak digunakan sebagai katalis dalam beberapa reaksi kimia, atau dapat membantu penyimpanan hidrogen, bahkan dapat menjadi sensor kimia, pemantauan biosensor dan kedokteran klinis. *Prussian Blue* ini terkenal dalam elektrokimia, fotokimia, aplikasi kemagnetan, dan aplikasi analitis potensial (Chiang, 2019).

Sintesis zat warna umumnya menggunakan beberapa metode diantaranya seperti metode kopresipitasi, dan hidrotermal. 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 penyiapan *Prussian Blue* dengan metode kopresipitasi adalah kontrol kondisi molaritas pereaksi $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ (Chiang, 2019). Metode kopresipitasi adalah salah satu cara pada sintesis pigmen anorganik dimana mekanismenya berdasarkan pada diendapkannya satu substansi atau lebih dari larutan secara keseluruhan ketika titik jenuh telah dilewati. Dalam penelitian ini digunakan teknik kopresipitasi disebabkan mekanismenya menggunakan temperatur rendah dan mudah untuk mengontrol diameter partikel sehingga waktu yang dibutuhkan lebih singkat (Vernandez, 2011). Kopresipitasi

yaitu proses pengendapan ikutan. Proses suatu ion tunggal/molekul yang biasanya dapat larut, ikut serta diendapkan selama pengendapan zat yang diperlukan (Wahyuni, 2013).

Muthiara Wahyuni (2021) telah berhasil mensintesis Prussian blue dari pasir besi Sijunjung. Namun pasir besi Sunur Pariaman memiliki komposisi kimia berbeda dengan pasir besi Sijunjung, maka juga memerlukan kondisi reaksi yang berbeda untuk dijadikan bahan dasar sintesis *Prussian blue*. Muthiara Wahyuni juga mendapatkan puncak absorbansi UV-Vis Biru prusia disekitar 560 nm, dimana puncak tersebut masih jauh dari standar Biru prusia, yaitu 680-740 nm [4].

Jumlah mol reaktan umumnya berpengaruh pada hasil reaksi. Karena hal tersebut, dalam penelitian ini divariasikan jumlah mol reaktan, dalam hal ini Kalium ferisianida untuk menentukan pengaruh jumlah mol Kalium ferisianida terhadap warna Biru prusia, serta menentukan kondisi optimum reaksi sintesis zat warna Biru prusia. Berdasarkan uraian diatas, maka penulis bermaksud untuk mempelajari sintesis zat warna *Prussian Blue* menggunakan bahan pasir besi dengan metode kopresipitasi. Oleh sebab itu, maka penelitian ini diberi judul “Pengaruh Mol $K_3Fe(CN)_6$ dan Molaritas $FeSO_4$ untuk Sintesis Pigmen *Prussian Blue* Berbahan Pasir Besi Muara Pantai Sunur Pariaman”.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan, maka identifikasi masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

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. Kondisi yang mempengaruhi kualitas zat warna Prussian Blue dari pasir besi seperti jumlah mol $K_3Fe(CN)_6$, suhu, waktu, oksida besi, dan garam besi yang digunakan.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Pasir besi yang digunakan dalam percobaan ini adalah Pasir Besi muara Pantai Sunur Pariaman
2. Metode yang digunakan dalam sintesis zat warna *Prussian Blue* adalah metode kopresipitasi.
3. Variabel yang diteliti adalah jumlah mol kalium ferisianida $K_3Fe(CN)_6$ dan molaritas besi(II) sulfat ($FeSO_4$).

D. Perumusan Masalah

Jika ditinjau dari latar belakang yang telah disebutkan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh jumlah mol kalium ferisianida $K_3Fe(CN)_6$ terhadap warna *Prussian Blue* yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh molaritas $FeSO_4$ terhadap warna *Prussian Blue* yang dihasilkan?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan, maka tujuan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Menentukan pengaruh jumlah mol kalium ferisianida $K_3Fe(CN)_6$ terhadap warna *Prussian Blue*.
2. Menentukan pengaruh molaritas $FeSO_4$ terhadap warna *Prussian Blue*.

