



SINTESIS PIGMEN MAGNETIK *COPPER FERRITE*

(CuFe_2O_4) BERBAHAN DASAR PASIR BESI

MENGGUNAKAN METODE KOPRESIPITASI

Skripsi
disusun sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika

UNNES

oleh,

Fandi Musthofa Ananda Saputra

4211412026

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

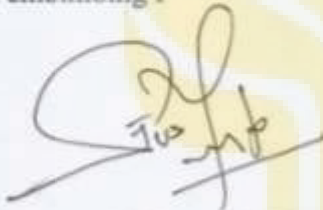
2017

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang ujian skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

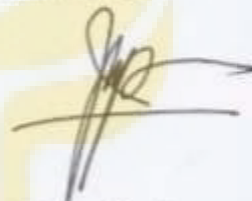
Semarang, 21 Februari 2017

Pembimbing I



Dr. Agus Yulianto, M.Si.
NIP 19660705 199003 1 002

Pembimbing II



Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si.
NIP 19810815 200312 1 003

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi yang berjudul **“Sintesis Pigmen Magnetik *Copper Ferrite* (CuFe_2O_4) Berbahan Dasar Pasir Besi Menggunakan Metode Kopresipitasi”** disusun berdasarkan hasil penelitian saya dengan arahan dosen pembimbing. Sumber informasi atau kutipan yang berasal dari karya yang diterbitkan telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Semarang, 21 Februari 2017



Fandi Musthofa Ananda Saputra
4211412026

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

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

Disusun oleh

Nama : Fandi Musthofa Ananda Saputra

NIM : 4211412026

Telah dipertahankan dihadapan sidang panitia ujian skripsi FMIPA UNNES pada
tanggal 21 Februari 2017

Panitia,



Ketua,
Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si., Akt.
NIP 19641223 198803 1 001

Sekretaris

Dr. Suharto Linuwih, M.Si.
NIP 19680714 199603 1 005

Ketua Penguji

Dr. Masturi M.Si.
NIP 19810307 200604 1 002

Anggota Penguji I

Dr. Agus Yulianto, M.Si.
NIP 19660705 199003 1 002

Anggota Penguji II

Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si.
NIP 19810815 200312 1 003

MOTTO

Motto:

- *“...Dan tolong-menolonglah kalian dalam melaksanakan kebajikan dan takwa, dan jangan tolong-menolong dalam dosa dan permusuhan.”*

(Al-Maidah, surah ke-5, ayat 2)

- **JAGALAH ALAM NISCAYA ALAM AKAN MENJAGA KITA**

(PALAFI)



UNNES PERSEMBAHAN
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Untuk Bapak, Ibu, Adek dan saudaraku

Sahabat-sahabat sekalian

Bapak dan Ibu guru

PRAKATA

Bismillahirrohmanirrohim,

Segala puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT, Dzat yang menguasai seluruh alam semesta atas segala limpahan rahmat, hidayah, serta limpahan karunia yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Sintesis Pigmen Magnetik *Copper Ferrite* (CuFe_2O_4) Berbahan Dasar Pasir Besi Menggunakan Metode Kopresipitasi”** dengan baik.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis mendapatkan banyak bantuan baik moril dan materil dari berbagai pihak. Maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
3. Ketua Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.
4. Koordinator Program Studi Fisika Universitas Negeri Semarang.
5. Dr. Agus Yulianto M.Si., dosen pembimbing I yang telah membimbing dengan penuh kesabaran dan selalu memberikan saran, arahan, dan motivasi.
6. Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si., dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan saran dan motivasi kepada penulis selama penyusunan skripsi.

7. Dr. Masturi, M.Si., selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak pengetahuan dan saran-saran membangun.
8. Dr. Agus Yulianto, M.Si., selaku dosen wali atas bimbingan, motivasi, semangat dan arahan selama menempuh kuliah di tingkat sarjana.
9. Rodhotul Muttaqin, S.Si yang telah membantu dalam hal pengujian sampel selama penelitian skripsi.
10. Bapak dan Ibu yang senantiasa mendoakan dan memberikan arahan serta memberikan dukungan baik secara moral maupun materil yang tak henti-hentinya diberikan.
11. Sahabat Fisika 2012 yang selalu menyemangati dan memberikan doa kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.
12. Seluruh keluarga besar Pecinta Alam Fisika (PALAFI), tempat paling menyenangkan untuk berkumpul dan menenangkan diri.
13. Sahabat Magnetic Laboratory: Yani, Margi, Sobirin, Sapta, Aldi, Ipin, yang selalu menyemangati, mendukung, dan menjadi teman sharing selama kuliah dan penelitian.
14. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang membantu menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan karena keterbatasan yang dimiliki penulis. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri dan bagi pembaca sekalian. Penulis juga mengharapkan saran dan kritik demi menyempurnakan

penelitian ini. Semoga penelitian yang telah dilakukan dapat menjadikan sumbangsih bagi kemajuan dunia riset indonesia.

Semarang, 21 Februari 2017

Penulis



ABSTRAK

Saputra, Fandi Musthofa Ananda. 2017. *Sintesis Pigmen Magnetik Copper Ferrite (CuFe₂O₄) Berbahan Dasar Pasir Besi Menggunakan Metode Kopresipitasi*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Pembimbing Utama Dr. Agus Yulianto, M.Si dan Pembimbing Pendamping Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si.

Kata Kunci: pigmen, magnetik, ferit, kopresipitasi

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 wana *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* (CuFe₂O₄). Hasil karakterisasi XRF menunjukkan bahwa unsur yang memiliki komposisi tertinggi adalah tembaga (Cu) dan besi (Fe). Berdasarkan hubungan tersebut maka dapat disimpulkan bahwa sampel pigmen yang dihasilkan merupakan tembaga ferit (CuFe₂O₄). Pengolahan pigmen magnetik dengan memanfaatkan warna coklat dan sifat kemagnetannya dapat diaplikasikan sebagai pewarna pada tinta pengaman.

