



**SINTESIS PIGMEN JAROSIT BERBAHAN DASAR  
PASIR BESI DENGAN METODE SOL-GEL**

Skripsi

disusun sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

Program Studi Fisika

oleh

Margi Fitriawan

4211412042

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

**2017**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi yang berjudul “Sintesis Pigmen Jarosit Berbahan Dasar Pasir Besi dengan Metode Sol-Gel” ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang ujian skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

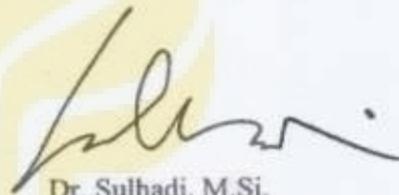
Semarang, 2 Februari 2017

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Agus Yulianto, M.Si.  
NIP. 196607051990031002



Dr. Sulhadi, M.Si.  
NIP. 197108161998021001

**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini menyatakan bahwa skripsi yang telah dibuat bebas plagiat, kecuali yang secara tertulis dirujuk dalam skripsi ini serta dituliskan dalam referensi. Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.

Semarang, 8 Februari 2017



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Margi Fitriawan', written over the stamp.

Margi Fitriawan

4211412042

# UNNES

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

## PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Sintesis Pigmen Jarosit Berbahan Dasar Pasir Besi dengan Metode Sol-Gel

disusun oleh

Margi Fitriawan

4211412042

telah dipertahankan di hadapan Panitia Sidang Ujian Skripsi FMIPA UNNES  
pada tanggal 8 Februari 2017.

Panitia:



Ketua  
Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si., Akt.

NIP. 196412231988031001

Sekretaris

Dr. Suharto Linuwih, M.Si.

NIP. 196807141996031005

Ketua Penguji

Dr. Budi Astuti, M.Sc.

NIP 197902162005012001

Anggota Penguji/

Pembimbing I

Dr. Agus Yulianto, M.Si.

NIP. 19660751990031002

Anggota Penguji/

Pembimbing II

Dr. Sulhadi, M.Si.

NIP. 197108161998021001

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

### MOTTO

- “Is there any reward for goodness except goodness?,”  
(Q.S. Ar Rahman: 60)
- “Allah tidak membebani seseorang, melainkan sesuai dengan kemampuannya.”  
(QS. Al-Baqarah: 286)
- “Raihlah ilmu, dan untuk meraih ilmu belajarlah untuk tenang dan sabar”  
(Umar bin Khattab r.a)
- “Whoever wants pearls must dive in the deep oceans.” (Ir. Soekarno)

### PERSEMBAHAN

Atas berkah dan anugrah Allah S.W.T, skripsi ini saya persembahkan untuk:

- ❖ Babe Pujiono dan enyak Juanah, kasih sayang yang terdalam atas segala hal yang telah dan akan selalu kalian beri tanpa diminta.
- ❖ Keluarga kecilku yang telah mendukung.
- ❖ Seseorang yang kelak menyempurnakan setengah agamaku.

**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Sintesis Pigmen Jarosit Berbahan Dasar Pasir Besi dengan Metode Sol-Gel” sehingga memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Penulis sangat menyadari bahwa skripsi ini tidak akan pernah selesai tanpa adanya partisipasi dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum., rektor Universitas Negeri Semarang;
2. Prof. Dr. Zaenuri, S.E, M.Si,Akt., dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang;
3. Dr. Suharto Linuwih, M.Si., ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang;
4. Dr. Agus Yulianto, M.Si., dosen pembimbing I sekaligus dosen wali yang telah memberikan motivasi, masukan, bimbingan dalam penyusunan skripsi;
5. Dr. Sulhadi, M.Si., dosen pembimbing II yang telah memberikan masukan, saran, bimbingan, dan tambahan ilmu pengetahuan kepada penulis;
6. Dr. Budi Astuti, M.Sc. Dosen penguji yang telah menguji dengan sabar sekaligus memberi masukan dan saran yang sangat berarti pada skripsi penulis;
7. Tito Prasetyo Rahman, M.Si., yang meluangkan waktu diskusi, memberi masukan, dan pandangan terkait seluk beluk pigmen mulai dari skala lab sampai industri;

8. Dr. Zoe Schnepf, yang meluangkan waktu untuk membalas email, berdiskusi serta modul yang telah diberikan;
9. Bapak ibu tercinta. Tak ada kata yang bisa menggambarkan peran kalian;
10. Adik kecilku Ian Dwi Andrianto selalu menyemangatiku;
11. Bapak dan Ibu, Roudhotul Muttaqin S.Si, Wasi Sakti Wiwit P, S.Pd, Natalia S.Pd teknisi Lab. Fisika Universitas Negeri Semarang yang telah banyak direpotkan penulis bahkan sejak semester 1;
12. Penghuni Lab Fisika, Kemagnetan Bahan: Anggit P., Hendri S., M. Sobirin, Fandy M., Yani P., M. Afif, Rosi Jae, Kevin M., Mas. Habibie, Mas. Gunawan, Mas, Dhamar, Mei, Esti. Anak Komputasi: Mas Satria (Fakku), Mas Andy (Sarjanx), Mas Agus (General), Om Tqn (Javanessebot) ;
13. Penghuni udank kos, mbah Erik, komandan Farid, Jayen, Koh Topan, bang Adit, bang Ipul, Inul, mas Sulis, mas Andi, Budi Antoni, om Iqbal, mas Abdul, mas Arif, kerabat udank kos Ijul, Anis, Agni. Terima kasih atas tawa dan kebersamaannya.
14. Sahabat-sahabat seperjuangan dan keluarga besar mahasiswa Jurusan Fisika.
15. Semua pihak yang tidak dapat tidak dapat disebut satu per satu.  
Kesempurnaan adalah sifat Allah SWT, kekurangan mutlak milik manusia.  
Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan untuk membenahi kekurangan pada penulisan selanjutnya. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis pada khususnya, lembaga, masyarakat dan pembaca pada umumnya.

Semarang, 9 Februari 2017

Penulis

## ABSTRAK

Fitriawan, Margi. 2017. *Sintesis Pigmen Jarosit Berbahan Dasar Pasir Besi dengan Metode Sol-Gel*. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Pembimbing I: Dr. Agus Yulianto, M.Si. dan Pembimbing II: Dr. Sulhadi, M.Si

**Kata kunci:** Jarosit, Pasir Besi, Pigmen, *Sol-Gel*.

Jarosit merupakan salah satu pigmen anorganik yang dapat disintesis menggunakan metode sol-gel dengan prekursor besi klorida dan tawas. Besi klorida ( $\text{FeCl}_x$ ) dibuat dari pasir besi yang dilarutkan dengan asam klorida. *Chelating agent* yang digunakan adalah asam oksalat yang berfungsi untuk membentuk metalorganik. Penambahan basa Amonia hidroksida yang divariasi bertujuan untuk mengatur pH pada kisaran 2 yang merupakan salah satu syarat pembentukan senyawa jarosit. Gel dibentuk pada pengadukan dan pemanasan temperatur  $150^\circ\text{C}$  selama 8 jam dengan penambahan *gelation agent* berupa *polyethylene glycol (PEG)*. Gel yang terbentuk dicuci dengan aquades untuk menghilangkan sisa-sisa garam yang ikut terbawa. Gel dikeringkan dengan oven pada temperatur  $200^\circ\text{C}$  selama 5 jam sehingga didapat pigmen jarosit berwarna kuning. Proses kalsinasi dilakukan dengan variasi temperatur  $300^\circ\text{C}$ ,  $400^\circ\text{C}$ ,  $500^\circ\text{C}$ ,  $600^\circ\text{C}$ ,  $700^\circ\text{C}$ , dan  $800^\circ\text{C}$  selama 2 jam. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan adanya perubahan fase dari jarosit selama proses kalsinasi. Pembentukan hematit mulai terjadi pada temperatur  $600^\circ\text{C}$ , terjadi peningkatan intensitas puncak hematit pada temperatur kalsinasi  $700^\circ\text{C}$  dan  $800^\circ\text{C}$ . Analisis koordinat warna dengan CIE Lab menunjukkan perubahan warna dari kuning ( $L=71,23$ ;  $a=13,96$ ;  $b=34,81$ ) menjadi merah ( $L=49,89$ ;  $a=33,58$ ;  $b=36,91$ ), warna merah yang muncul berasal dari hematit dan bersesuaian dengan hasil XRD. Jarosit memiliki suseptibilitas magnet  $2,253 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  (*low frequency*) dan  $2,227 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  (*high frequency*). Pada hematit nilai suseptibilitas magnet meningkat menjadi  $3,6 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  (*low frequency*) dan  $3,213 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  (*high frequency*). Berdasarkan nilai suseptibilitas magnet, pigmen yang dihasilkan termasuk dalam jenis bahan paramagnetik untuk jarosit dan antiferromagnetik untuk hematit.

