

Pengaruh Mol $K_3Fe(CN)_6$ Pada Sintesis Zat Warna Biru Prusia Berbahan Pasir Besi Muara Pantai Sunur Pariaman

Nafis Sudirman¹, Syamsi Aini^{2*}

*Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang
Jl. Prof. Hamka, Air Tawar Barat, Padang, Sumatera Barat, Indonesia, 25131*

*syamsiaini@fmipa.unp.ac.id

Abstract — The purpose of the research was to see how different moles of $K_3Fe(CN)_6$ affected the color of Prussian blue in order to find the best synthesis conditions. Methods for separating pigments from solvents include coprecipitation and centrifugation. Prussian Blue was created by reacting Fe_3O_4 with 96% H_2SO_4 to produce Fe^{2+} ions, which were then reacted with $K_3Fe(CN)_6$ to produce Prussian Blue. The variation results were referred to as M1, M2, and M3 in this study, which varied three samples of $K_3Fe(CN)_6$. 3.037 mmol $K_3Fe(CN)_6$ was reacted at 30.37 mM in sample M1. Sample M2 was made by reacting 9.87 mmol $K_3Fe(CN)_6$ 30.37 mM with 4.56 mmol $FeSO_4$ 0.018 mM 250 mL. Sample M3 reacted with 12.21 mmol $K_3Fe(CN)_6$ at a concentration of 30.37 mM. The M2 sample is the best in terms of $K_3Fe(CN)_6$ variation. According to the standard absorbance wavelength of Prussian Blue (680-740 nm), the maximum UV-Vis absorbance of M2 products is at 747 nm, and the absorbance is relatively high.

Keywords — iron sand, potassium ferricyanide, prussian blue, pigment

I. PENGANTAR

Salah satu dari kekayaan Sumber Daya Alam (SDA) di provinsi Sumbar yang bisa menjadi bahan pengembangan penelitian adalah pasir besi [1]. Beberapa daerah di Sumatera Barat yang memiliki pasir besi relatif banyak diantaranya Pasaman, Pariaman, Solok, Pesisir Selatan, dan Sijunjung. Pasir besi daerah kabupaten Pariaman memiliki persentase besi dan suseptibilitas (kerentanan/kepekaan) terhadap magnet yang relatif tinggi ($1307.34 \times 10^{-8} m^3/kg$) [2]. Warna kehitaman/abu-abu gelap, bisa ditarik magnet, sering didapat di berbagai pantai dan pegunungan merupakan ciri-ciri yang pasir besi miliki. 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 [3]. Pasir besi memiliki suseptibilitas(kerentanan/kepekaan) terhadap magnet yang cukup tinggi, karena didominasi oleh mineral magnetit yang berwarna hitam. Pada penelitian sebelumnya, telah berhasil menggunakan pasir besi untuk di jadikan zat warna hitam dari oksida besi (Fe_3O_4) [4] dengan menambahkan natrium hidroksida (NaOH) dan ammonium hidroksida (NH_4OH), zat warna merah dari oksida besi (Fe_2O_3) [5], dengan menambahkan asam sulfat (H_2SO_4), dan zat warna kuning dari zat warna merah yang ditambahkan dengan asam klorida (HCl) [6].

Pengembangan lebih lanjut mengenai penelitian tersebut diperlukan, salah satunya dengan sintesis pigmen biru berbahan dasar pasir besi sehingga semua warna dasar dapat

tersediakan [7]. 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 [2].

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 [8]. Prussian Blue ini terkenal dalam elektrokimia, fotokimia, aplikasi kemagnetan, dan aplikasi analitis potensial [4]. Prussian Blue mempunyai sifat magnetik yang berdayaguna untuk dibahas dan dipelajari jika dilihat pada interaksi magnetis antar ion-ionnya [9]. Prussian Blue mempunyai logam pusat Fe yang memiliki sifat menolak medan magnet atau disebut juga diamagnetik [10]. 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 [11]. 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 [12].