DAFTAR ISI

	Halaman
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PERNYATAAN.....	iii
PENGESAHAN.....	iv
MOTTO	iv
PRAKATA.....	vi
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat.....	5
1.6 Sistematika Penulisan Skripsi	5

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Mineral Besi Oksida.....	7
2.2 Sifat Kemagnetan Bahan.....	8
2.2.1 Diamagnetik.....	9
2.2.2 Paramagnetik.....	10
2.2.3 Ferromagnetik.....	10
2.3 Pigmen.....	11
2.4 Spinel Ferit.....	12
2.4.1 Normal spinel Ferrites.....	14
2.4.2 Mixed spinel Ferrites.....	14
2.4.3 Inversed spinel Ferrites.....	14
2.5 Metode Kopresipitasi.....	15
2.6 Difraksi Sinar X.....	16
2.7 Model Warna CIE-LAB.....	19
BAB 3 METODE PENELITIAN	22
3.1 Pelaksanaan Penelitian.....	22
3.2 Alat dan Bahan.....	22
3.2.1 Alat.....	22
3.2.2 Bahan.....	23
3.3 Eksperimen.....	23

3.1	Ekstraksi Pasir Besi	23
3.2	Larutan Besi Klorida dan Tembaga Klorida.....	24
3.3	Proses Sintesis Metode Kopesipitasi	25
3.4	Karakterisasi Sampel	26
3.4.1	Uji koordinat warna pigmen.....	26
3.4.2	Suseptibilitas magnetik	26
3.4.3	Karakterisasi respon sample terhadap medan magnet luar	26
3.4.4	XRD (X-Ray Diffraction).....	27
3.4.5	Karakterisasi XRF (X-Ray Fluorescence)	28
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		30
4.1	Sintesis serbuk <i>Copper Ferrite</i> (CuFe_2O_4).....	30
4.1.1	Pembuatan Larutan Garam Klorida	30
4.1.2	Proses Kopesipitasi.....	31
4.2	Karakterisasi Warna Pigmen	33
4.3	Karakterisasi Sifat Magnetik Pigmen.....	36
4.3.1	Respon sampel terhadap medan magnet luar	36
4.3.2	Uji Suseptibilitas	38
4.4	Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	40
4.5	Karakterisasi <i>X-Ray Flurosense</i> (XRF).....	44
BAB 5 PENUTUP.....		47

5.1	Simpulan.....	47
5.2	Saran.....	48
	DAFTAR PUSTAKA.....	49
	LAMPIRAN.....	53



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Jenis besi oksida-hidroksida, hidroksida dan oksida	8
.....	
Tabel 2.2 Beberapa contoh bahan diamagnetik	9
.....	
Tabel 2.3 Beberapa contoh bahan paramagnetik	10
.....	
Tabel 2.4 Beberapa ferit yang dihasilkan dari metode kopresipitasi	16
.....	
Tabel 4.1 Hasil pengukuran sudut simpangan pigmen	38
.....	
Tabel 4.2 Perbandingan nilai suseptibilitas pigmen CuFe_2O_4 terhadap temperatur kalsinasi	39
.....	
Tabel 4.3 Ukuran kristal dari pigmen	43
.....	
Tabel 4.4 Komposisi unsur penyusun dari pigmen	45
.....	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Besi oksida pada sistem global	7
.....	
Gambar 2.2 Diagram skematik untuk unit sel dari spinel ferit	13
.....	
Gambar 2.3 Distribusi kation pada <i>normal spinel ferrite</i>	14
.....	
Gambar 2.4 Distribusi kation pada <i>mixed spinel ferrite</i>	14
.....	
Gambar 2.5 Distribusi kation pada <i>inversed spinel ferrite</i>	15
.....	
Gambar 2.6 Hamburan sinar-X pada kristal	17
.....	
Gambar 2.7 Prinsip kerja X-Ray Diffraction	18
.....	
Gambar 2.8 Skema diagram L^*a^*b	20
.....	
Gambar 3.1 Karakterisasi pigmen terhadap medan magnet luar	27
.....	
Gambar 3.2 Diagram alir proses sintesis pigmen	29
.....	

Gambar 4.1 (a) Larutan garam besi klorida (b) Larutan tembaga klorida	31
.....	
Gambar 4.2 Endapan hasil presipitasi dengan penambahan larutan natrium	32
hidroksida (NaOH)	
.....	
Gambar 4.3 Degradasi warna pigmen untuk temperatur kalsinasi	34
.....	
Gambar 4.4 Pengukuran nilai pigmen untuk (a) Koordinat L (b) koordinat a	35
(c) koordinat b	
Gambar 4.5 Respon sampel terhadap medan magnet luar	37
.....	
Gambar 4.6 Pola <i>X-Ray Diffraction</i> sampel pigmen CuFe_2O_4 dengan variasi	41
temperatur kalsinasi.....	

DAFTAR LAMPIRAN

					Halaman
Lampiran	1	Data	hasil	karakterisasi	XRF 53
.....					
Lampiran	2	Data	hasil	karakterisasi	XRD 55
.....					
Lampiran	3	Perhitungan	dan	Persamaan	reaksi dalam sintesis 59
.....					
Lampiran	4	Perhitungan ukuran kristalin pigmen menggunakan metode			
		<i>Debye</i>		<i>Schererr</i>	60
.....					
Lampiran	5	Komposisi	pembuatan	pigmen	62
.....					
Lampiran	6	Foto	formulasi	pigmen	menjadi cat 63
.....					
Lampiran	7	Foto-foto		kegiatan	63
.....					

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara yang sangat kaya akan sumber daya alam. Salah satu sumber daya alam yang sangat melimpah tersebut adalah pasir besi. Ketersediaannya yang sangat besar di wilayah Indonesia menjadi potensi yang menarik untuk dikembangkan dalam bidang penelitian dan industri. Salah satu kajian yang menarik dari pasir besi adalah penelitian struktur kristal dan sifat kemagnetannya (Fuad dkk, 2010). 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 merupakan zat pewarna yang banyak diaplikasikan sebagai tinta, cat, dan toner mesin foto copy (Sukma, 2013).

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 oksida besi memiliki keunggulan yaitu sifat tidak beracun, kestabilan kimia dan banyaknya variasi warna yang dihasilkan mulai dari kuning, *orange*, merah, coklat sampai hitam

(Kusumawati, 2013). Pigmen berbasis besi oksida semakin berkembang dengan berbagai macam aplikasi salah satunya adalah pigmen magnetik.

Pigmen magnetik tergolong sebagai *spcecially pigment* yang diaplikasikan sebagai tinta uji keaslian uang (Rahman, 2012), tinta pengaman, sistem penyimpanan informasi magnetik, audio dan kaset video, disket, hard disk, dan kaset komputer (Buxbaum dkk, 2005). Sampai saat ini pigmen magnetik telah 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 ion baru pada besi oksida akan berdampak secara langsung terhadap karakteristik dari pigmen, hal ini dimaksudkan agar terbentuk warna dan sifat yang lebih beragam. 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.

Saat ini, CuFe_2O_4 telah banyak diaplikasikan terutama dalam sensor gas, fabrikasi hidrogen dan katalis (Jiang dkk, 1999). 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. 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).

Pada penelitian ini dilakukan kajian mengenai karakteristik warna & sifat kemagnetan CuFe_2O_4 hasil sintesis kopresipitasi menggunakan bahan dasar pasir besi. 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). Produk dari metode kopresipitasi diupayakan memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dan lebih homogen daripada metode *solid state* dan ukuran partikel yang lebih besar dari pada metode sol-gel. Metode ini membutuhkan larutan precusor utama (asam) dan larutan presipitat (basa) untuk memperoleh endapan. Endapan inilah yang akan menjadi produk atau hasil akhir sintesis pigmen. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu solusi dari pemanfaatan pasir besi serta diaplikasikan lebih lanjut sebagai pewarna pada tinta uji keaslian uang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, rumusan masalah yang akan dikaji dalam peneltian ini adalah:

1. Bagaimanakah penerapan metode kopresipitasi dalam pembuatan serbuk *Copper ferrite* CuFe_2O_4 menggunakan bahan dasar pasir besi?
2. Bagaimana karakteristik warna dan sifat magnetik yang dihasilkan oleh serbuk *Copper ferrite* CuFe_2O_4 ?