F. Manfaat Penelitian

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

BAB II

KERANGKA TEORITIS

A. Pasir Besi

Pasir besi adalah sumber daya alam yang sering ditemui di Indonesia. Pasir besi tersebar di berbagai pantai seperti: Sumatera Barat, Selatan Jawa, dan Kepulauan Maluku. Ia juga sering didapat didaerah sungai. Pada pasir besi terdapat dalam jumlah banyak mineral magnetik contohnya; Fe_3O_4 , *hematite* ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan *maghemite* ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). (Nengsi, 2016).

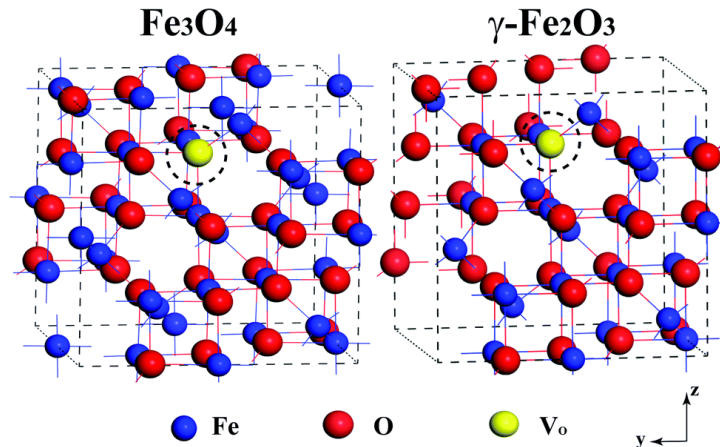
Tabel 1. Komposisi kimia dari pasir besi kabupaten Pariaman

Oksida	Massa (%)
MgO	7.456
Al_2O_3	8.928
SiO_2	28.886
P_2O_5	0.975
K_2O	0.277
CaO	1.216
TiO_2	7.869
V_2O_5	0.350
Cr_2O_3	0.043
MnO	0.251
FeOFe_2O_3	42.435
Fe	53.997

(Aini.S, 2019)

Dari Tabel 1 diatas dapat dilihat bahwa batuan besi dari daerah kabupaten Pariaman setelah dihaluskan dan dipisahkan oleh magnet memiliki komposisi kimia yang banyak dengan besi oksida atau logam besi, yaitu 76,365%. Pasir besi kabupaten Pariaman memiliki warna hitam yang sama dengan komersial magnetit Fe_3O_4 dan memiliki kerentanan magnetik yang relatif tinggi.

Pasir besi adalah pasir dengan persentase Fe dalam bentuk mineral Fe_3O_4 , hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), *maghemite* ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) yang tinggi dan unsur-unsur pengotor dalam bentuk Ti, Si, Mn, Mg, Ca dan V dengan warna abu-abu kehitaman (Aini.S, 2019).



Gambar 1. Struktur Kisi Kristal Magnetit

(Jian, 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 (semakin besar kadar besi nya). Massa jenis pasir besi adalah $7,86 \text{ g/cm}^3$, titik lebur pada 1538°C dan meleleh pada suhu 2861°C . Kalor peleburan dari pasir besi adalah $13,81 \text{ kJ/mol}$, kalor penguapannya 340 kJ/mol dan kapasitas kalornya (25°C) $25,10 \text{ J/(mol.K)}$.



Gambar 2. Pasir Besi Tampak secara Visual

(Yulianto, 2003).

