



Sintesis Pigmen Magnetik *Copper Ferrite* (CuFe_2O_4) Berbahan Dasar Pasir Besi Menggunakan Metode Kopresipitasi

Fandi Musthofa Ananda Saputra[✉], Agus Yulianto, & Mahardika Prasetya Aji

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia
Gedung D7 Lt. 2, Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang 50229

Info Artikel

Diterima April 2014
Disetujui Mei 2014
Dipublikasikan Juni 2014
ADA TANGGALNYA

Keywords:

pigment, magnetic, ferrite, coprecipitation

Abstrak

Pigmen menjadi salah satu potensi yang menarik dalam pemanfaatan pasir besi karena aplikasinya sebagai pewarna pada tinta dan cat. Pengolahan pasir besi menjadi pigmen magnetik dengan penambahan ion Cu (*Copper*) telah dilakukan menggunakan metode kopresipitasi. Proses pembuatan pigmen dimulai dengan pembentukan reaksi besi klorida dan tembaga klorida sebagai larutan prekursor (awal), yang selanjutnya ditambahkan larutan basa berupa NaOH untuk menghasilkan mekanisme pengendapan. Endapan dikeringkan pada temperatur 100° C selama 6 jam. Sintesis ini menghasilkan pigmen dengan warna coklat yang berbeda-beda seiring bertambahnya temperatur kalsinasi dari 100° C hingga 800° C. Analisa koordinat warna *Commission Internationale d'Eclairage* $L^*a^*b^*$ menunjukkan pigmen memiliki warna coklat terang ($L^* = 42.99$, $a^* = 6.01$, $b^* = 12.96$) hingga coklat gelap ($L^* = 29.76$, $a^* = 4.78$, $b^* = 6.01$). Nilai susceptibilitas masing-masing pigmen saat temperatur 100° dan 800° C sebesar $0,00258 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$ dan $0,9791 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$ yang menunjukkan pigmen ini tergolong material ferrimagnetik. Hasil XRD menunjukkan pembentukan struktur kubik untuk semua pigmen dengan ukuran kristal terbaik sebesar 90,69 nm. Analisa kualitatif ini juga merujuk pada database COD identik pada no: 96-101-2439 dengan fasa *Copper Ferrite* (CuFe_2O_4). Hasil karakterisasi XRF menunjukkan bahwa unsur yang memiliki komposisi tertinggi adalah tembaga (Cu) dan besi (Fe). Pengolahan pigmen magnetik dengan memanfaatkan warna coklat dan sifat kemagnetannya dapat diaplikasikan sebagai pewarna pada tinta pengaman.

Abstract

*Pigments become one of important iron sand for its application as a colorant in inks and paints. Processing of iron sand into a magnetic pigment with the addition of Cu (Copper) has been carried out using coprecipitation method. The process of synthesized pigment begins with the formation of iron chloride and copper chloride as the precursor solution (early) which is then added an alkaline solution such as NaOH to produced precipitation mechanism. The precipitate was dried at a temperature of 100° C for 6 hours. This synthesis produced a different brown color of pigment as by as increasing the calcination temperature from 100° C to 800° C. Analysis of the color coordinates of Commission Internationale d'Eclairage $L^*a^*b^*$ indicates pigment has a light brown color ($L^* = 42.99$, $a^* = 6.01$, $b^* = 12.96$) to dark brown ($L^* = 29.76$, $a^* = 4.78$, $b^* = 6.01$). Value of susceptibility of each pigment at temperature of 100° and 800° C is $0,00258 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$ and $0,9791 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$ showed that the pigment was classified as a ferrimagnetic material. The XRD results showed the formation of a cubic structure for all pigment with the optimum crystal size obtained at 90.69 nm. The qualitative analysis refers to the COD database on no: 96-101-2439 indicates the phase of Copper Ferrite (CuFe_2O_4). XRF characterization results that the highest composition of elements is copper (Cu) and iron (Fe). Synthesize of magnetic pigment becomes one of solution for advance iron sands utilization as a coloured security ink.*

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang sangat kaya akan sumber daya alam. Salah satu sumber daya alam yang sangat melimpah tersebut adalah pasir besi. Pasir besi merupakan pasir yang kaya akan kandungan besi (Fe). Umumnya kandungan besi tersebut dalam keadaan teroksidasi dan membentuk besi oksida, seperti magnetit (Fe_3O_4), hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), dan maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) (Yulianto, 2010). Perkembangan produk dalam upaya pemanfaatan pasir besi dalam bidang riset telah berkembang pesat seperti pigmen (Wahyuni dkk, 2014), magnet keramik (Sutka, 2010) dan tinta magnetik (Fajar, 2016). Salah satu yang menarik dalam pemanfaatan mineral besi oksida dalam pasir besi adalah pigmen.