Sintesis zat warna umumnya menggunakan beberapa metode diantaranya seperti metode kopresipitasi, dan hidrotermal. Umumnya Biru prusia disintesis menggunakan metode kopresipitasi. Metode ini memiliki berbagai keunggulan seperti proses persiapan sederhana, membutuhkan energi yang rendah, dan produk fase murni yang mudah didapat [13]. Teknologi inti penyediaan Biru prusia dengan metode kopresipitasi adalah kontrol kondisi konsentrasi $K_3[Fe(CN)_6]$ [14]. 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 [15]. Dalam penelitian ini digunakan teknik kopresipitasi disebabkan mekanismenya menggunakan temperatur rendah dan mudah untuk mengontrol diameter partikel sehingga waktu yang dibutuhkan lebih singkat [16]. Kopresipitasi yaitu proses pengendapan ikutan. Proses suatu ion tunggal/molekul yang biasanya dapat larut, ikut serta diendapkan selama pengendapan zat yang diperlukan. Wahyuni [15] telah mensintesis pigmen Biru prusia 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 Biru prusia. 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 [2]. Jumlah mol reaktan umumnya berpengaruh pada hasil reaksi [19]. 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 Biru prusia menggunakan bahan pasir besi dengan metode kopresipitasi.

II. METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu; masker respirator NP305, buret 50 mL, lumpang dan alu, ayakan 200 mesh, neraca analitik, gelas kimia, labu ukur, pipet tetes, batang pengaduk, spatula, magnetik stirer, kertas saring whatman no 1, masker, sarung tangan dan spektrofotometer UV-Vis [9]. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu Pasir Besi muara Pantai Sunur Pariaman, $K_3[Fe(CN)_6]$, H_2SO_4 96% dan aquades.

B. Sintesis $FeSO_4$

Pasir besi ditarik dengan magnet, dihaluskan dan diayak dengan ayakan berukuran 200 mesh [9]. Sejumlah 40 gram pasir besi direaksikan dengan 200 mL asam sulfat 96% sambil distirer dengan kecepatan 550 rpm pada suhu $163^{\circ}C$ selama 48

jam, wadah terbuka, didapatkan lumpur hijau-biru keruh, disaring, diencerkan, hingga didapatkan Larutan $FeSO_4$ [15].

C. Sintesis pigmen Biru prusia

Biru prusia disintesis dengan memvariasikan mol $K_3[Fe(CN)_6]$, yaitu; 3,037 mmol kalium ferisianida 30,37 mM, 9,87 mmol kalium ferisianida 30,37 mM, 12,21 mmol kalium ferisianida 30,37 mM. Proses sintesis dilakukan dengan meneteskan larutan $K_3[Fe(CN)_6]$ menggunakan buret ke dalam 250 mL larutan $FeSO_4$. Selama proses reaksi, larutan distirer dengan kecepatan 550 rpm pada temperatur ruang. Suspensi pigmen yang diperoleh didekantasi dan dikeringkan [9]. Endapan biru yang dihasilkan disentrifugasi, dibilas aquades dan dikeringkan dengan desikator untuk menghasilkan zat warna Biru prusia yang tidak larut sebagai $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ [10].

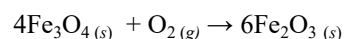
D. Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk menentukan konsentrasi suatu zat berdasarkan absorbansi pada panjang gelombang tertentu. Analisa spektrofotometer UV-Vis pada penelitian ini bertujuan untuk untuk mengetahui interval panjang gelombang UV-Vis yang terabsorpsi oleh pigmen Biru prusia [10].

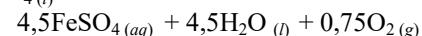
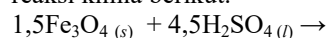
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sintesis $FeSO_4$ dari Pasir Besi

Oksida Besi Fe_3O_4 direaksikan dengan Asam sulfat 96% untuk mendapatkan larutan ion $Fe(II)$ [15], yang berikutnya direaksikan dengan Kalium ferisianida untuk menghasilkan endapan pigmen Biru prusia. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi optimum jumlah mol kalium ferisianida yang direaksikan untuk mendapatkan kondisi reaksi optimum yang dapat menghasilkan pigmen Biru prusia yang mengasilkan warna yang paling tepat, jumlah hasil reaksi maksimal dan pengotor minimal. Sintesis Pigmen Biru prusia dimulai dari sintesis prekursornya yaitu senyawa $Fe(II)$ atau $Fe(III)$ [10], yang dapat dihasilkan dari reaksi antara asam kuat, dalam hal ini yang dipakai adalah Asam sulfat [15], yang direaksikan dengan serbuk Fe_3O_4 yang telah lolos ayakan 200 mesh. Fe_3O_4 didapat dari pasir besi pantai sunur setelah ditarik magnet puluhan kali hingga tampak secara visual serbuk kasar Fe_3O_4 berwarna hitam dan secara fisika dapat ditarik magnet. Untuk mendapatkan persentase ion $Fe(II)$ yang tinggi, maka serbuk pasir besi dihaluskan hingga lolos ayakan 200 mesh, agar tumbukan partikel Fe_3O_4 dan Asam sulfat efektif, sesuai teori tumbukan berdasarkan luas permukaan bidang sentuh. Serbuk Fe_3O_4 yang didapat dalam penelitian ini segera digunakan, karena ia mudah teroksidasi seperti pada reaksi berikut [10].