1.3 Batasan Masalah

Dari latar belakang yang telah dipaparkan dibutuhkan pembatasan masalah agar ruang lingkup penelitian tidak meluas. Batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Bahan Magnetit (Fe_3O_4) yang digunakan merupakan hasil ekstraksi dari pasir besi Laboratorium Kemagnetan Bahan Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.
2. Ion kromofor yang digunakan adalah Tembaga Oksida (CuO) produk mutu proanalisis.
3. Asam klorida dan natrium hidroksida (*caustic soda*) yang digunakan merupakan produk mutu teknis.
4. Karakterisasi yang dilakukan meliputi:
 - a. Karakterisasi dengan CIELab untuk mengetahui koordinat warna dari pigmen
 - b. Pengujian respon medan magnet luar dan uji suseptibilitas untuk mengetahui sifat magnetik bahan
 - c. Karakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur dan fasa kristal

d. Karakterisasi dengan *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui kandungan unsur yang terdapat dalam pigmen.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Memperoleh produk pewarna magnetik *Copper ferrite* (CuFe_2O_4) menggunakan bahan dasar pasir besi.
2. Mengetahui karakteristik pigmen yang dihasilkan meliputi, warna, sifat magnetik, fasa kristal dan ukuran kristal.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dalam penelitian ini adalah mendapat informasi mengenai karakteristik pigmen sekaligus mengangkat pengolahan sumber daya lokal berupa pasir besi serta memberikan alternatif solusi terhadap pengolahan pasir besi yang ada Indonesia. Hasil penelitian ini berupa pigmen magnetik yang dapat digunakan sebagai pewarna pada tinta, cat, keramik, dan lain-lain.

1.6 Sistematika Penulisan Skripsi

Penulisan skripsi ini secara garis besar dibagi menjadi tiga bagian yaitu bagian awal skripsi, bagian isi skripsi dan bagian akhir skripsi. Bagian awal skripsi terdiri dari halaman judul, persetujuan pembimbing, pengesahan pembimbing, pernyataan, halaman pengesahan, motto dan persembahan, prakata, abstrak, daftar isi, daftar tabel, daftar gambar dan daftar lampiran.

Bagian isi skripsi terdiri dari 5 bab yaitu Bab 1 Pendahuluan, Bab 2 Landasan Teori, Bab 3 Metode Penelitian, Bab 4 Hasil dan Pembahasan serta Bab 5 Kesimpulan dan Saran.

BAB 1. Pendahuluan, berisi tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab 2. Landasan Teori, berisi teori-teori dan konsep-konsep yang mendukung penelitian.

Bab 3. Metode Penelitian, berisi tempat pelaksanaan penelitian, alat dan bahan yang digunakan, dan langkah kerja yang dilakukan dalam penelitian.

Bab 4. Hasil Penelitian dan Pembahasan, dalam bab ini berisi pembahasan tentang hasil penelitian yang telah dilakukan.

Bab 5. Simpulan dan Saran, berisi simpulan dan saran berdasarkan hasil penelitian.

Pada bagian akhir skripsi terdapat daftar pustaka dan lampiran.

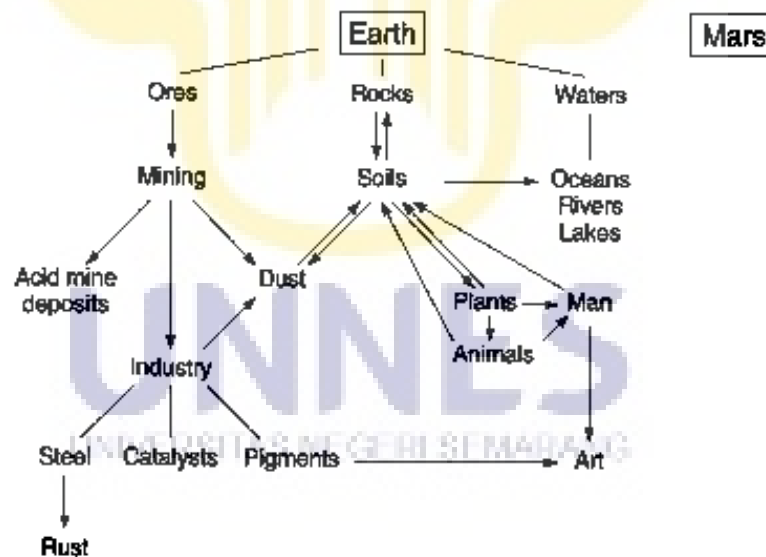


BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mineral Besi Oksida

Besi oksida adalah senyawa umum yang keberadaannya tersebar di alam dan dalam keadaan siap untuk disintesis di laboratorium. Sekarang ini banyak dari senyawa oksida besi berada pada ruang-ruang yang berbeda pada sistem global meliputi: atmosphere, pedosphere, biosphere, hydrosphere dan lithosphere dan mengambil bagian pada berbagai macam timbal balik ruang-ruang ini, yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Besi oksida pada sistem global (Cornel & Schwertmann, 2003)

Besi oksida adalah senyawa kimia yang terdiri dari besi dan oksigen. Terdapat 16 besi oksida (Tabel 2.1) yang dapat dibedakan menjadi oksida,

hidroksida, dan oksida-hidroksida. Besi oksida tersusun dari Fe bersama-sama dengan O dan/atau OH. Kebanyakan besi mempunyai struktur trivalent, seperti FeO, Fe(OH)₂, dan Fe₃O₄ memiliki ion Fe²⁺.

Tabel 2.1. Jenis besi oksida-hidroksida, hidroksida dan oksida (Cornel & Schwertmann, 2003)

<i>Oxide-hydroxides and hydroxides</i>	<i>Oxides</i>
Goethite α -FeOOH	Hematite β -Fe ₂ O ₃
Lepidocrocite γ -FeOOH	Manetite Fe ₃ O ₄ (Fe ^{II} Fe ₂ ^{III} O ₄)
Akageneite β -FeOOH	Mahemite γ -Fe ₂ O ₃
Scwertmannite Fe ₁₆ O ₁₆ (OH) _y (SO ₄) _z · n H ₂ O	β -Fe ₂ O ₃
δ -FeOOH	ϵ -Fe ₂ O ₃
Feroxyhyte δ -FeOOH	Wustite FeO
High pressure FeOOH	
Ferrihydrite Fe ₅ HO ₈ · 4H ₂ O	
Bernalite Fe(OH) ₃	
Fe(OH) ₂	
Green Rusts Fe _x ^{III} Fe _y ^{II} (OH) _{3x+2y-z} (A) _z ; A=Cl ⁻ ; SO ₄ ²⁻	

2.2 Sifat Kemagnetan Bahan

Sifat magnet dari suatu bahan dipengaruhi oleh bilangan kuantum keempat yang dikenal sebagai bilangan kuantum spin (m_s). Bilangan kuantum spin arah dari gerakan elektron mengelilingi inti atom. Spin elektron memiliki nilai $-1/2$ jika elektron berlawanan arah dengan jarum jam, dan bernilai $+1/2$ jika elektron bergerak seara dengan jarum jam. Pengaruh dari gerakan elektron dalam atom yang saling berlawanan ini akan menimbulkan suatu gaya yang disebut momen magnetik, dimana resultannya akan sama dengan nol jika momen yang dihasilkan oleh gerakan elektron yang bernilai $+1/2$ diimbangi dengan gerakan elektron yang bernilai $-1/2$.