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

# DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL .....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
PENGESAHAN .....	iv
MOTO DAN PERSEMBAHAN .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
ABSTRAK .....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
<b>BAB</b>	
1. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Skripsi.....	5
2. KAJIAN PUSTAKA.....	7
2.1 Pigmen.....	7
2.1.1 Pigmen Jarosit .....	8
2.2 Pasir Besi.....	10
2.3 Garam Alum (Potasium Alum) .....	12
2.4 Mineral Besi Oksida dan Spinel Ferrit.....	13
2.5 Nanoteknologi .....	14
2.6 Sistem Koloid.....	15
2.7 Metode Sol-gel .....	17
2.8 Koordinat Warna dan CIE LAB Colorimetry .....	20

2.9	Analisi Struktur Kristal dengan <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	22
2.10	Metode Penghalusan Rietveld.....	24
2.11	Analisis Kandungan Unsur dengan X-Ray Fluorescence (XRF) ...	27
2.12	Sifat Magnetik dengan Suseptibilitas Magnetik .....	28
2.13	Klasifikasi Bahan Magnet Berdasarkan Nilai Suseptibilitas.....	29
3.	METODE PENELITIAN.....	33
3.1	Tempat Penelitian.....	33
3.2	Alat dan Bahan .....	33
3.2.1	Alat.....	33
3.2.2	Bahan.....	34
3.3	Prosedur Penelitian.....	34
3.3.1	Pemurnian Pasir Besi.....	34
3.3.2	Pembuatan Larutan Prekursor .....	36
3.3.3	Sintesis Pigmen Jarosit .....	36
3.4	Karakterisasi Hasil Sampel .....	38
3.4.1	Struktur Kristal dengan Difraksi Sinar-X.....	38
3.4.2	Koordinat Warna dengan CIE Lab.....	39
3.4.3	Kandungan Unsur Penyusun Pigmen dengan Fluorosen Sinar-X (XRF) .....	39
3.4.4	Sifat Magnetik Pigmen dengan Suseptibilitas Magnetik .....	40
4.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	42
4.1	Deskripsi Penelitian.....	42
4.2.1	Identifikasi Pasir Besi .....	43
4.2.2	Larutan Prekursor Besi Klorida dan Alum.....	46
4.2.3	Sintesis Jarosit dengan Metode Sol-Gel.....	47
4.2.4	Analisis Kualitatif Difraksi Sinar-X dari Pigmen Jarosit Variasi Temperatur Kalsinasi .....	49
4.2.5	Analisis Kuantitatif Difraksi Sinar-X dengan Metode Rietveld Refinement.....	55
4.2.6	Analisis Warna Spektrofotometer CIE Lab .....	56
4.2.6.1	Analisis Warna Pigmen Jarosit pada Variasi Temperatur Kalsinasi .....	57

4.2.6.2 Analisis Warna Pigmen Jarosit pada Variasi	
Larutan Basa .....	60
4.2.7 Analisis Hasil Aplikasi Pigmen dalam Cat .....	61
4.2.8 Kandungan Unsur Pigmen dengan Karakterisasi XRF .....	64
4.2.9 Suseptibilitas Magnetik Pigmen.....	68
5. PENUTUP.....	72
5.1 Simpulan.....	72
5.2 Saran.....	73
REFERENSI .....	75
LAMPIRAN.....	82



## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1 Total Impor Pigmen oleh Indonesia.....	2
Tabel 2.1 Kandungan Pasir Besi dari Beberapa Lokasi.....	11
Tabel 2.2 Perbedaan Sifat Dasar Campuran .....	16
Tabel 4.1 Hasil Analisis Difraksi Sinar-X Pigmen Jarosit dengan Varisasi Temperatur Kalsinasi.....	54
Tabel 4.2 Hasil Analisis Kuantitatif Pigmen dengan Metode Rietveld .....	56
Tabel 4.3 Rentang Panjang Gelombang Cahaya Tampak.....	57
Tabel 4.4 Nilai Komponen RGB Warna dari Aplikasi Pigmen dalam Cat.....	62
Tabel 4.5 Kandungan Unsur Pigmen .....	65
Tabel 4.6 Nilai Suseptibilitas Magnetik Pigmen .....	68
Tabel 4.7 Interpretasi nilai <i>Frequency Dependent Susceptibility</i> $\chi_{FD}$ (Dearing, 1999) .....	70

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Warna dari Sudut Pandang Fisika .....	8
Gambar 2.2 Klasifikasi Pigmen Besi Oksida .....	8
Gambar 2.3 Hubungan Stabilitas untuk Beberapa Mineral dalam Sistem.....	9
Gambar 2.4 Tambang Pasir Besi.....	10
Gambar 2.5 Kisi Spinel Ferrit (Sepelak, 2011).....	14
Gambar 2.6 Sintesis Nanopartikel (Abdullah, 2008).....	15
Gambar 2.7 Skema Proses Sol-Gel.....	18
Gambar 2.8 Hasil dari Proses Berkaitan Sol-Gel.....	20
Gambar 2.9 Skema untuk pengujian koorditan Warna (Bornstein, 1968) .....	21
Gambar 2.10 CIE 1931 xy-diagram Kromatisitas untuk Illuminan D65 .....	21
Gambar 2.11 Representasi dari sistem CIELAB.....	22
Gambar 2.12 Skema alat X-Ray Diffraction (He, 2009) .....	23
Gambar 2.13 Hasil karakterisasi difraksi sinar-X.....	24
Gambar 2.14 Skema Spektrofotometri XRF (Jamaludin <i>dkk</i> , 2012) .....	27
Gambar 2.15 Skema Vibrating Sample Magnetometer (VSM) (Cullity, 2009) .	29
Gambar 2.16 Grafik (a) diamagnetik (b) paramagnetik (c) kolektif magnetik, (d) susunan dipol magnet (Getzlaff, 2008 dan Spaldin, 2011).....	32
Gambar 3.1 Ilustrasi Ekstraksi Serbuk Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> dari Pasir Besi.....	35
Gambar 3.2 Memurnikan Serbuk Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> dari Pengotor Larut dalam Air.....	35
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian .....	41
Gambar 4.1 Analisis Kualitatif Pola XRD Pasir Besi.....	43
Gambar 4.2 Analisis Kuantitatif Pasir Besi dengan Rietveld Refinement.....	45
Gambar 4.3 Pola Spektrum antara Difraksi Terukur (Data) dan Difraksi Terhitung (Fit) Pasir Besi.....	45
Gambar 4.4 Prekursor (a) Larutan Besi Klorida (b) Larutan Alum.....	47
Gambar 4.5 (a) Gel Kering Berbentuk Bongkahan Rapuh (b) Serbuk Mineral Jarosit.....	48
Gambar 4.6 Tampilan Fisik Pigmen Hasil Kalsinasi pada Temperatur (a) 200°C (curing) (b)300°C (c)400°C (d)500°C (e)600°C (f) 700°C (g) 800°C Waktu Penahan 2 jam .....	49

Gambar 4.7 Perbandingan Pola spektra XRD Pigmen Kalsinasi 400°C dan 500°C .....	52
Gambar 4.8 Perbandingan Pola Spektra XRD dari Pigmen Jarosit dengan Variasi Temperatur kalsinasi .....	55
Gambar 4.9 Pengaruh Perubahan Temperatur Terhadap Gradasi Warna dari Pigmen.....	58
Gambar 4.10 Koordinat Lab Pigmen Jarosit dengan Variasi Temperatur Kalsinasi .....	59
Gambar 4.11 Pengaruh Perubahan Temperatur Terhadap Gradasi Warna dari Pigmen .....	60
Gambar 4.12 Koordinat Lab Pigmen Jarosit dengan Variasi Temperatur Kalsinasi.....	62
Gambar 4.13 Gambar 4.13 Penerapan Pigmen curing sebagai Pengisi Warna Cat .....	63
Gambar 4.14 Spektrum Energi dari Pigmen Jarosit Pengeringan 200°C.....	66
Gambar 4.15 Spektrum Energi dari Pigmen Jarosit Kalsinasi 800°C yang Berstuktur Hematit.....	67
Gambar 4.16 Kurva histerisis (a) hematit 160 nm (b) hematit 41 nm (Raming dkk, 2002) .....	71

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Surat Keputusan Penetapan Dosen Pembimbing.....	82
Lampiran 2. Foto Dokumentasi Penelitian.....	83
Lampiran 3. Foto Pengujian CIE Lab .....	85
Lampiran 4. Foto Pengujian XRD .....	86
Lampiran 5. Komposisi Jumlah Bahan dan Hasil .....	87
Lampiran 6. Alur Seluruh Reaksi Kimia Pembentukan Pigmen.....	88
Lampiran 7. Analisis Kualitatif Pola XRD dengan Match dan Database COD..	89
Lampiran 8. Analisis Kuantitatif Pola XRD dengan MAUD .....	96
Lampiran 9. Hasil Karakterisasi Kandungan Unsur dengan XRF .....	103
Lampiran 10. Pemodelan Kristal Jarosit dan Hematit .....	105
Lampiran 11. Nilai FWHM dan Posisi 2 Theta Puncak .....	107
Lampiran 12. Perbandingan Pigmen Hasil Sintesis dengan Produk Pasar .....	112
Lampiran 13. Surat Tugas Panitia Ujian Skripsi.....	113



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pasir besi merupakan salah satu material alam yang mengandung ion-ion Fe ( $\text{Fe}^{3+}$  dan  $\text{Fe}^{2+}$ ) dan tersebar hampir di semua wilayah di Indonesia terutama di daerah yang memiliki gunung api. Pasir besi sampai saat ini hanya dimanfaatkan untuk beberapa keperluan yang bernilai ekonomi rendah, misalnya untuk bahan campuran semen atau bahan bangunan. Pemanfaatan tersebut kurang optimal, sebab mineral besi oksida yang terkandung dalam pasir besi sebenarnya sangat potensial untuk diolah menjadi berbagai produk industri yang bernilai tinggi (Yulianto *dkk*, 2010). Beberapa penelitian telah dilakukan dengan mengolah pasir besi menjadi produk seperti pigmen pewarna (Yulianto *dkk*, 2003 dan Wahyuni *dkk*, 2014), komposit plastik magnet ferit (Maulana *dkk*, 2013), komposit magnet (Wicaksono *dkk*, 2013), Core Induktor (Yulianto *dkk*, 2010), pipa minyak/gas lepas pantai (Dasalaku *dkk*, 2012), dan Multiferoik (Arifani *dkk*, 2012).