Reaksi sintesis $FeSO_4$ dapat dijelaskan melalui persamaan reaksi kimia berikut.

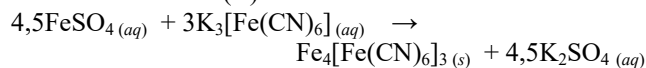


Serbuk Fe_3O_4 direaksikan dengan Asam sulfat akan menghasilkan $FeSO_4$ (ferosulfat) berwarna hijau kebiruan dan

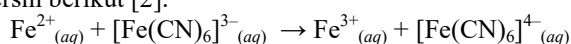
jika dilakukan beberapa perubahan kondisi reaksi tertentu akan menghasilkan Ferisulfat [15].

B. Sintesis Pigmen Biru prusia dengan Variasi mol $K_3[Fe(CN)_6]$

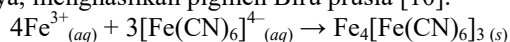
Pigmen Biru prusia disintesis dari larutan encer Kalium ferisianida dan Besi(II) sulfat melalui reaksi berikut.



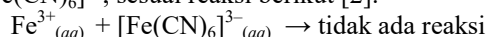
Biru prusia merupakan zat warna biru tua yang dapat dihasilkan dari oksidasi garam ferisianida [9]. Biru prusia dapat juga dihasilkan dari reduksi garam ferisianida yang menghasilkan garam ferisianida, dilanjutkan dengan oksidasi garam ferisianida. Reaksi ke-2 inilah yang digunakan dalam penelitian ini. Secara teoritis, pigmen Biru prusia yang berasal dari ion Fe^{2+} , akan bereaksi dalam 2 tahap sederhana, tahap pertama yaitu oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} dan reduksi $[Fe(CN)_6]^{3-}$, yang dapat dijelaskan dengan persamaan reaksi ion bersih berikut [2].



Hasil reaksi tersebut, akan menjadi reaktan untuk reaksi berikutnya, menghasilkan pigmen Biru prusia [10].



Tampak dari reaksi diatas, jika pada penelitian ini menggunakan Fe^{2+} , maka akan ada setidaknya 2 kali perubahan warna yang tampak dari 2 reaksi ini. Pada pengamatan saat penetesan $K_3[Fe(CN)_6]$ memang diamati warna yang berubah dari hijau kebiruan yang gelap menjadi pigmen Biru prusia. Warna hijau kebiruan yang gelap tersebut juga dipengaruhi kelebihan $[Fe(CN)_6]^{4-}$, yang berasal dari reaksi tahap pertama, karena ia berwarna biru kehijauan terang. Larutan $FeSO_4$ yang didapat, tentu tidak 100% murni, karena juga bercampur dengan Fe^{3+} dalam bentuk senyawa $Fe_2(SO_4)_3$ [15]. Hal tersebut ditandai dengan warna larutan hijau kekuningan. Akan tetapi senyawa ini takkan bereaksi dengan $[Fe(CN)_6]^{3-}$, sesuai reaksi berikut [2].