Secara mikroskopis, didalam bahan magnet terjadi arus-arus kecil karena elektron beredar mengelilingi inti dan elektron berputar pada sumbunya (berotasi). Berdasarkan sifat medan magnet atomis, bahan magnetik dibagi menjadi beberapa jenis yaitu:

2.2.1 Diamagnetik

Bahan diamagnetik tidak memiliki momen dipol magnet permanen. Didalam bahan diamagnetik, magnetisasi terjadi bila ada medan yang bekerja dari luar, berarti bila \vec{H} (medan magnet luar) berhenti maka \vec{M} (magnetisasi) akan hilang. Sifat diamagnetik bahan ditimbulkan oleh gerak orbital elektron. Suatu bahan dapat bersifat magnet apabila susunan atom bahan tersebut mempunyai spin elektron yang tidak berpasangan. Dalam bahan diamagnetik hampir semua spin elektron berada dalam keadaan berpasangan, akibatnya bahan ini tidak menarik garis gaya. Sifat diamagnetik memiliki nilai suseptibilitas X_m yang sangat kecil (negatif).

Tabel 2.2. Beberapa contoh bahan diamagnetik

No	Bahan	X_m (m^3/kg)
1	Perak	$-2,4 \times 10^{-5}$
2	Emas	$-3,5 \times 10^{-5}$
3	tembaa	$-0,98 \times 10^{-5}$
4	Air raksa (Hg)	$-2,8 \times 10^{-5}$
5	Bismut	$-16,4 \times 10^{-5}$
6	Intan	$-2,2 \times 10^{-5}$
7	Hidrogen	$-0,22 \times 10^{-8}$
8	Karbondioksida (1 atm)	$-1,19 \times 10^{-8}$
9	Nitrogen (1 atm)	$-0,67 \times 10^{-8}$

2.2.2 Paramagnetik

Bahan paramagnetik memiliki momen magnet permanen yang berinteraksi satu dengan yang lain, akan tetapi secara keseluruhan arahnya acak. Apabila diberi medan magnet luar, arah dipol magnet akan cenderung berbaris seara tetapi setelah medan magnet luar dihentikan maka orientasi arah momen dipol magnetnya kembali pada keadaan semula (acak). Sifat paramagnetik memiliki nilai suseptibilitas X_m positif yang kecil. Sifat paramagnetik memiliki suseptibilitas magnetik dalam bahan berkisar antara 10^{-6} sampai 10^{-2} .

Tabel 2.3. Beberapa contoh bahan paramagnetik

No	Bahan	X_m (m^3/kg)
1	Natrium	$0,84 \times 10^{-5}$
2	Magnesium	$1,2 \times 10^{-5}$
3	Oksien (1 atm)	$193,5 \times 10^{-8}$
4	Tungsten	$7,6 \times 10^{-5}$
5	Titan	18×10^{-5}
6	Aluminium	$2,1 \times 10^{-5}$
7	GdCl ₃	603×10^{-5}

2.2.3 Ferromagnetik

Bahan ferromagnetik pada dasarnya memiliki sifat seperti bahan paramagnetik yaitu bersal dari spin elektron, tetapi pada material ferromagnetik menghasilkan magnet permanen dan ini dapat menunjukkan kecenderungan dari spin elektron untuk tidak berubah arah meskipun medan magnet luar ditiadakan.

Kemudian bila medan magnet luar diperbesar lagi, maka arah pada setiap domain menjadi lebih sejajar dan efek ini terus berlanjut hingga mencapai pada keadaan jenuh. Keadaan jenuh ini akan terjadi bila sejumlah fraksi tertentu spin elektron telah berbaris kesatu arah. Keadaan dimana semua spin elektron terarahkan sepenuhnya hanya mungkin terjadi pada suhu rendah. Jika suhu dinaikkan magnetisasi jenuh berkurang, mula-mula turun secara perlahan kemudian bertambah dengan cepat hingga mencapai suhu kritis, yang disebut temperatur *Curie* (T_c). Diatas temperatur curie, bahan tidak bersifat ferromagnetik tetapi berubah menjadi paramagnetik. Bahan ferromagnetik adalah bahan yang mudah menyalurkan garis gaya magnet. Contoh bahan ini adalah Fe, Co, Ni, dan Gd.

2.3 Pigmen

Kata pigmen berasal dari Latin (*pigmentum*). Awalnya menandakan sebuah warna dalam bidang pewarnaan, namun seiring berkembang waktu dikaitkan dalam bidang pewarnaan dekorasi (Buxbaum dkk, 2005). Warna merupakan aspek yang penting dalam setiap produk. Keindahan dalam aspek pewarnaan akan meningkatkan pertimbangan penjualan dan pembelian. Karenanya, banyak produk keramik, tile, sanitari were, table were, dan porcelain mengandung pewarnaan melalui proses dispersi mekanik sederhana (Candeia dkk, 2004).

Pigmen atau zat pewarna dibagi menjadi dua jenis yaitu pigmen alami dan pigmen buatan. Pewarna alami dapat dipakai sebagai tambahan makanan, tetapi beberapa pewarna sintetis terutama karotenoid, dianggap sama dengan pewarna alam sehingga tidak perlu pemeriksaan toksikologi secara ketat (Dziezak,1988).

Sedangkan untuk pigmen buatan dalam penggunaannya dibutuhkan pengawasan karena menggunakan bahan kimia yang berbahaya pada proses pembuatannya.