Pigmen merupakan zat yang menimbulkan warna yaitu sifat optikal yang tak terhitung aplikasinya, hampir semua bidang industri sangat membutuhkan pigmen mulai industri keramik, industri cat, industri plastik sampai pengrajin batik juga membutuhkan pewarna (Candeia *dkk*, 2007). Pigmen oksida merupakan pewarna inorganik berbasis logam oksida yang dapat ditemukan di alam dalam tambang maupun dibuat dengan berbagai macam teknik sintesis. Penelitian ini fokus untuk mensintesis pigmen besi oksida. Pigmen jenis besi oksida pada umumnya memberikan warna hitam, merah, coklat, dan kuning (Legodi *dkk*, 2006). Penelitian-penelitian yang pernah dilakukan untuk mengkaji pigmen besi oksida

antara lain: pigmen hitam (Shen *dkk*, 2013; Costa *dkk*, 2013; Costa *dkk*, 2008), pigmen merah (Dengxin *dkk*, 2008), pigmen hijau (Saritha *dkk*, 2014), pigmen coklat (Liu *dkk*, 2015; Costa *dkk*, 2013), dan pigmen kuning (Saritha *dkk*, 2014).

Indonesia merupakan salah satu pengimpor pigmen untuk memenuhi berbagai kebutuhan dalam negeri terutama untuk industri cat dan pelapisan bahan. Hampir semua bahan baku cat hingga kini masih 100% impor termasuk didalamnya material pigmen. Pigmen besi oksida didatangkan dari negara seperti Jerman, India, Cina dan lainnya. Berdasarkan data dari Kementerian Perindustrian RI total impor berbagai jenis pigmen mulai tahun 2012 hingga 2015 berberturut-turut ditunjukkan pada Tabel 1.1.

**Tabel 1.1** Total Impor Pigmen oleh Indonesia

Tahun	Total Impor Pigmen (juta US\$)
2012	443,33
2013	418,60
2014	386,67
2015	327,84

Merujuk data impor pigmen di atas maka sebenarnya ada peluang dan potensi besar untuk memulai industri pigmen dalam negeri setidaknya dalam skala home industri, misalnya dari industri pigmen tersebut dapat mengurangi hanya 5% dari total ketergantungan impor maka kita sudah dapat menghemat sekitar 15-20 juta US\$ per tahun. Akan tetapi untuk membangun suatu industri selain dibutuhkan modal dan sumber daya manusia (SDM) tentunya memerlukan teknologi yang menjaga keberlangsungan industri tersebut.

Nanoteknologi adalah teknologi yang memanfaatkan material dengan skala nanometer ( $10^{-9}$  m), lebih spesifik yaitu material dengan ukuran kurang dari 100

nm pada aplikasi tertentu (Berner *dkk*, 2013). Hal serupa juga diperjelas dalam salah satu paten terkait nanoteknologi, bahwa untuk kepentingan terapan dalam industri dan berbagai bidang digunakan partikel lebih kecil dari 100 nanometer (Suciu, 2009). Beberapa penelitian serta kajian yang pernah dilakukan dengan menerapkan nanoteknologi misalnya untuk *renewable energy* (Hussein, 2014), industri kertas (Puurunen dan Vasara, 2007), kedokteran dan bedah plastik (Tan *dkk*, 2015), agrikultural dan pangan (Dasgupta *dkk*, 2015), material bangunan (Rao *dkk*, 2015), dan lain sebagainya. Salah satu metode sintesis nanopartikel yang sering digunakan adalah metode sol-gel dengan langkah membuat larutan prekursor menjadi sol kemudian gel. Sol-gel merupakan metode basah (*wet method*) selain itu ada metode yang dapat digunakan untuk sintesis nanopartikel seperti kopresipitasi, hidrotermal, dan mikroemulsi (Danks *dkk*, 2016).

Berdasarkan Tabel 1.1 terkait impor pigmen menunjukkan bahwa negara kita masih tergantung pada negara lain untuk memenuhi kebutuhan pigmen dalam negeri. Padahal melimpahnya bahan baku dan potensi pigmen di Indonesia masih belum termanfaatkan secara optimal. Hal ironi tersebut menjadi dasar pentingnya penelitian pengolahan pasir besi menjadi pigmen. Berawal dari penelitian-penelitian skala lab seperti inilah yang dibutuhkan untuk dapat membuka wawasan dan melihat potensi dari sumber daya alam Indonesia termasuk pasir besi. Ketika hasil penelitian skala lab yang sudah sesuai keinginan didapat kemudian dialihkan ke skala pengujian industri (*pilot plan*). Tahapan akhir dari hilirisasi penelitian setelah proses *pilot plan* selesai adalah penerapan pada industri. Skema yang membawa hasil penelitian lab ke ranah industri di atas lazim disebut dengan istilah transfer inovasi.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, peneliti mempunyai gagasan untuk melakukan sintesis nanopartikel pigmen kuning dan merah jarosit menggunakan metode sol-gel dengan bahan pasir besi alam dan tawas.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan dari uraian latar belakang yang telah dijelaskan maka rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik pigmen jarosit hasil sintesis dari pasir besi dan tawas menggunakan metode sol-gel?
2. Apakah pengaruh dari perbandingan  $\text{NH}_4\text{OH}$  dan larutan sol terhadap karakterisasi pigmen jarosit?
3. Bagaimana perubahan karakteristik dari pigmen jarosit pada variasi temperatur kalsinasi?

## **1.3 Batasan Masalah**

Pada penelitian ini perlu dilakukan pembatasan masalah, agar ruang lingkup pada penelitian ini tidak meluas. Adapun batasan masalah pada penelitian ini antara lain :

1. Pigmen berbahan dasar pasir besi yang tersedia di Laboratorium Kemagnetan Bahan Universitas Negeri Semarang.
2. Bahan-bahan kimia yang digunakan bermutu teknis kecuali bahan yang akan disebut mutunya lebih lanjut.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini memiliki inti tujuan yaitu memproduksi pigmen jarosit yang memiliki karakteristik mendekati pigmen-pigmen industri dengan metode sol-gel

dengan memanfaatkan sumber daya alam lokal berupa pasir besi. Selain itu penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Memahami karakteristik pigmen jarosit hasil sintesis dari pasir besi dan tawas menggunakan metode sol-gel seperti struktur kristal, koordinat warna  $L^*a^*b^*$ , dan kandungan unsur kimia di dalamnya.
2. Memahami pengaruh dari perbandingan  $\text{NH}_4\text{OH}$  dan larutan sol terhadap karakteristik pigmen jarosit.
3. Memahami perubahan karakteristik dari pigmen jarosit pada variasi temperatur kalsinasi.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan ini memiliki beberapa manfaat yaitu :

1. Menambah wawasan tentang pentingnya ilmu material untuk dipelajari oleh penulis, mahasiswa lain, dan masyarakat umum.
2. Menjadi salah satu kajian ilmiah bahwa pasir besi alam dapat disintesis menjadi pigmen dengan struktur jarosit sehingga dapat menambah nilai jual dan manfaatnya (*added value*) daripada hanya diekspor atau dijual sebagai barang tambang (*added cost*).
3. Dapat dijadikan masukan dan pertimbangan awal bagi pemerintah untuk membangun industri pigmen di Indonesia baik dalam skala kecil maupun besar untuk mengurangi impor pigmen.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Skripsi ini dibagi penulis menjadi tiga bagian utama, yaitu: bagian pendahuluan skripsi, bagian isi skripsi, dan bagian akhir skripsi.