Lapisan atas sampel M3 diuji kualitatif keberadaan Ferisulfat yang terbukti tak tersisa, ditandai dengan tidak munculnya warna Pigmen saat ditambahkan larutan $K_3[Fe(CN)_6]$ [2]. Dari hasil uji kualitatif, didapatkan warna biru gelap khas Biru prusia. Dari hasil tersebut, maka penelitian dilanjutkan dengan sintesis pigmen secara kuantitatif skala kecil, untuk mendapatkan prediksi titik ekuivalen perbandingan mol antara $FeSO_4$ dan $K_3[Fe(CN)_6]$, sekaligus menghitung persentase pasir besi yang bereaksi dengan asam sulfat dan menghitung reaksi secara stoikiometris. Setelah titik ekuivalen yg terlihat secara visual didapat dan warna khas Biru prusia dihasilkan beserta endapannya, dilanjutkan dengan sintesis sesuai stoikiometri, untuk mendapatkan jumlah rendemen padatan yang relatif banyak untuk dilakukan uji karakterisasi Spektrofotometri UV-Vis. Jumlah mol reaktan dalam sintesis pigmen biasanya berpengaruh kepada kualitas hasil dari pigmen tersebut [1]. Maka dari itu, dilakukan variasi mol $K_3[Fe(CN)_6]$ untuk dilakukan uji kualitas masing-masing jumlah mol $K_3[Fe(CN)_6]$, dimana akan dihasilkan 3 perbedaan kualitas yang dapat menghasilkan data otentik antara variabel mol $K_3[Fe(CN)_6]$ terhadap warna Biru prusia yang dihasilkan.

Dapat dilihat dari karakterisasi UV-Vis, dimana uji tersebut akan menginformasikan panjang gelombang absorbansi dari 3 variasi mol tersebut [10].

Secara visual, semakin banyak $K_3[Fe(CN)_6]$ yang ditambahkan, maka akan menghasilkan warna Biru prusia yang semakin cerah, dan mendekati warna Biru prusia standar. Massa pigmen juga lebih banyak dihasilkan dari penambahan $K_3[Fe(CN)_6]$, yang mengindikasikan titik ekuivalen yg diprediksi secara visual sedikit meleset, dimana $FeSO_4$ yg diperkirakan telah habis bereaksi dengan $K_3[Fe(CN)_6]$ pada sampel M2, $FeSO_4$ tersebut belum habis bereaksi, sehingga pada sampel M3, $FeSO_4$ tersebut lanjut bereaksi membentuk pigmen [16]. Pada sampel M1, 3,037 mmol $K_3[Fe(CN)_6]$ 30,37 mM direaksikan dengan 4,56 mmol $FeSO_4$ 0,018 mM, 250 mL. Untuk sampel M2, 9,87 mmol $K_3[Fe(CN)_6]$ 30,37 mM direaksikan dengan 4,56 mmol $FeSO_4$ 0,018 mM, 250 mL. Untuk sampel M3, 12,21 mmol $K_3[Fe(CN)_6]$ 30,37 mM direaksikan dengan 4,56 mmol $FeSO_4$ 0,018 mM, 250 mL. Pada variasi mol $K_3[Fe(CN)_6]$, didapat kondisi optimum pada sampel M2.

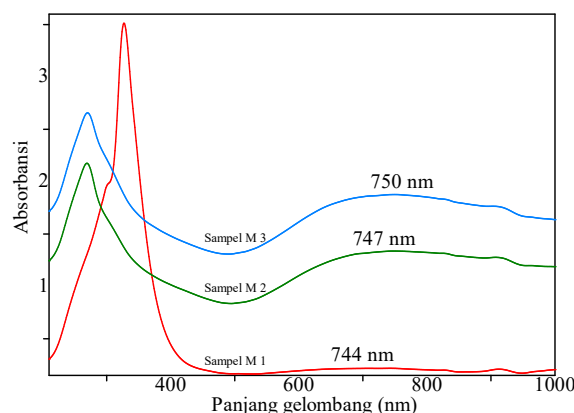
C. Karakterisasi UV-Vis Pigmen Biru Prusia

Uji UV-Vis dilakukan dengan melarutkan sampel pigmen biru prusia ke pelarut yang dapat melarutkan pigmen tersebut dengan cukup baik, relatif terhadap pelarut air, sesuai artikel yg didapat, pigmen Biru prusia larut dengan baik pada etanol [11].



Gambar 1. Sampel variasi mol $K_3[Fe(CN)_6]$ yang dikarakterisasi.

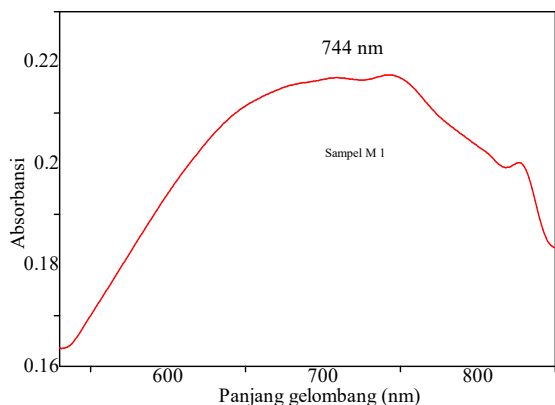
Hasil uji variasi $K_3[Fe(CN)_6]$ memperlihatkan pada sampel M1 dimana penambahan $K_3[Fe(CN)_6]$ kurang dari titik ekuivalen.