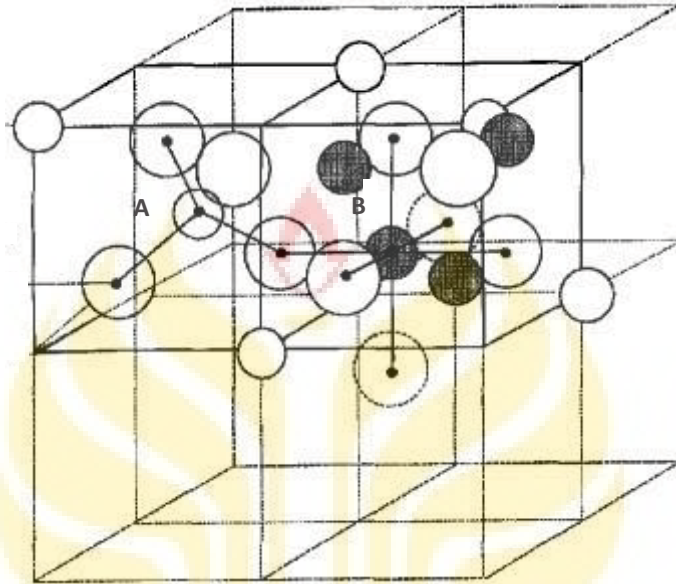
Klasifikasi pigmen anorganik terbagi berdasarkan sudut pandang terdiri dari 9 kelas (*white pigments, black pigments, colored pigments, metal effect pigments, interference pigments, luminescent pigments, fluorescent pigment dan phosphorescent pigments*) (Buxbaum dkk, 2005). Berdasarkan klasifikasinya Pigmen Besi oksida dapat dikategori kedalam *black pigment* (magnetit), *colored pigment* (goethit dan maghemit), dan *metal effect pigment* (hematit). Pigmen yang berbasis magnetit akan menghasilkan warna hitam, berbasis hematit akan menghasilkan warna merah dan berbasis maghemit akan menghasilkan warna coklat.

Karakteristik warna akhir masing-masing dari pigmen berbeda-beda bergantung pada penambahan ion kromofor (biasanya logam transisi) dalam ikatan spinelnya. Bentuk rumus spinel yang sering digunakan adalah AB_2O_4 . Dimana A adalah merupakan ion kromofor yang berbeda-beda, serta B merupakan kation logam seperti Fe^{3+} dan Mn^{2+} (Candeiae dkk, 2006 dan 2004). Telah terdapat beberapa penelitian mengenai penambahan ion kromofor diantaranya logam transisi seperti (Cu, Zn, Cr, Mn, La, Y, Co, Al, Ca dan Mg).

2.4 Spinel Ferit

Umumnya spinel ferit dikenal dengan rumus yaitu MFe_2O_4 , di mana "M" menunjukkan setiap kation yang memiliki nilai muatan $2+$ (biasanya diisi dengan logam pada golongan transisi), seperti Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} dan lain-lain (Amir dkk, 2015). Spinel ferit adalah bahan penting dengan berbagai aplikasi,

diantaranya digunakan sebagai sensor kelembaban dan oksigen, pigmen, bahan magnetik dan listrik, hidrogenisasi katalisis, film tipis, pelapis keramik, dan lain-lain (Sepelak dkk, 2001).

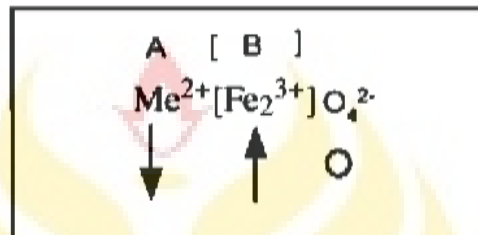


Gambar 2.2. Diagram skematik untuk unit sel dari spinel ferit (Buschow, 1995)

Pada Gambar 2.2 memberikan gambaran skema dari sel satuan dan struktur spinel. Spinel ferit memiliki struktur *face center cubic* (FCC) dengan sel satuan besar berisi delapan unit formula. Ada dua jenis kisi untuk kation hunian. Posisi A dan B masing-masing memiliki koordinasi tetrahedral dan oktahedral. Ion oksigen ditunjukkan dengan gambar bola-besar. Dimana terdapat 8 posisi-A kation logam tetrahedral yang dikoordinasikan dengan oksigen, 16 posisi-B yang memiliki koordinasi oktahedral dan 32 oksigen. Umumnya, M^{2+} dan Fe^{3+} kation mendistribusikan pada kedua posisi tersebut. Dalam *normal spinel* M^{2+} kation menempati situs tetrahedral dan Fe^{3+} kation menempati situs oktahedral, sedangkan dalam *inverse spinel* hanya setengah dari ion Fe^{3+} menempati situs tetrahedral (Li dkk, 2004 dan Mathew dkk, 2007).

2.4.1 Normal spinel Ferrites

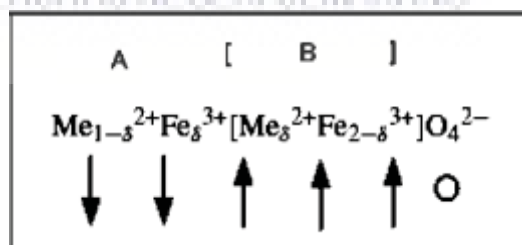
struktur *normal spinel ferrite* terjadi di mana semua ion Me^{2+} menempati posisi A; rumus struktur dari ferit tersebut $Me^{2+} [Fe_2^{3+}] O_4^{2-}$. Jenis distribusi berlangsung di seng ferit $Zn^{2+} [Fe^{2+} Fe^{3+}] O_4^{2-}$. Jenis *spinel ferrite* ini digambarkan secara skematis pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Distribusi kation pada *normal spinel ferrite*

2.4.2 Mixed spinel Ferrites

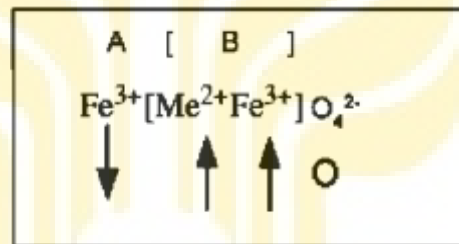
Struktur *Mixed spinel Ferrite* terjadi ketika kation Me^{2+} dan Fe^{3+} menempati posisi A dan B; rumus struktur ferit ini $Me_{1-\delta}^{2+} Fe_{\delta}^{3+} [Me_{\delta}^{2+} Fe_{2-\delta}^{3+}] O_4^{2-}$, di mana δ adalah tingkat inversi. $MnFe_2O_4$ merupakan jenis struktur yang memiliki derajat tingkat inversi $\delta = 0,2$ karena itu formula strukturalnya adalah $Mn_{0,82}^{2+} Fe_{0,23}^{3+} [Mn_{0,22}^{2+} Fe_{1,8}^{3+}] O_4^{2-}$ (Mathew dkk, 2007). Jenis *spinel ferrite* ini digambarkan secara skematis pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Distribusi kation pada *mixed spinel ferrite*

2.4.3 Inversed spinel Ferrites

Struktur *inversed spinel Ferrite* terjadi di mana semua Me^{2+} berada di posisi-B dan ion Fe^{3+} merata antara posisi-A dan posisi-B. Rumus struktur ferit ini adalah $\text{Fe}^{3+} [\text{Me}^{2+} \text{Fe}^{3+}] \text{O}_4^{2-}$. Magnetit Fe_3O_4 , ferit NiFe_2O_4 dan CoFe_2O_4 adalah contoh ferit yang memiliki struktur *inversed spinel Ferrite* (Mathew dkk, 2007). Dalam ferit terbalik setengah dari Fe^{3+} ditempatkan di posisi-A dan setengah lagi di posisi-B. Momen magnetik mereka saling kompensasi dan keadaan ini merubah keadaan dari ferit karena momen magnetik dari kation bivalen Me^{2+} di posisi-B. *Ferrite spinel* jenis ini digambarkan secara skematis pada Gambar 2.5 (Mastai, 2012)



Gambar 2.5. Distribusi kation pada *inversed spinel ferrite*

2.5 Metode Kopresipitasi

Metode kopresipitasi merupakan salah satu metode sintesis senyawa anorganik yang didasarkan pada pengendapan lebih dari satu substansi secara bersama-sama ketika telah melewati titik jenuhnya. Kopresipitasi merupakan metode yang efisien & sederhana karena prosesnya menggunakan suhu rendah dan mudah untuk mengontrol ukuran partikel sehingga waktu yang dibutuhkan relatif lebih singkat.