1. Bagian pendahuluan skripsi, terdiri dari halaman judul, abstrak, halaman pengesahan, motto dan persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar, daftar tabel, dan daftar lampiran.
2. Bagian isi skripsi, terdiri dari lima bab yang tersusun dengan sistematika sebagai berikut:
  - BAB 1. Pendahuluan, berisi latar belakang, rumusan permasalahan, batasan permasalahan, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika skripsi.
  - BAB 2. Kajian pustaka, berisi teori-teori pendukung penelitian.
  - BAB 3. Metodologi Penelitian, berisi tempat pelaksanaan penelitian, alat dan bahan yang digunakan, serta langkah kerja yang dilakukan dalam penelitian.
  - BAB 4. Hasil Penelitian dan Pembahasan, dalam bab ini dibahas tentang hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan.
  - BAB 5. Penutup, yang berisi tentang simpulan hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran-saran yang berkaitan dengan hasil penelitian.
3. Bagian akhir skripsi memuat referensi yang digunakan sebagai acuan dari penulisan skripsi dan lampiran-lampiran penelitian.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

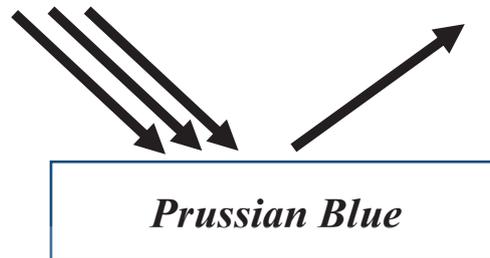
#### 2.1 Pigmen

Sejarah aplikasi pigmen pertama kali digunakan pada lukisan dinding gua prasejarah yang memberikan bukti bahwa hematit, bijih besi cokelat, dan mineral-mineral lainnya hasil dari tambang digunakan sebagai dasar pigmen yang lebih dari 30.000 tahun yang lalu (Buxbaum, 2005). Pigmen di era modern sebagian besar didapatkan dengan cara disintesis seperti pigmen anorganik *Prussian Blue* yang pertama kali dibuat pada tahun 1704. Kemajuan teknologi memunculkan pigmen-pigmen baru yang berhasil disintesis seperti *Cobalt-biru*, *Chrome-kuning*, *Cadmium-kuning*, dan beberapa besi oksida dari rentang kuning, merah, dan hitam (Herbst *dkk*, 2004).

Pigmen merupakan bahan-bahan yang didapat dari tumbuhan, tambang, ataupun disintesis sehingga dapat digunakan sebagai pewarna (Buxbaum, 2005). Pigmen merupakan bahan yang memiliki sifat optikal (warna) yang tak terhitung aplikasinya, hampir di semua bidang industri sangat membutuhkan pigmen mulai industri keramik, industri cat, industri plastik sampai pengrajin kain tenun juga membutuhkan pewarna (Candeia *dkk*, 2007). Pigmen terbagi menjadi dua berdasarkan material penyusunnya, yaitu pigmen organik (*dyes*) yang larut dalam air dan pigmen anorganik (*pigment*) larut dalam solven (Rahman *dkk*, 2013).

Secara fisika pigmen menghasilkan sifat optikal warna yaitu dengan menyerap hampir semua panjang gelombang cahaya dan memantulkan panjang gelombang cahaya tertentu, panjang gelombang cahaya yang dipantulkan oleh

pigmen tersebut yang menjadi warna dasar yang terlihat atau tertangkap oleh panca indera seperti yang diilustrasi pada Gambar 2.1.

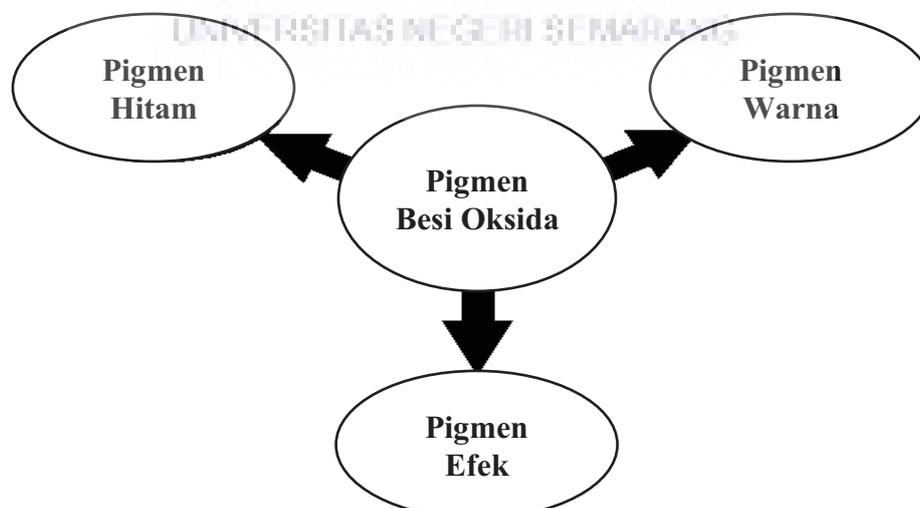


**Gambar 2. 1** Warna dari Sudut Pandang Fisika

Pigmen anorganik atau biasa hanya disebut dengan pigmen terbagi menjadi sembilan klasifikasi yaitu *white pigments*, *black pigments*, *colored pigments*, *metal effect pigments*, *interference pigments*, *luminescent pigments*, *fluorescent pigment* dan *phosphorescent pigments* (Buxbaum, 2005). Klasifikasi pigmen anorganik ini lebih spesifik berdasarkan pigmen besi oksida yaitu *black pigment* (magnetit), *colored pigment* (goethit dan maghemit), dan *metal effect pigment* (hematit) (Rahman dkk, 2013) yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.

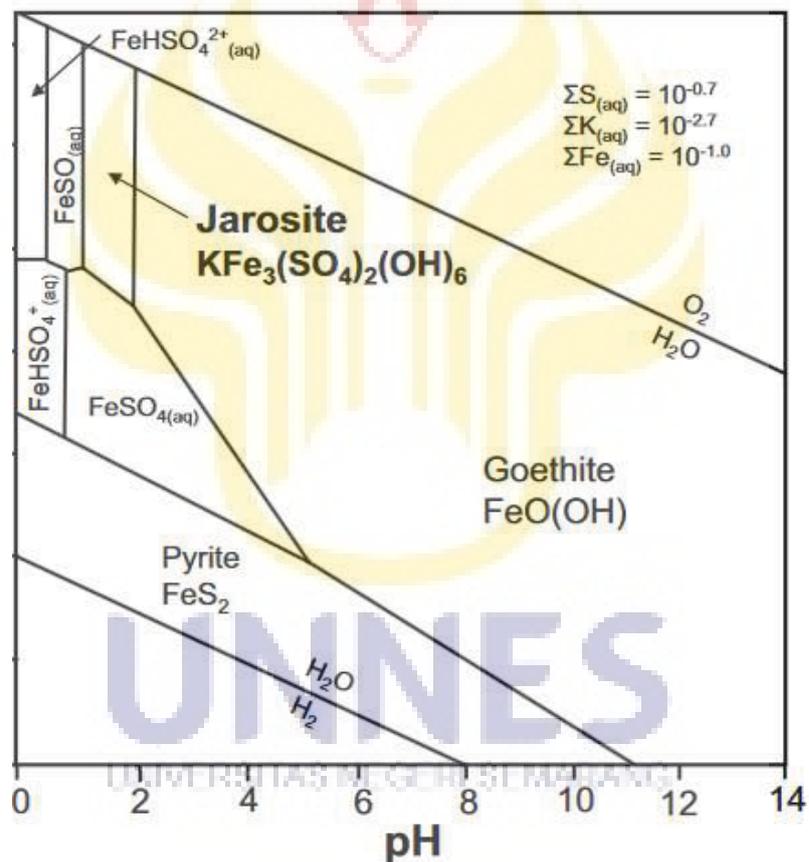
### 2.1.1 Pigmen Jarosit

Mineral jarosit besi-sulfat adalah hidroksi sulfat yang memiliki bentuk  $MFe_3(SO_4)_2(OH)_6$  dimana M=monovalen ion terutama metal ion seperti  $H_3O^+$ ,



**Gambar 2. 2** Klasifikasi Pigmen Besi Oksida

$\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Rb}^+$ ,  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Tl}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  or  $\frac{1}{2} \text{Pb}^{2+}$  dapat pula divalen ion seperti  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ , dan  $\text{Hg}^{2+}$  (Bigham *dkk*, 2010). Grup mineral jarosit merupakan bagian dari supergrup alunit yang terdiri dari spesies 40 mineral, grup jarosit yang memiliki rumus yang lebih umum  $\text{AB}_3(\text{TO}_4)_2(\text{OH})_6$  dengan A adalah monovalen dan divalent, B dapat berupa metal ion  $\text{Fe}^{3+}$  atau  $\text{Al}^{3+}$ , sedangkan  $\text{TO}_4$  dapat berupa  $\text{SO}_4^{2+}$ ,  $\text{PO}_4^{3+}$ , atau  $\text{AsO}_4^{3+}$  (Scott *dkk*, 1990 dalam Basciano, 2007). Parameter pH dari pembentukan Jarosit ditunjukkan pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Hubungan Stabilitas untuk Beberapa Mineral dalam Sistem Fe-S-K-O-H pada 25°C (Basciano, 2007).

Beberapa jenis jarosit yang sering ditemukan dan tergantung dari ion M (monovalen atau divalent) yang berikatan didalam senyawa diantaranya adalah natro jarosit ( $\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ), hidraniumjarosit ( $\text{H}_3\text{OFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ), amonio

jarosit ( $\text{NH}_4\text{Fe}_3(\text{SO}_2)_4(\text{OH})_6$ ), plumbo jarosit ( $\text{Pb}_{0.5}\text{Fe}_3(\text{SO}_2)_4(\text{OH})_6$ ), dan potassium jarosit ( $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ) yang biasa disebut sebagai jarosit.