Gambar 2. Grafik perbandingan UV-Vis Biru prusia dari variasi mol $K_3[Fe(CN)_6]$ 30,37 mM, sampel M1, M2 dan M3

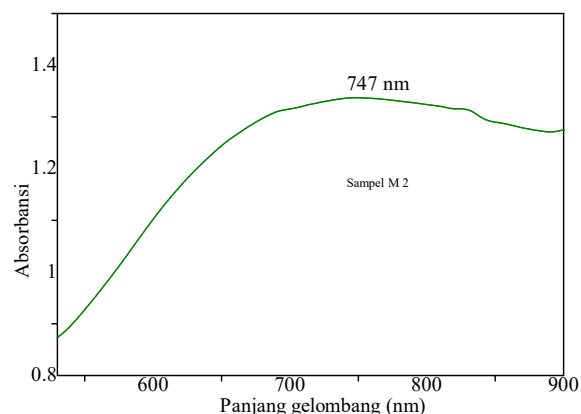
Dari grafik diatas, terlihat perbandingan puncak sekitar 320 dan 600-850 utk setiap sampel, dapat diasumsikan bahwa semakin banyak mol $K_3[Fe(CN)_6]$ maka puncak 320 nm bergeser ke 250 nm dan juga absorbansinya semakin pendek, sementara puncak 680 nm semakin tinggi [8]. Tampak dari perbedaan jumlah $K_3[Fe(CN)_6]$, semakin banyak $K_3[Fe(CN)_6]$ yang bereaksi maka semakin tinggi puncak di atas 600 nm. Puncak 680 – 740 semakin tinggi dikarenakan semakin banyaknya larutan $K_3[Fe(CN)_6]$ yang bereaksi dengan $FeSO_4$ 0,018 mM membentuk Biru prusia [2]. Dapat diartikan juga bahwa titik ekuivalen yang diperkirakan telah tepat pada sampel M2 yang terindikasi dari perubahan warna menjadi sekilas hijau gelap yang berasal dari $K_3[Fe(CN)_6]$, ternyata belum sampai titik ekuivalen, dimana terlihat dari sampel M3 yang menghasilkan Biru prusia yang lebih banyak.

Pada percobaan variasi mol $K_3[Fe(CN)_6]$, larutan $K_3[Fe(CN)_6]$ yang berlebih sudah dibersihkan dari pigmen dengan pembilasan menggunakan aquades yang sebelumnya disentrifugasi, sehingga puncak absorbansi $K_3[Fe(CN)_6]$ pada 400 – 440 nm tidak terlihat sama sekali, yang menandakan tak ada $K_3[Fe(CN)_6]$ tersisa pada ketiga sampel [16]. Seluruh grafik standar Biru prusia dan $K_3[Fe(CN)_6]$ memang menampilkan absorbansi pada sekitar 290 nm, sehingga dapat diasumsikan bahwa ia bukan pengotor pigmen Biru prusia [2]. Pada sampel M1, dihasilkan puncak panjang gelombang absorbansi yang sudah cukup mendekati panjang gelombang standar prusian blue; yaitu pada 680-740 nm [10], sedangkan puncak yg dihasilkan pada panjang gelombang 744 nm, hanya saja persentase hasil pigmen Biru prusia yang didapatkan cenderung sangat sedikit, tampak dari rendahnya absorbansi pada panjang gelombang 744 nm.