Pigmen berbasis besi oksida biasanya didapat dalam bentuk spinel ferit dengan rumus MFe_2O_4 . Dengan M merupakan ion divalent yang memiliki muatan 2+ seperti Mg, Co, Cu (Amir dkk, 2015). Pigmen berbasis besi oksida semakin berkembang dengan berbagai macam aplikasi salah satunya adalah pigmen magnetik.

Sampai saat ini pigmen magnetik dapat dihasilkan dari berbagai macam ferit seperti barium ferit (BaFe_2O_4) dengan warna coklat yang digunakan sebagai tinta pengaman, kobalt ferit (CoFe_2O_4) dengan warna hitam yang digunakan sebagai kaset video dan disket (Buxbaum dkk, 2005). Rahman (2012) dalam penelitiannya menyebutkan sintesis magnesium ferit (MgFe_2O_4) menghasilkan warna ungu yang dapat diaplikasikan sebagai tinta uji keaslian uang. Minimnya warna dan sifat yang dihasilkan mendorong perlu dilakukannya penelitian mengenai pengolahan pigmen magnetik menggunakan jenis ferit yang berbeda.

Penambahan atau substitusi ion Cu (copper) pada besi oksida diharapkan akan membentuk material *Copper Ferrite* (CuFe_2O_4) dengan sifat kemagnetan yang masih baik. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Kader dkk (2014) penambahan ion Cu pada magnetit menghasilkan sifat ferrimagnetik pada temperatur diatas 900°C .

Naseri (2013) dalam penelitiannya menyebutkan pembentukan *Copper Ferrite*

(CuFe_2O_4) pada suhu $400^\circ\text{C} - 550^\circ\text{C}$ menghasilkan struktur kristal dan sifat ferromagnetik yang masih baik.

digunakan sebagai tinta pengaman, kobalt ferit (CoFe_2O_4) Merujuk penelitian oleh Costa (2013) telah berhasil menghasilkan pigmen keramik CuFe_2O_4 dengan metode sintesis gelatin sederhana. Hal ini memberikan

Informasi bahwa CuFe_2O_4 dapat diaplikasikan sebagai pigmen. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kopresipitasi. Metode kopresipitasi dipilih karena dapat menghasilkan partikel berukuran nano, sehingga akan diperoleh material yang memiliki sifat beragam (Kusumawati, 2013).

Maka berdasarkan permasalahan dan potensi dalam pemanfaatan CuFe_2O_4 perlu dilakukannya penelitian mengenai pengolahan pasir besi menjadi pigmen magnetik *Copper ferrite* (CuFe_2O_4). Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu solusi dari pemanfaatan pasir besi serta diaplikasikan lebih lanjut sebagai pewarna pada tinta pengaman.

METODE EKSPERIMEN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang. Eksperimen diawali dengan ekstrasi atau pemisahan magnetik pasir besi secara manual. Pasir besi dalam bentuk *bulk* dilakukan proses pemisahan bertujuan untuk memisahkan pengotor-pengotor yang terdapat pada pasir besi. Proses ekstrasi dilakukan secara berulang kali, sehingga pasir besi yang didapat benar-benar murni tanpa ada pengotor.

Proses sintesis menggunakan metode kopresipitasi dibutuhkan larutan awal berupa larutan prekursor. Dalam penelitian ini digunakan larutan awal berupa *Ferrous* Fe^{2+} dan *Ferice* Fe^{3+} dalam campuran magnetit (Fe_3O_4) dengan asam klorida dan *Copper* Cu^{2+} dalam campuran *Copper Oxide* dengan asam klorida. Berikut reaksi yang diajukan dalam pembuatan larutan garam klorida,

$$\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{HCl} \rightarrow \text{FeCl}_2 + 2\text{FeCl}_3 + 4\text{H}_2\text{O}$$

$$\text{CuO} + 8\text{HCl} \rightarrow \text{CuCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$$