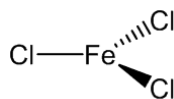
Proses pemurnian Fe_2O_3 dari pasir besi dengan cara: pasir besi dibersihkan dengan aquades setidaknya 5 kali untuk menghilangkan pengotor, setelah dicuci pasir besi dikeringkan di udara terbuka selama 24 jam, kemudian pasir besi ditarik dengan magnet permanen untuk memisahkan mineral magnetik dengan 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 konstan 700 °C selama 3 jam. Hal ini dilakukan untuk mengoksidasi magnetit (Fe_3O_4) menjadi hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$). (Syukriani, 2017)

Berdasarkan klasifikasinya zat warna besi oksida dapat dikategori kedalam *black pigment* (magnetit), *colored pigment* (goethit dan maghemit), dan *metal effect pigment* (hematit). Pigmen yang berasal dari magnetit akan menghasilkan warna hitam, berasal dari hematit akan menghasilkan warna merah dan berasal dari 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. Warna akhir setiap dari pigmen berbeda-beda bergantung pada penambahan ion kromofor dalam ikatan spinelnya (Saputra, 2017), seperti *Prussian Blue* dihasilkan dari reaksi antara larutan FeSO_4 dengan larutan $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

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, 2013). Pasir besi kabupaten Pariaman 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 molekul FeCl_3 . Molekul ionik tersebut merupakan molekul yang biasa dipakai pada daur ulang limbah, produksi air untuk konsumsi ataupun katalis.



Gambar 3. Struktur Besi (III) Klorida

(Cotton, 2016)

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 sifatnya berbuih pada kondisi udara lembab karena dihasilkannya HCl yang terhidrolisis lalu terbentuk kabut. FeCl_3 terjadi hidrolisis saat dilarutkan dalam air dan menghasilkan panas.

B. Kompleks Prussian Blue

Molekul pigmen merupakan penggabungan dari senyawa organik tak jenuh bersama kromofor sebagai penghasil warna dan auksokrom sebagai penghubung warna dengan serat. (Agustina, 2012). *Prussian Blue*, memiliki rumus molekul $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$, yang juga disebut *ferric ferrocyanide*, memiliki sejarah panjang dari abad ke-18. Selama ini telah digunakan di banyak daerah, karena stabil terhadap cahaya.



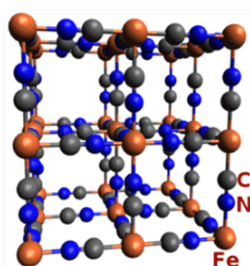
Gambar 4. *Prussian Blue*

(Chiang, 2019)

1. Struktur, Sifat dan Penggunaan

Prussian Blue dapat digunakan dalam produksi industri seperti campuran dalam pewarna tinta, aditif deterjen dan pelapis *pernis baking*. *Prussian Blue* juga banyak digunakan sebagai semacam katalis dalam beberapa reaksi kimia, atau dapat membantu penyimpanan hidrogen, bahkan dapat menjadi sensor kimia,

pemantauan biosensor dan kedokteran klinis. *Prussian Blue* juga terkenal dalam elektrokimia, fotokimia, pemanfaatan sifat magnetik dan aplikasi analitis potensial (Chiang, 2019). Dari 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 $A_n[B(CN)_6]_m \cdot xH_2O$, di mana A dan B adalah logam transisi. Sifat magnetik, seperti magnetisasi saturasi, suhu transisi, medan koersif dan sifat lainnya dari *Prussian Blue* ini dapat dimanipulasi dengan mengubah molaritas ion magnetik atau dengan mengubah ion magnetik oleh ion magnetik lain (Rohilla, 2010).

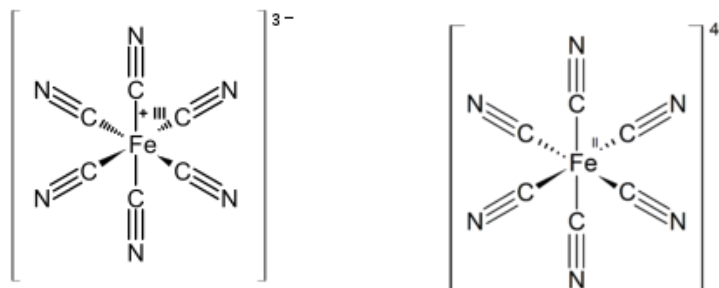


Gambar 5. Struktur Kisi Prussian Blue

(Atma K, 2015).