Mineral jarosit sendiri sudah diaplikasikan sebagai pigmen bahkan sejak zaman prasejarah seperti yang telah diteliti serta ditemukan dalam kuil Mesir kuno abad kedua (Berry, 1999).

## 2.2 Pasir Besi

Pasir adalah bahan alam yang tersedia sangat melimpah serta dapat diperoleh dari beberapa tambang pasir besi yang tersebar banyak di seluruh daratan di Indonesia. Salah satunya ada di sepanjang garis pantai selatan seperti tambang yang ada di daerah Karawang yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Data yang didapat dari portal pemerintah Jawa Barat sebagai contoh misalnya, menunjukkan bahwa tambang pasir besi setiap hari dapat menghasilkan sampai 100 ton per hari. Pasir besi tersebut kemudian dijual dengan harga yang sangat



**Gambar 2. 4** Tambang Pasir Besi di Kerawang Jawa Barat murah Rp 240.000/ton atau hanya Rp 240/Kg (Pemprov Jabar, 2016).

Pasir besi pada umumnya mempunyai komposisi utama besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), silikon oksida ( $\text{SiO}_2$ ), serta senyawa-senyawa lain dengan kadar yang lebih rendah (Arifani, 2012). Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) adalah senyawa yang sering

ditemukan dominan di dalam pasir besi, selain struktur hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), maghemit ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), dan silika ( $\text{SiO}_2$ ). Senyawa maupun unsur lainnya seperti titanium oksida ( $\text{TiO}_2$ ), zink (Zn), tembaga (Cu) dengan kadar yang rendah juga ditemukan dalam pasir besi (Solihah, 2010).

Pemanfaatan pasir besi masih banyak pada penggunaannya sebagai bahan bangunan. Potensi yang besar dari pasir besi mulai dilirik oleh para peneliti dengan berbagai produk dan aplikasi seperti yang dilakukan oleh Yulianto (2010) melakukan fabrikasi MnZn-Ferrit dari pasir besi untuk aplikasi inti konduktor. Selanjutnya Yulianto (2016) menggunakan pasir besi untuk meningkatkan kandungan zat besi pada selada. Wicaksono (2010) mengekstraksi magnetit dari pasir besi untuk digunakan sebagai *filler* pada komposit karet magnet. Maulana (2010) juga menggunakan pasir besi sebagai *filler* pada komposit plastik magnet. Tabel 2.1 menunjukkan rapat masa, suseptibilitas dan konsentrasi mineral magnetik dari pasir besi di beberapa lokasi yang telah diteliti oleh Yulianto pada 2007.

**Tabel 2.1** Kandungan Pasir Besi dari Beberapa Lokasi

Lokasi Pasir Besi	Rapat Massa ( $\text{g/cm}^3$ )	Suseptibilitas Magnetik ( $\times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{Kg}$ )	Konsentrasi Mineral Magnetik (%)
-------------------	------------------------------------	--	--

Desa Srandil Cilacap	2,04	2,88	52,34
Desa Mungganharjo	1,96	1,01	24,48
Pantai Congot	1,92	2,98	57,40
Pantai Bayuran	2,55	3,34	79,80
Desa Bandungharjo	2,01	2,57	61,67
Pantai Benteng Portugis	1,49	1,72	20,60
Desa Pundenrejo	2,02	2,89	63,72

Berdasarkan Tabel 2.1 di atas dipilihlah pasir besi dari pantai bayuran yang sering digunakan sebagai bahan dalam pembuatan magnet keramik dan pigmen di Laboratorium Kemagnetan Bahan Universitas Negeri Semarang. Pilihan tersebut didasarkan pada kandungan mineral magnetik ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) yang tinggi mencapai 79,80%.

### 2.3 Garam Alum (Potassium Alum)

Alum atau biasa kita sebut sebagai tawas adalah kristal garam ganda dengan rumus kimia umumnya yaitu  $(\text{kation } 1)^+(\text{kation } 2)^{3+}(\text{anion}^{2-})_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ . Alum yang paling umum dan sering digunakan adalah alum dengan kation trivalen aluminium dan anion sulfat,  $\text{M}^+\text{Al}^{3+}(\text{SO}_4^{2-})_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ .

Salah satu jenis alum yang mudah ditemui pada kehidupan sehari-hari adalah potassium aluminium sulfat. Komponen monovalennya adalah kation potassium ( $\text{K}^+$ ) dengan rumus kimia senyawanya yaitu  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  memiliki sifat-sifat fisis diantaranya massa jenis sekitar  $1,75 \text{ gram/cm}^3$ , massa relatif ( $M_r=474,4$ ), tingkatan 2 skala kekerasan Mohs, dan mencair pada temperatur  $92,5^\circ\text{C}$ .

Potassium alum stabil di udara dengan kelembaban normal. Sebagian kandungan air dalam alum ini dapat dihilangkan dengan memanaskan alum pada temperatur  $\sim 65^{\circ}\text{C}$ , karena dehidrasi alum ini tidak dimulai jika temperatur masih bawah  $30^{\circ}\text{C}$  tetapi pada  $65^{\circ}\text{C}$  sembilan mol air akan mulai hilang (Helmholtz *dkk*, 2007). Alum atau tawas ini sering digunakan sebagai senyawa penjernih air dan bahan untuk deodoran (Manurung *dkk*, 2010). Alum juga telah digunakan sebagai material pelapis tahan api semisal pada kayu bahkan telah digunakan hampir dua milineum terakhir (Lowden *dkk*, 2013).

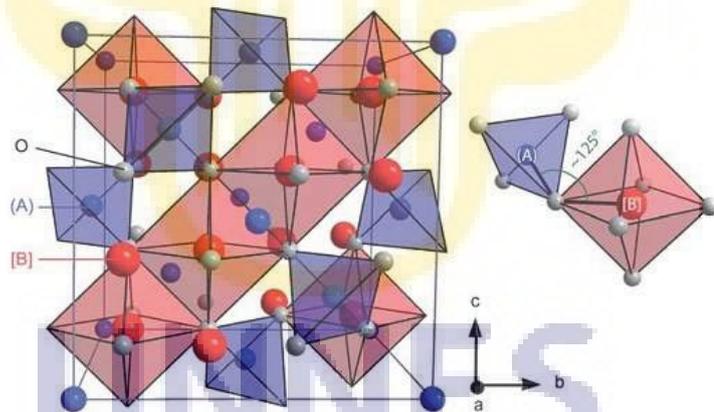
## 2.4 Mineral Besi Oksida dan Spinel Ferrit

Mineral Oksida termasuk dalam senyawa alami dimana oksigen bergabung dengan satu atau lebih unsur logam. Mineral oksida digolongkan ke dalam oksida sederhana dan oksida multipel. Senyawa oksida sederhana terdiri dari satu jenis unsur logam dan oksigen dengan berbagai variasi perbandingan logam dan oksigen  $\text{X}:\text{O}$  (dimana X logam dan O oksigen) misalnya  $\text{XO}$ ,  $\text{X}_2\text{O}$ ,  $\text{X}_2\text{O}_3$ , dan sebagainya. Sedangkan senyawa oksida multipel terdiri dari dua atau lebih jenis logam misalnya  $\text{XY}_2\text{O}_4$  (X, Y, merupakan dua jenis logam yang berbeda) (Klein *dkk*, 1993).

Salah satu mineral oksida yang dapat dengan mudah ditemukan adalah mineral besi oksida. Besi oksida merupakan senyawa yang umum ditemukan dan keberadaannya tersebar luas di alam serta dapat disintesis di laboratorium. Besi oksida ini banyak terdapat di berbagai sistem global yang ada meliputi: atmosfer, pedosfer, biosfer, hidrosfer, dan litosfer serta terdapat keterkaitan antara sistem global (Cornell dan Schwertmann, 2003).

Salah satu mineral besi oksida yang banyak terdapat di alam adalah magnetit yang terdiri dari 2 atom/ion ferrit ( $\text{Fe}^{3+}$ ) dan 1 atom/ion ferrous ( $\text{Fe}^{2+}$ ) dengan senyawa kimianya yaitu  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ( $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Di antara golongan pigmen, salah satu yang paling penting adalah kelompok spinel,  $\text{AB}_2\text{O}_4$ , karena kapasitas menampung kation yang berbeda, yang mengarah ke berbagai warna (Candeia, 2007). Spinel ferrite ( $\text{AFe}_2\text{O}_4$ ) adalah salah satu jenis spinel yang sering dikembangkan sebab bahannya yang tersedia melimpah di sekitar lingkungan hidup kita misalnya terdapat dalam pasir besi, limbah pengolahan baja (*mill scale*), limbah pickling, dan batuan-batuan mineral. Kelemahan dari pigmen jenis spinel ferrite adalah warnanya yang mengarah ke warna gelap atau tua.