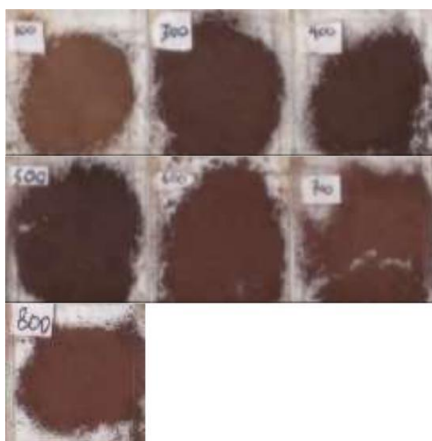
Kedua larutan prekursor kemudian dicampurkan dalam suhu kamar dengan lama pengadukan 2 jam. Hasil campuran dari kedua reaksi diatas dapat langsung digunakan sebagai bahan dasar proses sintesis metode kopresipitasi.

Proses kopresipitasi dilakukan dengan mencampurkan kedua larutan klorida yang diperoleh dengan larutan natrium hidroksida. Hasil campuran larutan garam klorida dicampur dengan larutan natrium hidroksida dengan perbandingan 1:1 (pH =10) dan dilakukan dalam suhu 85° C selama 6 jam. Endapan yang berbentuk seperti lumpur kemudian di cuci menggunakan aquades (hangat) untuk menghilangkan kandungan garam sampai menunjukkan pH = 7. Endapan dikeringkan dengan temperatur 100° C selama 6 jam. Serbuk kering kemudian diberikan perlakuan suhu dengan variasi suhu 300° – 800° C. Karakterisasi yang dilakukan adalah uji XRD, XRF, CIE L*a*b*, serta uji suseptibilitas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Warna

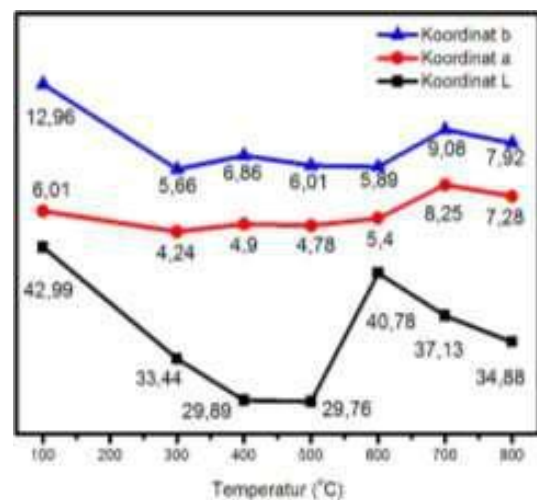
Pigmen telah berhasil disintesis, warna yang didapatkan adalah coklat. Terdapat perubahan warna yang signifikan pada saat temperatur kalsinasi 100° dengan warna coklat terang dan 800° dengan warna coklat gelap. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Costa dkk (2013) dimana pigmen menghasilkan warna coklat dengan tingkat kecerahan yang berbeda-beda pula. Berikut adalah pigmen degradasi warna yang dihasilkan,



Gambar 1. Degradasi warna pigmen yang terbentuk.

Perubahan warna yang terbentuk dari coklat terang menuju coklat gelap dipengaruhi oleh temperatur kalsinasi. Variabel temperatur menjadi variabel yang sering digunakan dalam mendapatkan material yang memiliki sifat beragam. Hal ini juga berpengaruh pada material pigmen, variabel temperatur akan mempengaruhi struktur dan fasa senyawa yang terbentuk, sehingga akan berpengaruh terhadap warna dari pigmen.

Berdasarkan data pengujian warna L*a*b* dapat dilihat perbedaan koordinat warna berdasarkan temperatur masing-masing pigmen (Gambar 2). Koordinat L* menunjukkan tingkat kecerahan dari sampel pigmen, dengan dimensi hitam menuju putih. Nilai koordinat L* tertinggi berada saat temperatur 100° artinya pigmen memiliki dimensi warna lebih terang. Seiring bertambahnya temperatur kalsinasi, koordinat L* mengalami penurunan nilai. Sehingga menyebabkan pigmen pada saat temperatur 300° dan 400° C memiliki warna yang cenderung gelap. Namun nilai koordinat L* naik secara signifikan pada temperatur 600° C menyebabkan pigmen memiliki warna coklat terang. Faktor ini juga diperkuat seperti Gambar 1 (e) dimana pada temperatur 600° C warna coklat yang dihasilkan lebih terang dibandingkan dengan sampel pigmen pada temperatur yang lainnya.