Prussian Blue mempunyai sifat magnetik yang berdayaguna untuk dibahas dan dipelajari jika dilihat pada interaksi magnetis antar ion-ionnya. *Prussian Blue* mempunyai logam pusat Fe^{2+} yang memiliki sifat menolak medan magnet atau disebut juga diamagnetik. Logam Fe(II) berhubungan dengan logam Fe(III) melalui 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 (Atma K, 2015).

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. Zat warna *Prussian Blue* mudah diperoleh sebagai endapan yang tidak larut dalam hasil kuantitatif dari campuran berair (Fe^{3+} dan $[Fe_2(CN)_6]^{4-}$) dan (Fe^{2+} dan $[Fe_3(CN)_6]^{3-}$).



Gambar 6. Struktur ion Ferisianida (kiri) dan Ferosianida (kanan)

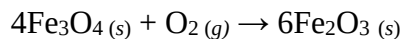
(Bethesda, 2021)

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, 2007).

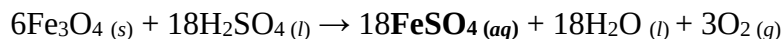
Prussian Blue adalah salah satu senyawa koordinasi yang paling banyak dipelajari, itu adalah pertanyaan lama mengapa zat warna *Prussian Blue* tidak larut dalam pelarut yang paling umum. Baru-baru ini, telah dipahami bahwa apa yang disebut '*Prussian Blue* tidak larut', $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, 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, 2007).

2. Reaksi Sintesis Pigmen Biru Prusia

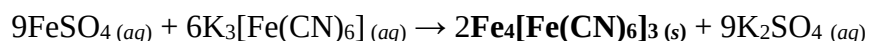
Pigmen Biru Prusia adalah senyawa garam dan memiliki rumus $\text{M}_2\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ dan $\text{M}^+ = \text{Na}^+$ atau K^+ . Oksidasi padatan molekul yang tampak putih secara visual ini dengan hidrogen peroksida atau natrium klorat akan dihasilkannya warna Biru Prusia, ia juga dapat dibuat dari kalium ferisianida dan besi(II) sulfat berbahan dasar pasir besi. Setelah didapatkan Fe_3O_4 yang relatif murni, langkah berikutnya adalah proses sintering senyawa tersebut untuk mendapatkan Fe_2O_3 .



Pigmen Biru Prusia dapat juga disintesis dari Besi(II) sulfat melalui reaksi antara Fe_3O_4 yang dihaluskan dengan H_2SO_4 pekat, dengan reaksi sebagai berikut:



Reaksi kalium ferisianida dengan besi(II), dihasilkannya larutan koloid yang mirip, karena $[\text{Fe}^{3+}(\text{CN})_6]^{3-}$ dijadikan senyawa lain yaitu ferosianida. Biru Prusia yang "tidak dapat larut" dapat dihasilkan jika Fe^{3+} atau Fe^{2+} dalam jumlah yang berlebihan ditambahkan ke dalam reaksi-reaksi tersebut. Biru Prusia juga dapat disintesis dari kalium ferisianida dan besi(II) sulfat melalui reaksi berikut:



C. Teknik Sintesis Zat Warna *Prussian Blue*

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

1. Teknik 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 jenuh. Kebanyakan peneliti menggunakan metode kopresipitasi untuk mensintesis warna *Prussian Blue*, karena metode ini memiliki berbagai keunggulan seperti proses persiapan sederhana, memerlukan energi yang rendah dan produk mendekati murni yang mudah didapat (Chiang, 2019). Metode kopresipitasi efisien dan mudah karena prosesnya menggunakan suhu rendah dan dapat mengontrol ukuran partikel yang didapatkan sehingga waktu yang diperlukan relatif singkat (Saputra, 2017). Teknik kopresipitasi digunakan sebab bisa menghasilkan partikel berdiameter nano, maka akan didapatkan partikel yang punya sifat bervariasi (Saputra, 2016).