**Gambar 2.5** Kisi Spinel Ferrit (Sepelak dkk, 2011)

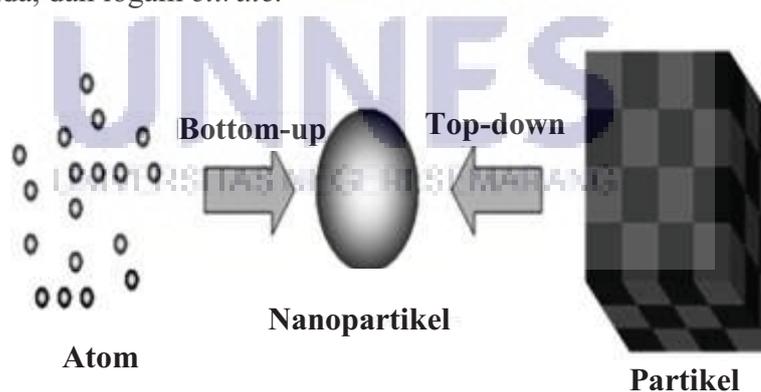
Magnetit memiliki kisi kristal spinel invers ( $\text{AB}_2\text{O}_4$ ) yang terdiri dari sisi tetrahedral yang dibentuk oleh ion ferrous (A) dan sisi oktahedral yang dibentuk oleh ion ferrit (B) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 di atas.

## 2.5 Nanoteknologi

Nano-meter adalah salah satu ukuran dari besaran panjang selain meter yaitu  $10^{-9}$  m. Ukuran nanometer kira-kira sepuluh kali lebih kecil dari ukuran atom seperti hidrogen dan karbon (Wolf, 2006).

Secara garis besar sintesis nanopartikel dibagi menjadi dua golongan. Cara pertama yaitu memecah partikel berukuran besar menjadi partikel berukuran nanometer yang disebut metode top-down. Metode yang dimulai dengan atom-atom atau molekul-molekul ataupun kluster-kluster yang disusun untuk membentuk partikel berukuran nanometer yang dikehendaki selanjutnya dikenal dengan metode bottom-up. Metode bottom-up ini dilakukan dengan sintesis pada kimia basah seperti presipitasi, hidrotermal, termasuk sol-gel, ilustrasi metode-metode ini ditunjukkan pada Gambar. 2.6.

Pada metode sol-gel nanopartikel dibentuk dari ion-ion yang terdapat dalam larutan sol yang umumnya berupa garam logam (*metal salt*) seperti logam klorida, logam nitrat, dan logam sulfat. Selain menggunakan garam logam untuk larutan awal dapat pula menggunakan logam organik (*metalorganic*) seperti logam asetat, logam alkosida, dan logam *citrate*.



**Gambar 2. 6** Sintesis Nanopartikel (Abdullah dkk, 2008)

Pada ukuran nanopartikel sifat-sifat yang berubah biasanya berkaitan dengan fenomena-fenomena berikut ini. Fenomena kuantum sebagai akibat keterbatasan

ruang gerak elektron dan pembawa muatan lainnya dalam partikel. Fenomena ini berimbas pada sifat-sifat material seperti perubahan warna yang dipancarkan, transparansi, kekuatan mekanik, konduktivitas listrik, dan magnetisasi. Selanjutnya perubahan rasio jumlah atom yang menempati permukaan terhadap jumlah total atom mengakibatkan perubahan titik didih, titik beku, dan reaktivitas kimia (Abdullah dkk, 2008).

## 2.6 Sistem Koloid

Sistem koloid atau dapat disebut dengan koloid adalah campuran yang berada diantara larutan dan suspensi, campuran ini terdiri dari partikel-partikel koloid (1-100 nm) yang tersebar merata dalam zat lainnya. Campuran koloid homogen karena unsur-unsur atau molekul pembentuk campuran itu sudah menyatu dan sulit dibedakan (Dhont, 1996). Adapun perbedaan antara larutan, koloid, dan suspensi dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Perbedaan Sifat Dasar Campuran

Larutan	Koloid	Suspensi
Terdiri atas satu fase	Terdiri atas satu fase	Terdiri atas dua fase
Homogen	Homogen	Heterogen
Jernih	Keruh	Keruh
Tidak memisah jika didiamkan	Tidak memisah jika didiamkan	Memisah jika didiamkan
Tidak dapat disaring	Dapat disaring	Dapat disaring
Tidak dapat diamati	Dapat diamati dengan mikroskop ultra	Dapat diamati dengan mikroskop biasa
Diameter partikel $< 10^{-7}$ cm	Diameter partikel antara $10^{-7}$ cm – $10^{-5}$ cm	Diameter $> 10^{-5}$ cm

Sol merupakan fase yang dilalui oleh larutan ketika dilakukan sintesis dengan metode sol-gel. Sol merupakan salah satu contoh dari koloid sehingga sol memiliki sifat-sifat koloid diantaranya efek tyndall, gerak brown, koagulasi dan absorpsi. Berikut adalah sifat-sifat yang berkaitan serta berpengaruh pada proses sintesis sol-gel.

**Efek Tyndall** adalah adanya gejala penghamburan berkas cahaya oleh partikel-partikel koloid. Apabila seberkas cahaya dijatuhkan ke dalam sistem koloid, maka cahaya akan dihamburkan. Hal ini terjadi dikarenakan partikel koloid relatif lebih besar dibandingkan partikel larutan sehingga dapat menghamburkan berkas cahaya yang mengenai partikel koloid tersebut.

**Gerak Brown** adalah gerakan partikel koloid dengan lintasan lurus dan arah yang acak. Apabila dispersi koloid diamati dibawah mikroskop dengan menggunakan pembesaran tinggi, akan terlihat adanya partikel yang bergerak dengan arah yang acak atau tidak beraturan, gerakan-gerakan tersebut mempunyai lintasan lurus. Gerak Brown terjadi akibat adanya tumbukan partikel-partikel pendispersi terhadap partikel terdispersi, sehingga partikel terdispersi akan terlontar. Adapun gerak Brown ini mengakibatkan partikel-partikel koloid relatif stabil meskipun ukuran yang relatif besar, sebab dengan adanya partikel yang bergerak secara terus menerus menyebabkan pengaruh dari gaya gravitasi kurang berarti.

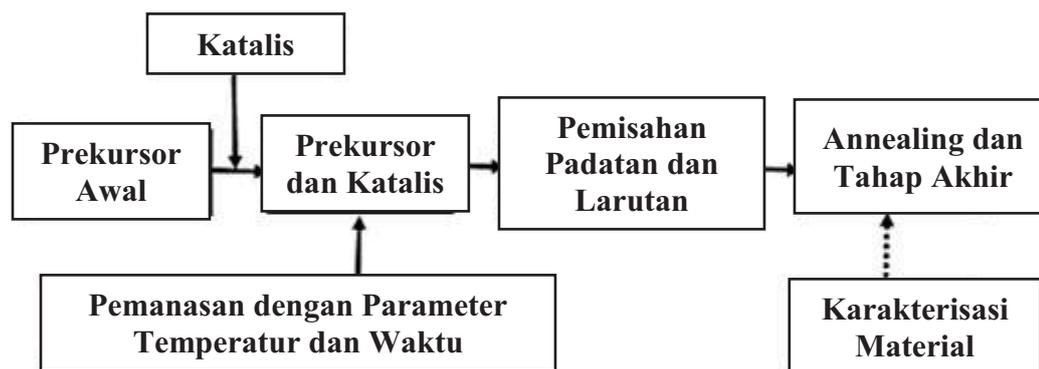
**Koagulasi** adalah koloid ketika mendapat perlakuan mekanis atau kimia seperti pemanasan atau pendinginan akan mengalami penggumpalan. Proses koagulasi sebagai contoh terjadi pada koloid pati kanji yang terdispersi dalam air akan menggumpal membentuk larutan kental ketika dipanaskan. Pembentukan gel

pada proses sol-gel terjadi saat sol mengalami koagulasi. Variasi parameter-parameter kimia dan fisika seperti tingkat keasaman pH, katalis, temperatur pemanasan, kecepatan pengadukan akan berpengaruh pada gel yang dihasilkan.

Ketiga sifat koloid di atas berkaitan dengan proses sol-gel, efek tyndall dapat digunakan sebagai identifikasi terbentuknya sol pada awal proses sol-gel, gerak brown berkaitan dengan homogenitas pada gel yang akan terbentuk pada saat proses koagulasi untuk membentuk gel.

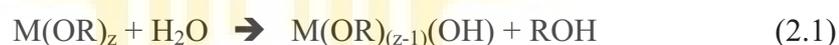
## 2.7 Metode Sol-gel

Sol-gel merupakan proses pembuatan keramik modern termasuk nanopartikel secara bottom-up yang melibatkan pembentukan koloid (sol) dan pembentukan polimer inorganik (gelation) di dalam medium. Skematik proses sol-gel secara rinci ditunjukkan pada Gambar 2.7. Sol yaitu suspensi koloid dari partikel padat dalam cairan, sedangkan gel adalah substansi yang mengandung skeleton panjang yang mendekati suatu fasa *liquid*. Gel terdiri dari fasa padat dan cair yang kontinu pada dimensi koloidnya (Anindita, 2011). Pada metode sol-gel umumnya prekursor yang digunakan adalah logam-logam anorganik atau senyawa logam organik yang dikelilingi oleh ligan yang reaktif seperti logam alkoksida ( $M(OR)_2$ ), dimana R menunjukkan gugus alkil ( $C_nH_{2n+1}$ ). Logam alkoksida banyak digunakan karena sifatnya yang mudah bereaksi dengan air.