Gambar 2. Pengukuran nilai pigmen untuk koordinat L*a*b*

Menurut teori warna, warna coklat akan diperoleh dengan mencampurkan warna

merah dan hijau. Koordinat a^* memiliki nilai antara -120 sampai +120 dengan dimensi hijau sampai ke merah. Berdasarkan hasil pengukuran untuk koordinat a^* dapat dilihat bahwa seluruh pigmen memiliki koordinat mendekati nilai 0 (nol), artinya antara warna merah dan hijau memiliki komposisi yang hampir berimbang. Komposisi yang berimbang antara warna hijau dan merah akan menghasilkan pigmen dengan warna coklat yang dominan. Hal ini juga didukung dengan hasil pemeriksaan secara fisik (penglihatan) yang menyatakan pigmen memiliki warna coklat.

Respon Sampel terhadap Medan Magnet

Luar

Karakterisasi respon sampel terhadap medan magnet luar dilakukan dengan menggunakan prinsip bandul. Sebelumnya pigmen diformulasikan menjadi cat dan dilapiskan pada substrat. Substrat yang telah dilapisi sampel di anyunkan pada seutas tali yang salah satu ujungnya dikaitkan pada statif. Ketika magnet didekatkan sampel akan merespon medan magnet yang diberikan sehingga diperoleh sudut simpangan yang mengindikasikan bahwa sampel pigmen memiliki sifat magnetik. Hasil pengukuran ditunjukkan pada **tabel 1**.

Tabel 1. Hasil proses mencetak komposit

Sampel	Massa Substrat Total (gram)	Sudut Simpangan (°)
Cuferit 100	0,371	0
Cuferit 300	0,372	0
Cuferit 400	0,373	0
Cuferit 500	0,376	3
Cuferit 600	0,379	5
Cuferit 700	0,385	6
Cuferit 800	0,372	7

Pada tabel 1 menunjukkan terdapat simpangan yang dihasilkan saat magnet didekatkan terhadap sampel. Sudut simpangan yang didapat mengindikasikan bahwa sampel substrat merespon magnet dan pigmen merupakan produk yang memiliki sifat magnetik. Hasil pengukuran menunjukkan

terdapat simpangan sebesar 3° - 7° , namun simpangan hanya terjadi pada sampel Cuferit 500, 600, 700, 800. Respon terhadap magnet tidak terjadi pada sampel Cuferit 100, 300, 400. Salah satu faktor yang menyebabkan ini dapat terjadi adalah pada sampel tersebut pigmen memiliki struktur kristal yang belum sempurna. Setiap material memiliki respon yang beragam terhadap medan magnetik luar. Keadaan tersebut dikarenakan sifat magnetik yang dimiliki oleh material satu berbeda dengan material lainnya.

Uji Suseptibilitas

Hubungan antara semakintinggi temperatur kalsinasi terhadap nilai suseptibilitas pigmen ditunjukkan pada **tabel 2**. Hasil pengukuran menunjukkan nilai suseptibilitas pigmen CuFe_2O_4 berkisar $10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$, nilai ini dikategorikan sebagai material paramagnetik (Cornell & scwertmann). Pada saat temperatur 300° C pigmen CuFe_2O_4 memiliki nilai suseptibilitas yang rendah sebaliknya pigmen saat temperatur 800° C memiliki nilai suseptibilitas tinggi. Perbedaan nilai suseptibilitas dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah struktur kristal dan kandungan pengotornya. Kristalinitas yang terbentuk dari suatu bahan akan mempengaruhi kuat lemahnya nilai suseptibilitas magnetik, dimana kristalinitas menunjukkan banyaknya struktur kubik spinel dari pigmen CuFe_2O_4 . Kristalinitas yang baik dapat ditunjukkan dengan tingginya intensitas puncak-puncak pada pola XRD.