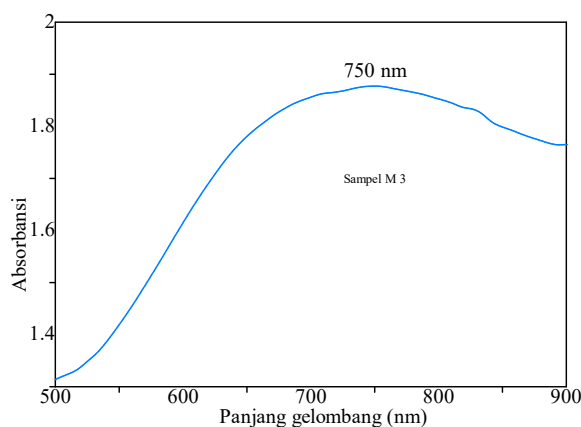
Gambar 3. Grafik UV-Vis Biru prusia pada sampel M1, 100 mL $K_3[Fe(CN)_6]$ 30,37 mM

Pada sampel M2, didapatkan panjang gelombang maksimal pada 747 nm, yang mana panjang gelombang ini juga mendekati panjang gelombang standar biru prusia, dan juga hasil rendemennya juga cukup banyak, tampak dari nilai absorbansi yang relatif mencolok pada panjang gelombang tersebut [2].



Gambar 4. UV-Vis Biru prusia sampel M2, 325,1 mL $K_3[Fe(CN)_6]$ 30,37 mM

Pada sampel M3, dimana $K_3[Fe(CN)_6]$ ditambahkan dalam jumlah berlebih, tampak puncak absorbansi pada 750 nm, dan juga panjang gelombang tersebut masih mendekati panjang gelombang standar Biru prusia, dan hasil rendemen biru prusia juga cukup banyak, dapat dilihat dari nilai absorbansi yang relatif mencolok pada panjang gelombang tersebut [2].



Gambar 5. Grafik UV-Vis Biru prusia sampel M3 402,2 mL $K_3[Fe(CN)_6]$ 30,37 mM

Setelah Endapan Pigmen Biru prusia yang didapatkan diuji dg UV-Vis, ia menunjukkan panjang gelombang absorbansi maksimum pada 747 nm, yang mana panjang gelombang tersebut sangat mendekati panjang gelombang standar pigmen Biru prusia yaitu pada panjang gelombang 680-740 nm. Perbedaan mol $K_3[Fe(CN)_6]$ menghasilkan panjang gelombang absorbansi maksimum masing-masing pada 744 nm, 747 nm dan 750 nm. Ketiga sampel variasi jumlah mol $K_3[Fe(CN)_6]$ sangat mendekati panjang gelombang standar Biru prusia pada 680-740 nm [10]. Pada panjang gelombang 744 nm, dihasilkan hasil reaksi relatif sedikit, sehingga kondisi reaksi optimum pada 747 nm.

Secara kualitatif, tampak kecenderungan panjang gelombang absorbansi bertambah dengan penambahan $K_3[Fe(CN)_6]$. Jumlah rendemen relatif sedikit dengan