Chen R, (2016) menyatakan ada beberapa faktor yang mempengaruhi morfologi kristal *Prussian Blue* termasuk molaritas larutan stok, jenis presipitator, suhu reaksi, waktu *aging* dan nilai pH. Meskipun memiliki keunggulan seperti itu,

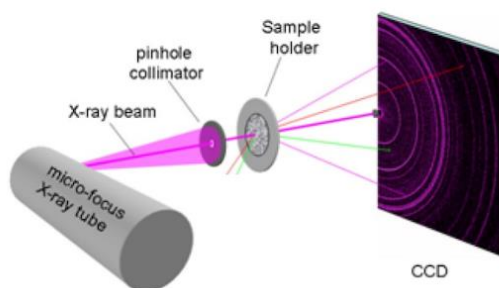
masih ada dua kekurangan dalam persiapan yaitu: waktu persiapan yang panjang, dan persentase hasil yang rendah. Oleh karena itu, dengan pengembangan studi, kita tahu bahwa perlu meningkatkan kualitas morfologi kristal, juga memperhatikan peningkatan hasil reaksi dan mempersingkat waktu reaksi (Chiang, 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. Teknik Hidrotermal

Sintesis hidrotermal prinsip dasarnya menggunakan suhu tinggi dan uap air. Sintesis hidrotermal dan kopresipitasi memiliki banyak kesamaan. Metode ini membutuhkan waktu reaksi yang lebih singkat dan distribusi partikel yang seragam (homogen). 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).

D. Instrumen Karakterisasi Fe_3O_4 yang digunakan Sebagai Bahan Baku Sintesis *Prussian Blue*

Untuk menguji suatu senyawa apakah sudah sesuai dengan yang diinginkan, maka perlu dilakukan pengujian dengan instrument tertentu. Uji penting kristal Fe_3O_4 adalah Difraktometer Sinar-X (XRD), merupakan instrumentasi dan karakterisasi unsur/senyawa yang dimanfaatkan untuk menganalisis fase kristalin pada materi dengan cara penentuan struktur kisi, juga bisa sekaligus untuk menghitung ukuran partikel. Bentuk data yang dihasilkan dari difraktometer bisa data analog/digital.



Gambar 7. Komponen Kristalografi sinar-X

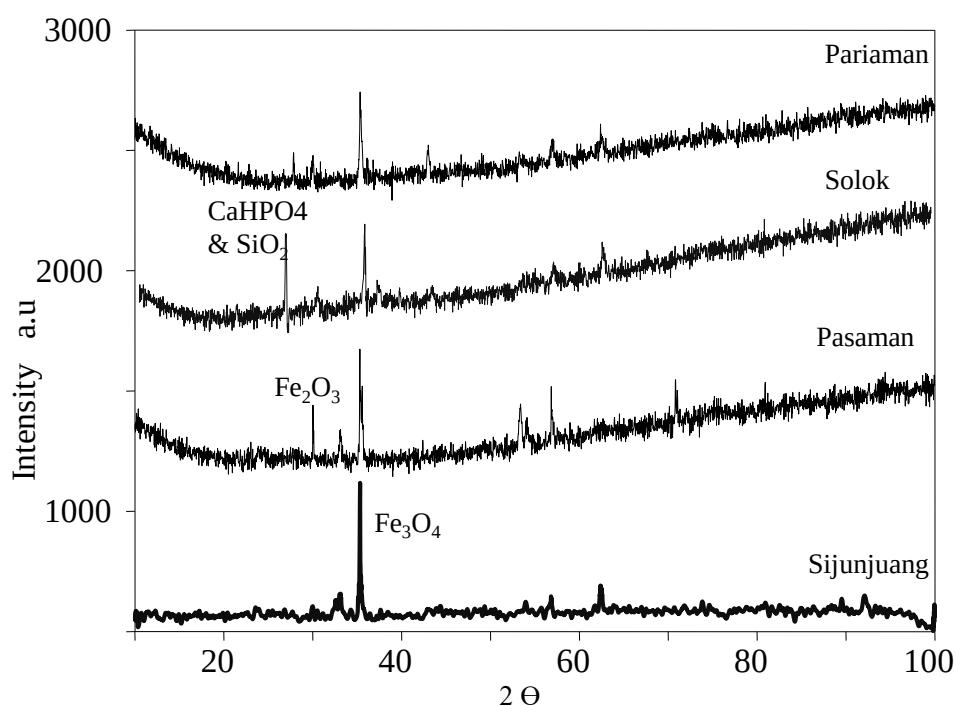
(Ames, 2020)