Gambar 2. 7 Skema Proses Sol-Gel

Proses dalam sintesis dengan menggunakan metode sol-gel meliputi hidrolisis, kondensasi, pematangan, dan pengeringan. Pada tahap pertama logam prekursor (alkoksida) dilarutkan dalam alkohol dan terhidrolisis dengan penambahan air pada kondisi asam, netral atau basa menghasilkan sol koloid. Hidrolisis menggantikan ligan (-OR) dengan gugus hidroksil (-OH) dengan reaksi kimia yang ditampilkan pada Persamaan (2.1) sebagai berikut:

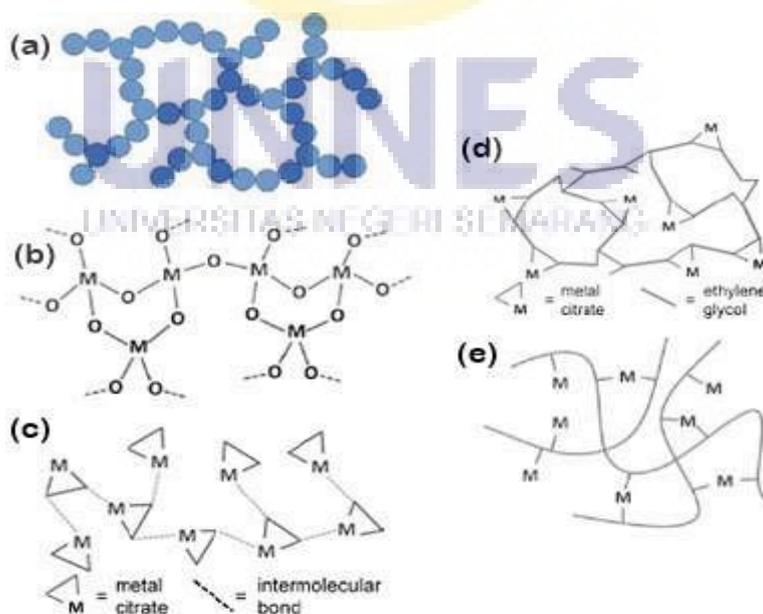


Pada proses hidrolisis faktor yang mempengaruhi adalah rasio air/prekursor dan jenis katalis hidrolisis yang digunakan. Peningkatan rasio pelarut/prekursor akan meningkatkan reaksi hidrolisis yang mengakibatkan reaksi berlangsung cepat sehingga waktu gelasi lebih cepat. Katalis yang digunakan pada proses hidrolisis adalah jenis katalis asam atau katalis basa, namun proses hidrolisis juga dapat berlangsung tanpa menggunakan katalis. Pada tahapan selanjutnya yaitu proses kondensasi atau proses transisi dari sol menjadi gel. Ligan hidroksil dilibatkan dalam reaksi kondensasi untuk menghasilkan polimer dengan ikatan M-O-M, selain itu pada reaksi kondensasi juga menghasilkan produk samping berupa air atau alkohol dengan reaksinya secara umum ditunjukkan pada Persamaan (2.2) dan (2.3):



Setelah reaksi hidrolisis dan kondensasi, dilanjutkan dengan proses pematangan gel yang terbentuk. Proses ini lebih dikenal dengan proses *ageing*. Pada proses pematangan ini, terjadi reaksi pembentukan jaringan gel yang lebih kaku, kuat, dan menyusut didalam larutan. Tahapan terakhir adalah proses penguapan larutan dan cairan yang tidak diinginkan.

Hasil sintesis menggunakan metode sol-gel ini beragam seperti serbuk, film tipis, membrane, dan sebagainya, tergantung pada keseluruhan proses dari sol-gel yang dilakukan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Gel dikeringkan dengan evaporasi, maka gaya kapiler akan mengakibatkan penyusutan, jaringan gel akan runtuh, dan xerogel terbentuk. Jika pengeringan dilakukan di bawah kondisi superkritis, struktur jaringan dapat dipertahankan dan gel dengan pori-pori yang besar dapat dibentuk yang kemudian disebut Aerogel dengan kepadatan yang sangat rendah (Isnaeni, 2012).

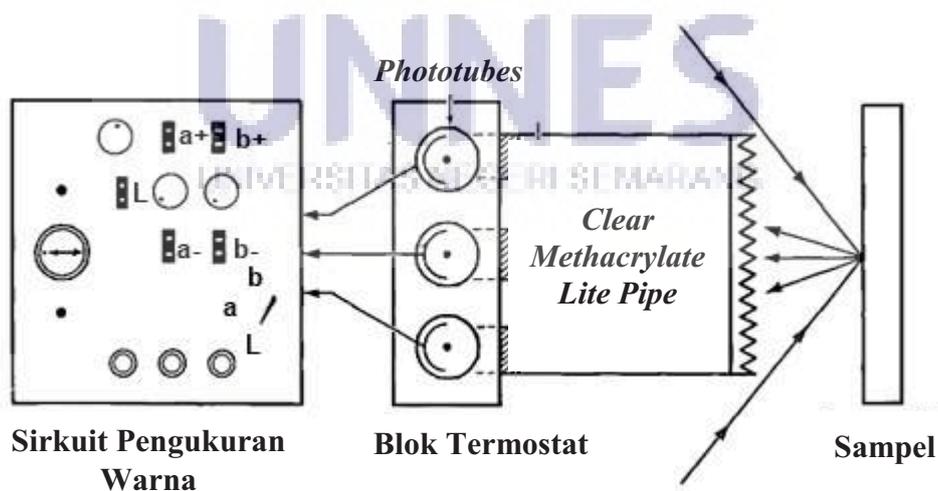


**Gambar 2. 8** Hasil dari Proses Berkaitan Sol-Gel (a) Koloidal (b) Logam Oksana (c) Logam Komplek (Organik) (d) Polimer Komplek (Pechini) (e) Polimer Crosslinking (Danks dkk, 2016).

Pemilihan metode sol gel untuk sintesis dikarenakan metode ini memiliki banyak keunggulan diantaranya lebih mudah mendapatkan material dengan ukuran nano, kehomogenan yang lebih tinggi, kemurnian yang tinggi, temperatur sintesis relatif rendah, tidak terjadinya reaksi dengan senyawa sisa. Kekurangan dari metode ini ketika akan diterapkan pada skala *pilot plan* dan industri karena harus membutuhkan desain khusus alat yang sesuai dengan metode sol-gel.

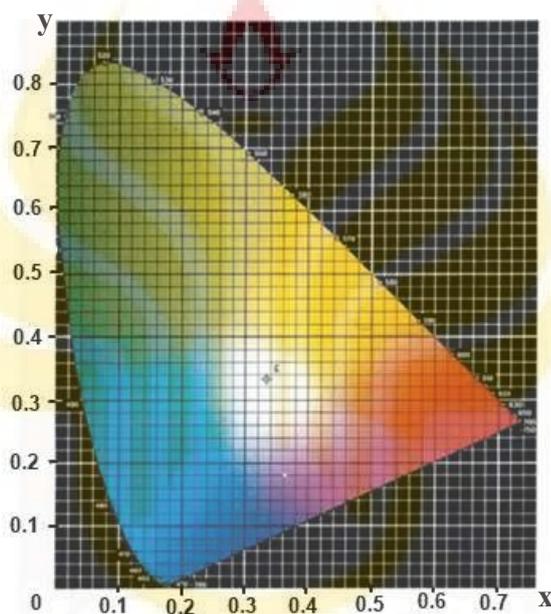
## 2.8 Koordinat Warna dan *CIE LAB Colorimetry*

Prinsip-prinsip kolorimetri didasarkan pada kenyataan bahwa semua rangsangan warna dapat disimulasikan oleh nilai tambahan mencampur tiga rangsangan warna yang dipilih (prinsip trikromatik). Sebuah stimulus warna biasa diproduksi dengan mencampur warna spektral. Dengan demikian memiliki distribusi spektral yang dalam kasus non luminous, warna yang dirasakan adalah spektral reflektansi dengan prinsip kerja ditunjukkan pada Gambar 2.9.



**Gambar 2.9** Skema untuk Pengujian Koordinat Warna (Bornstein, 1968)

Setelah mendefinisikan tiga rangsangan referensi, prinsip trikromatik memungkinkan ruang warna tiga dimensi yang akan dibangun di mana koordinat warna (nilai tristimulus) dapat diartikan sebagai komponen vektor (Sistem CIE, untuk standar, "Colorimetry"; CIE = Commission Internationale de l'Eclairage/The International Commission on Illumination). Diagram xy kromatisitas untuk iluminan D65 adalah satu contoh dari koordinat warna yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.