Tabel 2. Perbandingan nilai suseptibilitas pigmen CuFe_2O_4 terhadap temperature kalsinasi

Kode	Low frequency ($\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)		High frequency ($\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)	
	300° C	800° C	300° C	800° C
K1	25,4	9721	26,4	9930
K2	25,5	9724	26	9788
K3	25	9674	25	9655
	25,3	9706	25,8	9791

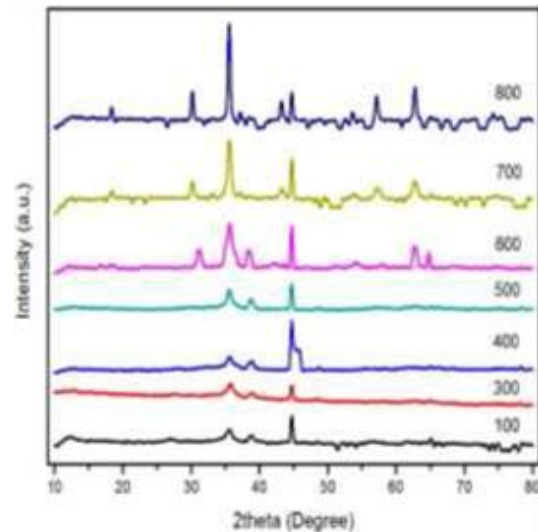
Secara mikroskopik, kuat lemahnya nilai suseptibilitas magnetik suatu bahan dipengaruhi oleh adanya pengotor dari pigmen tersebut. Dalam penelitian Nufus (2015) nilai

suseptibilitas *Copper Ferrite* akan semakin menurun seiring bertambahnya pengotor. Hadirnya pengotor dan kristalinitas sangat erat kaitannya dengan terbentuknya cacat kristal. Cacat kristal adalah keadaan dimana tidak sempurna susunan atom pada struktur kristal suatu bahan. Cacat kristal ini dapat berupa sisipan, kekosongan, dan ketidakmurnian atau karena hadirnya pengotor dari bahan dasar yang masih terdapat pada pigmen.

Karakterisasi XRD menelaah gambar 3 terlihat perubahan intensitas puncak-puncak pada setiap sampel dengan temperatur yang berbeda-beda. Hal ini menandakan bertambahnya temperatur dapat mengakibatkan terjadinya perubahan struktur fasa.

Ketidaktempurnaan fasa yang terbentuk pada temperatur 100°C sampai 500°C dikarenakan oleh beberapa faktor. Costa dkk (2013) dalam penelitiannya menyebutkan pembentukan fasa CuFe_2O_4 hanya terbentuk pada temperatur diatas 500°C. Temperatur dalam keadaan tidak optimal menyebabkan struktur tidak terbentuk sempurna menjadi fasa CuFe_2O_4 sehingga akan mempengaruhi sifat fisisnya. Faktor lain yang menyebabkan ketidaktempurnaan tersebut adalah pH yang tidak optimum pada saat proses kopresipitasi. Seperti dikutip oleh Willard dkk (2004) dalam penelitiannya, pengontrolan pH dalam pembentukan ferit sangat penting yaitu antara 8,6 – 14. Atia dkk (2011) menyebutkan bahwa untuk membentuk tembaga ferit nilai pH yang optimal berada pada nilai 12,5.

Pada hasil kualitatif karakterisasi XRD menunjukkan bahwa pada saat temperatur 600°C, 700°C dan 800°C terdapat puncak (peak) yang menunjukkan bahwa pigmen memiliki fasa CuFe_2O_4 dengan orientasi bidang masing-masing Tabel 3. Ukuran kristal pigmen (111), (220), (311), (222), (400), (511) dan (440). Analisa kualitatif ini merujuk juga pada database COD identik pada no: 96-101-2439 untuk semua pigmen dengan strktur kristal kristal *cubic* dan parameter kisi sebesar 8,3700 Å dengan space group $fd - 3m$.



Gambar 3. Pola *X-Ray Diffraction* pigmen dengan variasi temperatur kalsinasi

Ukuran kristal pigmen pada temperatur kalsinasi yang berbeda-beda berada pada rentang antara 23–90 nm seperti yang ditunjukkan pada tabel 3. Penambahan temperatur kalsinasi menghasilkan serbuk pigmen dengan ukuran kristal yang semakin baik dan mampu menghasilkan pigmen CuFe_2O_4 dengan orde nanometer (nm). Nilai ukuran kristal berbanding terbalik dengan nilai FWHM, sedangkan nilai FWHM dipengaruhi oleh intensitas masing-masing bidang kristal, dimana semakin kecil nilai FWHM maka nilai intensitas semakin tinggi.