Kristalografi sinar-X adalah alat analisator untuk menentukan struktur atom dan atau molekul sebuah kristal dengan cara mendifraksikan ke segala arah berkas sinar-X. Setelah menghitung sudut dan intensitas difraksi gelombang ini, didapat citra gambar kristalografer tiga dimensi kerapatan elektron pada kisi kristal. Dari gambar densitas elektron ini, posisi prediksi kisaran atom pada kristal dapat diidentifikasi, serta ikatan kimia yang ada dalam atom tersebut, entropi, dan berbagai data kimia serta fisika lainnya. Besarnya intensitas relatif dari deretan puncak itu tergantung jumlah atom atau ion yang ada, dan penyebarannya di dalam sel satuan material tersebut (Syukriani, 2017). Diameter kristal dari kristalin diperkirakan menggunakan rumus Scherrer pada rumus berikut;

$$D = \frac{k\lambda}{B \cos \theta}$$

dengan D adalah ukuran kristal, k adalah konstanta material (0,9), λ adalah panjang gelombang sinar-X, θ adalah setengah dari sudut posisi puncak 2θ dan B adalah lebar setengah puncak FWHM (*Full Width of Half Maximum*) (Syukriani, 2017).

Hasil karakterisasi data kristalinitas Fe_3O_4 menggunakan difraktometer sinar-X seperti yang ditunjukkan pada gambar 8 di bawah ini.

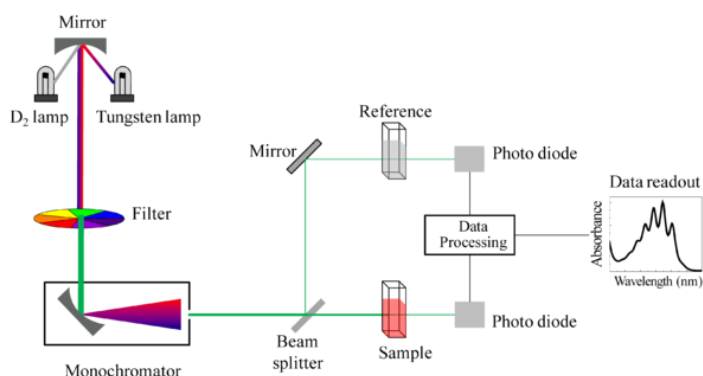


Grafik 1. Hasil uji XRD Pasir Besi beberapa kota/kabupaten di Sumatera Barat
(Aini.S, 2019)

Grafik 1 menunjukkan bahwa puncak tertinggi pada 2θ di 35.454 dimiliki oleh semua pasir besi, sesuai dengan puncak magnetik utama/standar Fe_3O_4 (JCPDS no.01-071-6766)(Aini.S, 2019).