Beberapa ferit dapat dihasilkan menggunakan metode kopresipitasi seperti ditunjukkan pada Tabel 2.4. Disamping preparasi serbuk untuk industri ferit, hasil

metode kopresipitasi juga digunakan untuk membuat pigmen dan *magnetic toners* serta untuk menghilangkan ion logam berat pada air limbah (Valenzuela, 1994). Tahapan awal dalam metode kopresipitasi adalah persiapan larutan prekursor (larutan awal). Larutan ini dapat berasal dari sulfat, klorit, atau nitrat. Untuk menghasilkan endapan larutan prekursor dicampurkan dengan larutan presipitat (berupa basa) seperti NaOH atau NH_4HCO_3 . Endapan yang muncul kemudian di filter, dicuci dan dikeringkan. Endapan inilah merupakan produk dari proses kopresipitasi yang akhirnya akan diberikan perlakuan temperatur yang berbeda-beda.

Tabel 2.4. Beberapa ferit yang dihasilkan dari metode kopresipitasi (Valenzuela, 1994)

Ferit	Garam	Presipitat
Spinel (Mn, Zn, Co, Mg, Fe^{2+})	Sulfat	NaOH
Spinel (Mn, Zn, Co, Mg, Fe^{2+})	Oksalat	<i>Solvent evaporation</i>
Spinel Mn-Zn	Sulfat	NaOH + NH_4HCO_3
Ba-M	Klorit	NaOH
Sr-M	Klorit	NaOH
Sr-M	Nitrat	Asam lauric

2.6 Difraksi Sinar X

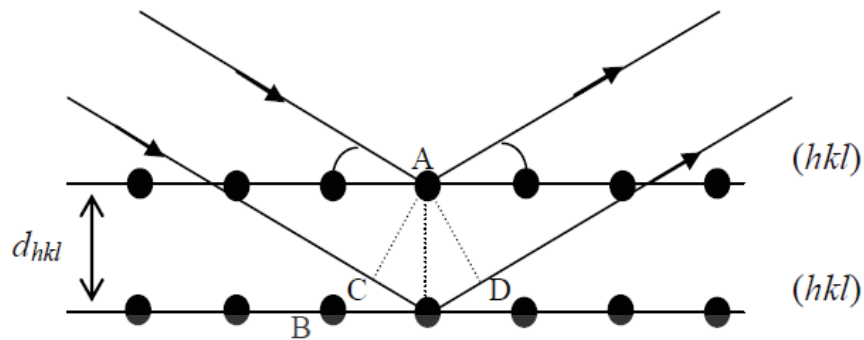
Difraksi sinar-X merupakan suatu metode analisis yang didasarkan pada interaksi antara materi dengan radiasi elektromagnetik sinar-X (mempunyai sebesar λ 0,5 – 0,25 Å dan enery $\pm 10^7$ eV) yaitu pengukuran radiasi sinar-X yang terdifraksi oleh bidang kristal. Sinar-X untuk tujuan difraksi diproduksi dengan

tegangan antara katoda dan anoda sebesar 35 kV dalam keadaan vakum. Penghamburan sinar-X akan menghasilkan pola difraksi yang digunakan untuk menentukan susunan partikel pada kisi.

Pemanfaatan metode difraksi sinar-X memegang peran yang sangat penting untuk analisa fasa dan struktur material. Sinar-X adalah suatu radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang ($\lambda \approx 0,1$ nm) yang lebih pendek dibanding panjang gelombang cahaya. Fasa suatu sampel dapat ditentukan dengan teknik difraksi sinar-X (*X-Ray Diffraction*) menggunakan emisi (pemancaran) gelombang elektromagnet yang dihasilkan dari tumbukan antara elektron dan sasaran (objek), di antaranya Cr, Fe, Co, Cu, Mo atau W (Cullity, 1956). Bila atom-atom pada kristal ditumbuk oleh partikel yang ukurannya seorde dengan ukuran atom, maka partikel tersebut akan dipantulkan dengan sudut yang tidak dapat dipastikan arahnya. Sehingga yang terjadi adalah peristiwa hamburan, interferensi dan difraksi. Hamburan yaitu penyerapan radiasi penumbuk dan dipancarkan kembali dengan arah berbeda seperti yang diilustrasikan seperti Gambar 2.6. Interferensi adalah superposisi dari dua atau lebih gelombang yang terhambur. Difraksi akan saling menguatkan jika terpenuhi persamaan bragg,

$$2 d_{hkl} \sin \theta = n \lambda$$

Dengan n bilangan bulat, λ adalah panjang gelombang sinar-X, d adalah jarak antar atom bahan dan θ merupakan sudut difraksi.



Gambar 2.6. Hamburan sinar-X pada kristal

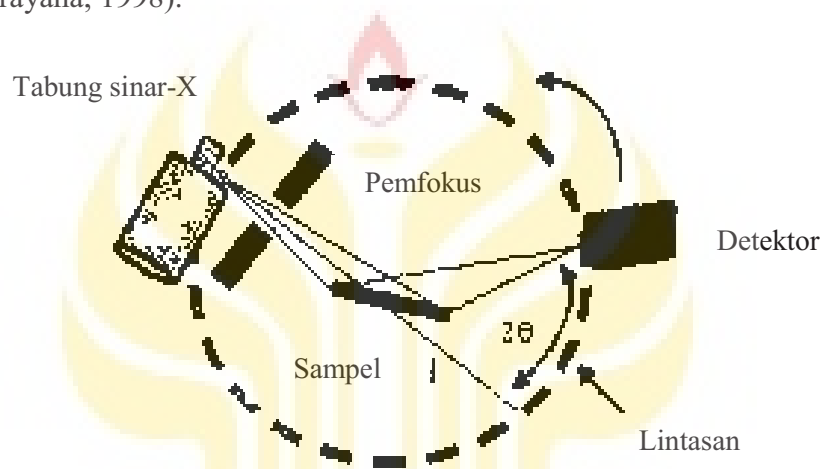
Difraksi sekunder akibat interaksi sinar-X dengan sample akan memiliki intensitas yang mana semakin teratur, semakin tinggi puncak (*peak*) intensitas yang diperoleh. Intensitas tersebut kemudian dikonversi untuk kemudian didapatkan jarak interplanar (d) dalam serbuk kristal sesuai dengan Hukum Bragg. Jarak tersebut kemudian dibandingkan dengan data COD sehingga dapat diketahui fasa suatu bahan (Hapsari, 2009).