pengurangan mol $K_3[Fe(CN)_6]$. Jumlah pengotor dari pigmen yang dihasilkan diperkirakan sedikit, tampak dari jumlah *noise* yang sedikit muncul pada ketiga variasi penambahan $K_3[Fe(CN)_6]$. *Noise* yang muncul kemungkinan akibat masih terdapatnya partikel suspensi pada sampel, dikarenakan pigmen Biru prusia memang relatif sulit larut pada hampir semua pelarut. Akan tetapi, pigmen Biru prusia cenderung relatif larut pada etanol [11]. Endapan pigmen setelah dibilas dengan aquades, dikeringkan pada desikator untuk menghasilkan padatan pigmen.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang sudah dikerjakan, jumlah mol Kalium ferisianida $K_3Fe(CN)_6$ mempengaruhi warna Biru prusia. Pigmen Biru prusia dengan warna lebih cerah & puncak spektra UV-Vis mendekati standar didapat pada penambahan mol Kalium ferisianida $K_3Fe(CN)_6$ pada titik ekuivalen, yaitu pada sampel 9,87 mmol $K_3[Fe(CN)_6]$ 30,37 mM yang direaksikan dengan 4,56 mmol $FeSO_4$ 0,018 mM 250 mL. Penambahan $K_3[Fe(CN)_6]$ berlebih, cenderung menggeser puncak spektra UV-Vis ke kanan/memperbesar panjang gelombang absorbansi pigmen Biru prusia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan Terima kasih kepada Bapak Dr. Hardeli, M.Si dan Bapak Miftahul Khair, S.Si., M.Sc., Ph.D yang telah memberikan masukan dan saran dalam penyelesaian penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Fandi Musthofa Ananda Saputra, A. Y. (2014). Sintesis Pigmen Magnetik Copper Ferrite ($CuFe_2O_4$) Berbahan Dasar Pasir Besi Menggunakan Metode Kopresipitasi. *Unnes Physics Journal*, 14-20.
- [2] Saputra, F. M. A. (2017). Sintesis Pigmen Magnetik Copper Ferrite Berbahan Dasar Pasir Besi Menggunakan Metode Kopresipitasi.
- [3] Syukriani, H. dkk. (2017). Struktur Stronsium Ferit Pasir Besi Batang Sukam Kabupaten Sijunjung Sumatera Barat. 6(3), 225–231.
- [4] Bethesda, N. C. (2021, 1). PubChem Compound Summary. CID 768, HCN, hal. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Hydrogen-cyanide#section=Vapor-Pressure>.
- [5] M.A. Legodi, D. d. (2006). The preparation of magnetite, goethite, hematite and maghemite of pigment quality from mill scale iron waste. *Elsevier*, 161-168.
- [6] Shunta Hirose, M. Y. (1970). A Modified Method Of The Prussian Blue Reaction For The Histochemical Demonstration Of Iron, And Its Application To The Colloidal Iron reaction Of Acid Mucopolysaccharides. *Acta Histochem Cytochem*, 18-27.
- [7] 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>
- [8] Wahyuni, M., & Aini, S. (2021). Sintesis Zat Warna Prussian Blue ($Fe_4[Fe(CN)_6]_3$) Berbahan Pasir Besi Alam. *Chemistry Journal of Universitas Negeri Padang*, 73-76.
- [9] Wahyuni, L. T. (2014). Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Pigmen (Biru)Prussian Blue Ferric Ferrocyanida ($Fe_4[Fe(CN)_6]_3$) Berbahan Pasir Besi Alam. *Perpustakaan Digital Universitas Negeri Malang*, 1-6.
- [10] Mahadhi. (2019, 11 5). Ultraviolet and Visible Spectroscopy. hal. <https://aavos.eu/glossary/uv-vis-spectrometry>.
- [11] Rohilla, S. et al. (2010). Synthesis of $Fe_4[Fe(CN)_6]_3 \cdot 14H_2O$ nanopowder by co-precipitation technique and effect of heat treatment. *Acta Physica Polonica A*, 118(4), 696–700. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.118.696>
- [12] 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>.
- [13] Aini, S. (2020). The Characterization of West Sumatera Iron Sand as a Raw Material to Synthesize Magnetic Nanoparticles. *Redwhite Press*, 144-147.
- [14] M.A. Legodi, D. d. (2006). The preparation of magnetite, goethite, hematite and maghemite of pigment quality from mill scale iron waste. *Elsevier*, 161-168.
- [15] Salomo, S. dkk. (2018). Sifat Magnetik Dan Ukuran Partikel Magnetik Serta Komposisi Material Pasir Besi Pantai Kata Pariaman Sumatera Barat Di Sintesa Dengan Iron Sand Separator Dan Ball Milling. *Journal Online of Physics*, 3(2), 11–14. <https://doi.org/10.22437/jop.v3i2.5730>
- [16] Moosvi, S. K., Majid, K., & Ara, T. (2016). Studying the electrical, thermal, and photocatalytic activity of nanocomposite of polypyrrole with the photoadduct of $K_3[Fe(CN)_6]$ and diethylenetriamine. *Department of Chemistry, National Institute of Technology Srinagar*, 1-8.
- [17] Yulianto, A. et al. (2003). Comparative Study on Magnetic Characterization of Iron Sand from Several Locations in Central Java. *Indonesian Journal of Physics*, 14(2), 63–66.
- [18] Gotoh, A. et al. (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>
- [19] Jian, W. (2019). Inorganic Chemistry Frontiers. Disentangling the role of oxygen vacancies, 6. <https://doi.org/10.1039/C9QI00351G>.
- [20] 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>
- [21] 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>
- [22] Nengsi, S. W. dkk. (2016). Karakterisasi Struktur Kristal dan Sifat Magnetik Maghemite ($\gamma-Fe_2O_3$) yang Dioksidasi dari Magnetit dari Pasir Besi Batang Sukam Kabupaten Sijunjung Sumatera Barat dengan Variasi Waktu Oksidasi. *Jurnal Fisika Unand*, 5(3), 248–251. (3), 248–251. <https://doi.org/10.25077/jfu.5.3.248-251.2016>