E. Spektrofotometer UV-Vis sebagai Instrumen Karakterisasi Warna Pigmen *Prussian Blue*

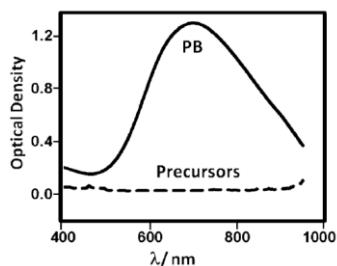
Spektrofotometer UV-Vis merupakan teknik identifikasi spektrometer yang menggunakan sumber gelombang elektromagnet ultraviolet dekat (190 nm –380 nm) dan juga gelombang tampak (380 nm –780 nm) dengan memanfaatkan instrumen spektrometer. Metode spektrofotometri UV-Vis adalah suatu teknik analisis kimia saat penentuan unsur logam, baik secara kualitatif atau secara kuantitatif (Bruno, 2019).



Gambar 8. Spektrofotometri UV-Vis

(Mahadhi, 2019)

Prussian Blue dikarakterisasi menggunakan spektroskopi UV-Vis. Spektra UV-Vis dari *Prussian Blue* yang diencerkan (Gambar 11) mengungkapkan pita lebar yang berpusat pada 700 nm karena transfer muatan Fe(II) ke Fe(III), karakteristik biru Prusia seperti yang terlihat dalam literatur sebelumnya.



Gambar 9. Hasil UV-Visible *Prussian Blue*

(Cinti, 2014)

Bahan-bahan prekursor sintetik menunjukkan sedikit sifat-sifat penyerapan yang berbeda pada rentang panjang gelombang ini (Cinti, 2014).

BAB V

KESIMPULAN

Prussian Blue dengan warna lebih cerah & puncak spektra UV-Vis mendekati standar didapat pada penambahan jumlah mol Kalium ferisianida $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ pada titik ekuivalen. Penambahan $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ menggeser kekanan/memperbesar panjang gelombang absorbansi pigmen Prussian Blue pada uji UV-Vis. Percobaan yang mirip dilakukan, dengan rentang waktu yang relatif singkat untuk menghindari kerusakan reaktan, memperlihatkan absorbansi di 680 – 710 nm, yang mana sudah sangat sesuai dengan absorbansi standar Biru prusia. Molaritas Besi(II) sulfat (FeSO_4) mempengaruhi warna Prussian Blue yang dihasilkan, warna paling cerah/optimum dengan puncak spektra UV-Vis mendekati standar didapat pada molaritas FeSO_4 11,85 mM.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, T. E. (2012). Pengaruh Temperatur dan Waktu Pada Pengolahan Pewarna Sintetis Procion. *Jurnal Teknik Kimia* No. 3, Vol. 18, 56.
- Aini, S. 2019. *The Characterization of West Sumatera Iron Sand as a Raw Material to Synthesize Magnetic Nanoparticles*. Padang : UNP.
- Ames. (2020, 12 16). *Space Science & Astrobiology. Exobiology Branch (Code SSX)*, hal. <https://www.thinksphysics.com/2020/08/prinsip-kerja-xrd-x-ray-diffraction.html>.
- Atma K, T. (2015). Sintesis dan Karakterisasi pigmen Warna Hitam, Merah dan Kuning Berbahan Dasar Pasir Besi. 10(2), 129–134.
- Bethesda, N. C. (2021, 1). *PubChem Compound Summary*. CID 768, Hydrogen cyanide, hal. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Hydrogen-cyanide#section=Vapor-Pressure>.
- 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>
- 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/10.1088/1755-1315/384/1/01200505>
- Cinti, S. et al. (2014). *Development of a hydrogen peroxide sensor based on screen-printed electrodes modified with inkjet-printed prussian blue nanoparticles*. *Sensors (Switzerland)*, 14(8), 14222–14234. <https://doi.org/10.3390/s140814222>
- Cotton, S. (2016, 10). *Ferric Chloride aka Iron(III) Chloride Not just for etching copper*. hal. <http://www.chm.bris.ac.uk/motm/ferric-chloride/ferric-chloridejs.htm>.