Tabel 2.5. Contoh-contoh logam target dengan filter yang sesuai

No	Logam Target	Logam Filter
1	Mo	Zr
2	Cu	Ni
3	Co	Fe
4	Fe	Mn
5	Ct	V

Panjang gelombang sinar-X yang digunakan sekitar 1,540 Å sebab target anoda terbuat dari tembaga (Cu) dengan logam filter Ni seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.5. Sinar-X yang berasal dari anoda melewati celah agar berkas sinar

yang sampai ke sample berbentuk paralel dan memiliki tingkat divergensi yang kecil. Berkas hamburan akan ditangkap oleh detektor sinar-X. Sudut datang θ merupakan sudut antara bidang sample dengan sinar datang dan sudut hambur 2θ merupakan sudut antara proyeksi sumber sinar-X dengan detektor (Gambar 2.7.). Karena pergerakan sinar-X sebesar θ maka detektor bergerak sebesar 2θ (Suryanarayana, 1998).

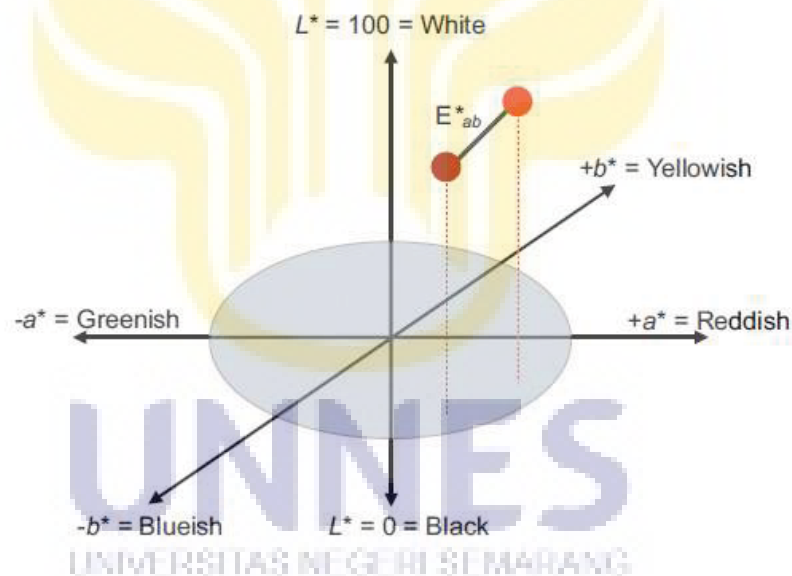


Gambar 2.7. Prinsip Kerja X-Ray Difrraction

2.7 Model Warna CIE-LAB

Penentuan warna dapat dilakukan dengan dua cara yaitu secara objektif dan secara kualitatif. Penentuan warna secara objektif menggunakan visual mata manusia sedangkan penentuan warna secara kualitatif dilakukan dengan menggunakan alat ukur warna. Meskipun mata manusia cukup kuat dalam penentuan warna, namun dalam studi analisis warna sangat tidak presisi. Dalam menganalisis warna, model warna yang digunakan adalah warna standar dengan alat ukur dan pengamat warna yang membutuhkan banyak pelatihan khusus. Untuk alasan itu ada dianjurkan untuk menentukan warna melalui penggunaan warna melalui pengukuran instrumentasi (Leon *et al.*, 2005).

Proses pengujian atau pengukuran warna tidak terlepas dari beberapa kelemahan. pengujian atau pengukuran warna yang akurat membutuhkan kontrol terhadap beberapa faktor, yaitu kualitas pencahayaan, ukuran dan sudut dari sumber cahaya yang digunakan, arah pengamatan sampel, jarak antar sampel dan observer (pengamat) serta sudut observasi. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa pengukuran warna secara visual sangat sulit dilakukan secara akurat dan efisien. Oleh karena itu diperlukan metode pengujian dan pengukuran yang lebih akurat dengan alat yang lebih sederhana seperti kamera digital yang dilengkapi dengan komputer dan *software* pengolah gambar (Good, 2003).



Gambar 2.8. Skema diagram L^*a^*b (Peter, 2010)

Skema diagram untuk koordinat L^*a^*b di tunjukkan pada Gambar 2.8. Terdapat tiga model warna dalam menentukan pengukuran warna. Tiga model warna tersebut adalah RGB (Red, Green, Blue) model, CMYK (cyan, magenta, yellow, hitam) model, dan $L^*a^*b^*$ model. Model warna L^*a^*b telah banyak digunakan di seluruh dunia untuk menjaga standar mutu warna kain, tinta, cat,

plastik, kertas, bahan cetakan. Model $L^*a^*b^*$ adalah standar internasional untuk pengukuran warna yang dikembangkan oleh Komisi Internationale d'Eclairage (KIE) pada tahun 1976. Perancangan sistem aplikasi ini menggunakan model warna CIELAB pada proses segmentasi dan proses *color moments*. *Color moments* merupakan metode yang cukup baik dalam pengenalan ciri warna. *Color moments* menghasilkan tiga moments level rendah dari sebuah objek (sasaran) dengan cukup baik. Model warna ini dipilih karena terbukti memberikan hasil yang lebih baik daripada model warna RGB dalam mengukur nilai kemiripan ciri warna terhadap objek (sasaran) (Indrayanti, 2012).

Model warna $L^*a^*b^*$ merupakan model warna yang dirancang untuk menyerupai persepsi mata manusia dengan memiliki tiga komponen warna yaitu L^* , a^* dan b^* . Komponen L^* menunjukkan tingkat kecerahan (*lightness*) dan untuk a^* , b^* menunjukkan dimensi dari merah – hijau dan kuning – biru. Pada komponen a^* dan b^* menunjukkan rentang skala dari -120 sampai +120. Skala untuk tingkat kecerahan (*lightness*) adalah 0 sampai 100, dengan $L^* = 0$ menunjukkan dimensi warna hitam dan $L^* = 100$ menunjukkan dimensi warna putih (Peter dkk, 2010 & Yam dkk, 2004).

BAB 5

PENUTUP

5.1 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 *cubic* dan space group *fd -3m*. 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 (CuFe₂O₄).
2. Hasil akhir berupa pigmen berwarna coklat dengan tingkat kecerahan yang berbeda-beda seiring dengan kenaikan temperatur kalsinasi. Saat temperatur 800° C pigmen CuFe₂O₄ memiliki respon yang paling baik terhadap medan magnet luar dengan nilai suseptibilitas sebesar 0,9930 x 10⁻⁴ m³/kg.