Tabel 3. Ukuran kristal pigmen

SAMPEL	2θ (deg)	FWHM (deg)	Ukuran Kristal (nm)
Cuferit 100	35,62	0.8526	25,63
Cuferit 300	35.64	0.6616	32,89
Cuferit 400	35,61	0.9422	23,12
Cuferit 500	35.59	0.7188	30,23
Cuferit 600	35,6	0.7036	31,02
Cuferit 700	35.6	0,4422	49,26
Cuferit 800	35.56	0.2388	90,69

Pada tabel 3 menunjukkan perbedaan kristalinitas dari pigmen CuFe_2O_4 saat temperatur 300° C dan 800° C. Semakin bertambahnya temperatur kalsinasi menyebabkan kristalinitas dari pigmen semakin baik. Hubungan ini berkesesuaian dengan nilai suseptibilitas magnetik pigmen, nilai suseptibilitas akan tinggi ketika pigmen

dikalsinasi saat temperatur 800° C. Ketika kristalinitas suatu bahan besar maka momen dipol magnetik yang tersusun dalam bahan tersebut juga besar, begitu pula sebaliknya ketika struktur kristalnya kecil. Sehingga bahan yang memiliki kristalinitas besar akan mudah termagnetisasi apabila diberikan medan magnet eksternal.

Ukuran kristal ditentukan berdasarkan pelebaran puncak difraksi sinar-X yang dihitung menggunakan formula *Scherer*. Ukuran kristal pigmen pada temperatur kalsinasi yang berbeda-beda berada pada rentang antara 23–90 nm. Ukuran kristal yang terendah berada saat temperatur 400° C yaitu 23,12 nm dan terbaik pada saat temperatur 800° C yaitu 90,69 nm. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan temperatur kalsinasi menghasilkan serbuk pigmen dengan ukuran kristal yang semakin baik dan mampu menghasilkan pigmen CuFe₂O₄ dengan orde nanometer (nm). Nilai ukuran kristal yang diperoleh berbanding terbalik dengan nilai FWHM, sedangkan nilai FWHM dipengaruhi oleh intensitas masing-masing bidang kristal, dimana semakin kecil nilai FWHM maka nilai intensitas semakin tinggi.

Karakterisasi XRF

Pengujian XRF untuk mengetahui kandungan unsur diwakili sample pigmen dengan kalsinasi 100° C dan 800° C. Hasil XRF yang didapat menjelaskan terdapat unsur *impurities* (pengotor) lain, terlihat pada tabel 4.4 menunjukkan komposisi yang dominan (terbesar) merupakan besi (Fe) dan tembaga (Cu) dengan masing-masing kandungan sebesar 56,02; 56,49 dan 37,9; 37,3. Data kandungan unsur pigmen magnetik membenarkan mengenai struktur kristal yang terbentuk adalah tembaga ferit dikarenakan komposisi terbesar berupa besi dan tembaga.

Keberadaan pengotor unsur lain yang terdeteksi pada hasil karakterisasi XRF menunjukkan bahwa sampel pigmen yang dihasilkan tidak terlepas dari unsur pengotor yang ada didalamnya. Kandungan dalam pasir besi tidak sepenuhnya murni besi (Fe) tetapi dalam bentuk unsur-unsur dan mineral yang lain (heterogen). Hal ini yang menyebabkan sulit untuk menghindarkan adanya pengotor unsur-unsur lain dalam pigmen. Banyaknya

pengotor yang terdapat pada pigmen akan mempengaruhi nilai suseptibilitas dari CuFe₂O₄.

Tabel 4. Komposisi unsur penyusun dari pigmen

Kandungan	Jumlah (%)	
	Kalsinasi 100°C	Kalsinasi 800°C
P	0,2	0,1
Ca	0,66	0,68
Ti	2,54	2,70
V	0,26	0,27
Cr	0,097	0,098
Mn	0,52	0,52
Fe	56,02	56,49
Ni	0,55	0,54
Cu	37,9	37,3
Rb	0,53	0,52
Eu	0,52	0,61
Yb	0,2	0,2

Hasil karakterisasi XRF memberikan perbandingan komposisi yang telah sesuai dengan pembentukan tembaga ferit (CuFe₂O₄), bahwa perbandingan komposisi antara Fe dan Cu mendekati 2:1. Homogenitas senyawa terlihat dari komposisi unsur pigmen yang stabil. Hal ini menunjukkan penggunaan metode kopresipitasi memberikan homogenitas yang baik terhadap pembentukan senyawa.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan, sebagai berikut:

1. Pigmen magnetik berbahan dasar pasir besi telah berhasil disintesis menggunakan metode kopresipitasi. Karakterisasi XRD menunjukkan bahwa pada saat temperatur 600° C, 700° C dan 800° C terdapat puncak (peak) yang menunjukkan bahwa pigmen memiliki fasa CuFe₂O₄ (*Copper ferrite*) dengan struktur kristal kubik. Hasil XRF yang didapat menjelaskan senyawa pembentukan pigmen dengan komposisi unsur terbesar yaitu Cu dan Fe. Berdasarkan hubungan tersebut maka dapat disimpulkan bahwa sampel pigmen

yang dihasilkan merupakan tembaga ferit (CuFe_2O_4).

- Hasil akhir berupa pigmen berwarna coklat dengan tingkat kecerahan yang berbeda-beda seiring dengan kenaikan temperatur kalsinasi. Saat temperatur 800°C pigmen CuFe_2O_4 yang dihasilkan memiliki respon tertinggi terhadap medan magnet luar dengan nilai suseptibilitas sebesar $0,9930 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$ dan tergolong sebagai ferrimagnetik.

DAFTAR PUSTAKA

- Amir. Md., H. Erdemi, M. Galeri, A. Baykal. 2015. Electrical Properties of Cu Substituted Fe_3O_4 Nanoparticles. *Media New York* 2015.
- Atia, T.A., P. Altimari, E. Moscardini, I. Petiti, L. Toro, F. Pananelli. 2016. Synthesis and Characterization of Copper Ferrite Magnetic Nanoparticles by Hydrothermal Route. *Journal of Chemical Engineering* vol. 47. Buxbaum, G. dan G. Pfaff. 2005. *Industrial Inorganic Pigment*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA.
- Cornell, R.M. & U. Schwertmann. 2003. *The Iron Oxide* (2nd ed.). Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH and Co.
- Costa, A.F., P.M. Pimentel, F.M. Aquino, D.M.A. Melo, M.A.F. Melo, dan I.M.G. Santos. 2013. Gelatin synthesis of CuFe_2O_4 and CuFeCrO_4 ceramic pigments. *Mater Lett.*
- Fajar. D. P, 2016. *Fabrikasidan Karakterisasi Tinta Magnetik Berbahan Dasar Pasir Besi*. Skripsi. Semarang: Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang.
- Kader, S.S., Deba, P.P., Shaikh, M.H. 2014. Effect of Temperature on the Structural and Magnetic Properties of CuFe_2O_4 Nano Particle Prepared by Chemical Co-Precipitation Method. *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*. Vol. 2. No. 1.
- Kusumawati, T.A. 2013. *Sntesis Nanopartikel Pigmen Oksida Besi Hitam (Fe_3O_4) Merah (Fe_2O_3) dan Kuning (FeOOH) Berbasis Pasir Besi Tulungagung*. Skripsi. Malang: Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Malang.
- Naseri M.G., Elias B.S., Hossein A.A., Abdul H.A. 2013. Fabrication, characterization, and magnetic properties of copper ferrite nanoparticles prepared by a simple, thermal-treatment method. *Materials Research Bulletin* 48 (2013) 1439–1446.
- Nufus, A. 2015. *Studi Hubungan Tetapan Suseptibilitas Magnet Terhadap Ukuran Partikel dan Struktur Kristal pada Nanopartikel Magnetik Copper Ferrite(CuFe_2O_4)*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Semarang.
- Rahman, T.P. 2012. *Sintesis Pewarna Magnetik Berbahan Dasar Besi Oksida*. Sripsi. Semarang: Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang.
- Wahyuni, L.T., N. Mufti, dan Yudyanto. *SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL PIGMEN (BIRU) PRUSSIAN BLUE FERRIC(III) HEXACYANOFERRATE(II) ($\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$) BERBAHAN DASAR PASIR BESI ALAM*. Skripsi. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Willard, M. A., L.K. Kurihara, E. E. Carpenters, S. Calvin and V. G. Harris. 2004. *Chemically Prepared Magnetic Nanoparticles*. *International Materials Review* vol. 49 no. 3-4.
- Yulianto, A., dan Aji, Mahardika Prasetya. *Fabrikasi Mn-Ferit Dari Bahan Alam Pasir Besi Serta Aplikasinya Untuk Core Induktor*. Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIV HFI Jateng & DIY, Semarang 10 April 2010 hal. 128-133.