5.2 Saran

Berdasarkan pada hasil akhir karakterisasi dan pembahasan di atas, penulis memberikan beberapa saran, sebagai berikut:

1. Melakukan analisis ukuran partikel menggunakan alat karakterisasi SEM (*Scanning Electron Microscope*)
2. Melakukan aplikasi pigmen magnetik yang digunakan sebagai tinta pengaman (*security ink*)
3. Melakukan berbagai variasi dalam proses sintesis pigmen seperti, konsentrasi, pH dan komposisi ion kromofor untuk mengetahui perbedaan sifat yang terbentuk
4. Dalam penelitian ini masih belum mendapatkan warna pigmen berupa merah, kuning, hijau, biru. Sehingga perlu kajian lebih lanjut mengenai riset ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amir. Md., H. Erdemi, M. Galeri, A. Baykal. 2015. Electrical Properties of Cu Substituted Fe₃O₄ 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. & G. Pfaff. 2005. *Industrial Inorganic Pigment*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA.
- Buschow, K.H.J. 1995. *Handbook of Magnetic Materials*. Elsevier Science. vol 8.
- Candeia, R.A., Bernardi, M.I.B., Longo, E., Santos, I.M.G. & Souza, A.G. 2004. Synthesis And Characterization Of Spinel Pigment CaFe₂O₄ Obtained By The Polymeric Precursor Method. *Materials Letters*. 58, 569–572.
- Candeia, R.A., Souza, M.A.F. , Bernardi, M.I.B., Maestrelli, S.C., Santos, I.M.G., Souza, A.G., Longo, E.,. 2006. Monoferrite BaFe₂O₄ Applied as Ceramic Pigment, *Ceramics International*, Vol 33, No 4, 521-525.
- 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 CuFe₂O₄ and CuFeCrO₄ ceramic pigments. *Mater Lett.*
- Cullity, B. D. & C. D. Graham. 2009. *Introduction to Magnetic Materials: 2nd Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Dziezak, J.D. 1988. *Microencapsulation and Encapsulated Ingredients*. Food Technology: 136-151.
- Fajar. D. P, 2016. *Fabrikasidan Karakterisasi Tinta Magnetik Berbahan Dasar Pasir Besi*. Skripsi. Semarang: Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang.
- Fuad, A., R. Wulansari, A. Taufiq, Sunaryo. 2010. Sintesa dan karakterisasi sifat struktur nano partikel Fe₃-xMnxO₄ dengan metode Kopersipitasi. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIV HFI Jateng & DIY, Semarang 10 April 2010 hal. 128-133*.

- Good, H. 2003. Physical Property Testing: Methods of Measuring Food Color. *Food Quality Magazine*.
- Hapsari, B. W. 2009. *Sintesis Nanosfer Berbasis Ferrofluid Dan Poly Lactic Acid (PLA) dengan Metode Sonikasi*. Skripsi. Departemen Fisika FMIPA Institut Pertanian Bogor.
- Indrayanti. 2012. *Model Pengeringan Lapisan Tipis Temu Putih (Curcuma Zedoaria Berg. Rosc)*. Skripsi. Makassar: Jurusan Teknologi Pertanian FP Universitas Hasanudin.
- Jiang, J.Z., Goya, G.F., Rechenberg, H.R. 1999. Magnetic Properties of Nanostructured CuFe_2O_4 . *J. Phys.:Condens. Matter. Vol. 11. pp. 4063-4078*.
- 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.
- Leon, K., D. Mery, J. Leon, F. Pedreschi. 2005. Color Measurement in L^*a^*b Units From RGB Digital Images. *Food Research International 39 (2006) 1084-1091*. Universidad de Santiago de Chile (USACH). Santiago, Chile.
- Li, F., Liu, J., Evans, D. G., Duan, X. 2004. Stoichiometric Synthesis of Pure MFe_2O_4 (M) Mg, Co, and Ni) Spinel Ferrites from Tailored Layered Double Hydroxide (Hydrotalcite-Like) Precursors. *Journal of Chem Mater (2004) 16, 1597-1602*.
- Mastai, Y., 2012. *Advances in Crystallization Processes*. Croatia: Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka.
- Mathew, Daliya S. & R.S. Juang. An overview of the structure and magnetism of spinel ferrite nanoparticles and their synthesis in microemulsions. *Chemical Engineering Journal 129 (2007) 51-65*
- 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 (CuFe₂O₄)*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Semarang.
- Peter N. 2010. *Colour Measurement and Print Quality Assessment in a Colour Managed Printing Workflow*. University of Oslo, Norway.
- Prasetya Aji, Mahardika. 2008. *Kajian magnetik (Fe₃O₄) hasil penumbuhan dengan metode Presipitasi barbahan dasar Pasir Besi*. Tesis. Central Library Institute Technology Bandung.
- Rahman, T.P. 2012. *Sintesis Pewarna Magnetik Berbahan Dasar Besi Oksida*. Sripsi. Semarang: Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang.
- Sepelak. V., D. Schultze, F. Krumeich., U. Steinike, K. D. Becker. 2001. Mechanically induced cation redistribution in magnesium ferrite and its thermal stability. *Journal of Solid State Ionics* 141–142 Ž2001. 677–682.
- Sukma, F.M., S. Zulaikha, & N. Mutfi. 2013. *Sintesis dan Karakterisasi Tinta Kering (TONER) Berbasis Pasi Besi dengan Metode Polimerisasi Emulsi*. Malang; Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Malang.
- Suryanarayana, C. & Norton G.M. 1998. *X-ray Diffraction A Partical Approach*. Plenum Press: New York.
- Sutka. A., G. Mezinskis, A. Pludons, S. Lagzdina. 2010. Characterization of sol gel auto-combustion derived spinel ferrite nano-materials. *Energetika*. 2010. T. 56. Nr. 3–4. P. 254–259.
- Valenzuela. R. 1994. *Chemistry of Solid State Materials: Magnetic Ceramics*. New York: Cambridge University Press.
- Wahyuni, L.T., N. Mufti, dan Yudyanto. *Sintesis Dan Karakterisasi Nanopartikel Pigmen (Biru) Prussian Blue Ferric(iii) Hexacyanoferrate(ii) (Fe₄[Fe(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.
- Yam K.L, S.E. Papadakis. 2004. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering* 61 (2004) 137-142.

- Yulianto, A. 2007. *Unnes Menjawab Tantangan Zaman: Kumpulan Ringkasan Disertasi (Kajian Sifat Magnetik Pasir Besi dan Optimasi Pengolahannya Menjadi Magnet Ferit)*. Semarang: UNNES PRESS.
- Yulianto, A., Bijaksana, S., Loeksmanto, W., dan Kurnia, D. Produksi Hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) Dari Pasir Besi: Pemanfaatan Potensi Alam Sebagai Bahan Industri Berbasis Sifat Kemagnetan. *Jurnal Sains Materi Indonesia Vol. 5, No. 1, Oktober 2003, hal: 51-54.*
- Yulianto, A., & Aji, Mahardika Prasetya Aji. 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.*