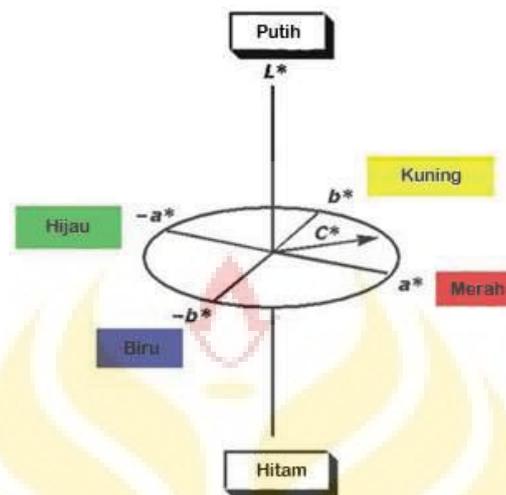


**Gambar 2.10** CIE 1931 xy-diagram Kromatisitas untuk Illuminan D65

Tiga koordinat ditandai oleh  $a^*$  (sumbu merah-hijau),  $b^*$  (sumbu kuning-biru), dan  $L$  (sumbu kecerahan). Pada Gambar 2.11 ditampilkan representasi sederhana dari sistem CIELAB. (Buxbaum, 2005).

Pada koordinat Lab, ketika suatu warna memiliki nilai  $L$  semakin besar maka warnanya akan semakin terang dan ketika nilai  $L$  mengarah ke nilai 0 maka warna tersebut mengarah ke warna gelap. Pada sumbu  $a$  warna dimulai pada daerah sumbu negatif ( $-a$ ) yang mengarah ke hijau menuju sumbu positif ( $+a$ ) yang mengarahkan pada warna merah. Selanjutnya sumbu  $b$ , dimulai dengan warna kuning.

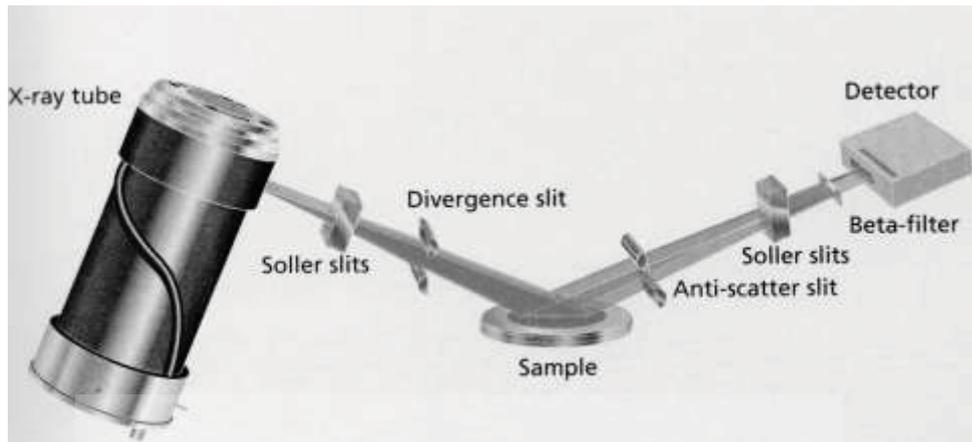
biru pada sumbu negatif sampai pada warna kuning pada daerah sumbu b positif. Perpaduan dari warna-warna primer dari koordinat Lab inilah yang menyusun ratusan ribu sampai jutaan warna yang ada.



**Gambar 2.11** Representasi dari Sistem CIELAB (Azad *dkk*, 2010)

## 2.9 Analisis Struktur Kristal dengan *X-Ray Diffraction (XRD)*

Analisis kualitatif difraksi sinar-X (X-Ray Diffraction) bertujuan untuk mengidentifikasi serta menganalisis struktur kristal dari mineral dan material yang berbentuk padatan. Struktur senyawa dari material yang dianalisis dari pola-pola difraksi yang terbentuk, dimana pola ini terjadi karena adanya interferensi konstruktif dari sinar-X yang digunakan dalam alat pengujian difraksi sinar-X dengan skema ditunjukkan pada Gambar 2.12:



**Gambar 2.12** Skema Alat *X-Ray Diffraction* (Ermrich *dkk*, 2013)

Sinar-X dengan panjang gelombang tertentu dikenakan pada kristal dengan sudut  $\theta$  terhadap permukaan bidang Bragg yang berjarak  $d$ . Interferensi konstruktif dari sinar-X yang dihamburkan hanya terjadi jika beda lintasannya memenuhi Persamaan (2.4) berikut:

$$2d \sin \theta = n \lambda \quad (2.4)$$

Persamaan (2.4) dikenal sebagai hukum Bragg bagi difraksi sinar-X, dengan  $d$  merupakan jarak antar bidang ( $hkl$ ) untuk sebuah kristal,  $\theta$  adalah sudut Bragg,  $\lambda$  adalah panjang gelombang radiasi, dan bilangan bulat  $n = 1, 2, 3, \dots$ . Tiap puncak yang muncul pada pola difraksi sinar-X mewakili satu bidang kristal yang mewakili orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi (Sugianto, 2005).

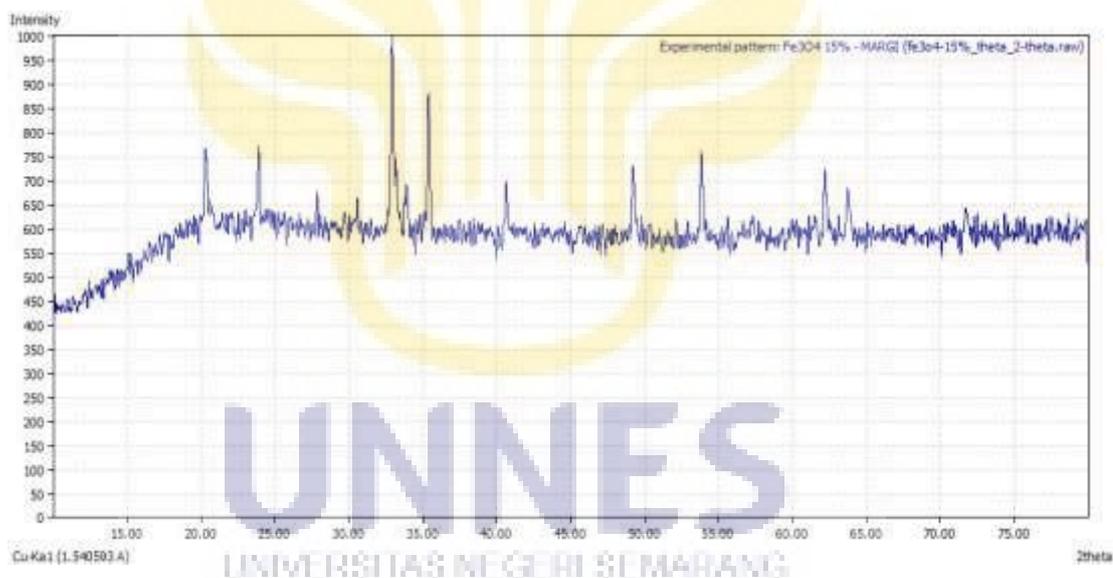
Selain untuk mengetahui senyawa material dapat juga digunakan untuk mengetahui ukuran dari atom-atom di dalam kristal dengan menggunakan karakterisasi difraksi sinar-X. Cara untuk mengetahui ukuran dari material sampel (*grain size*) dapat menggunakan nilai *Full Width at Half Maximum* (FWHM) yang diperoleh dengan cara mencari dua titik setengah dari intensitas puncak difraktogram difraksi sinar-X (XRD). Untuk mendapatkan sudut difraksi dapat memanfaatkan persamaan Bragg. *Grain size* juga dapat diidentifikasi

menggunakan formula Scherrer seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (2.5) (Cullity, 2009).

$$t = \frac{0.9 \lambda}{B \cos \theta} \quad (2.5)$$

dengan  $t$  adalah *grain size*,  $B$  nilai FWHM,  $\theta$  sudut difraksi. Penggunaan  $k=0,9$  karena hasil metode sol-gel diprediksi kuat dalam ukuran skala nanometer (nm).

Sebagai contoh hasil dari karakterisasi difraksi sinar-X terlihat seperti Gambar 2.13. Pola difraksi sinar-X tersebut menunjukkan material hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ditandai dengan puncak utamanya yaitu terletak pada sudut  $2\theta$  di antaranya  $24^\circ$ ,  $33^\circ$ ,  $35,5^\circ$ ;  $49,00^\circ$ ; dan  $54,00^\circ$  yang merupakan bidang kristal pada orientasi (012), (104), (110), (024), dan (116).



**Gambar 2.13** Hasil Karakterisasi Difraksi Sinar-X

## 2.10 Metode Penghalusan Rietveld

Penghalusan Rietveld atau Analisis Rietveld merupakan sebuah metode pencocokan kurva pola difraksi terhitung (model) dengan pola difraksi terukur yang didasarkan pada data struktur kristal dengan menggunakan metode kuadrat terkecil (*least-squares*).

Adapun nilai kuadrat terkecil dari metode penghalusan Rietveld merupakan parameter yang menunjukkan kecocokan dari pola difraksi antara data terhitung (model) dengan data terukur yang sering disebut dengan istilah *Goodness-of-Fit* (GoF) dan dilambangkan dengan chi kuadrat (*chi-squares*)  $\chi^2$  yang secara umum dapat dihitung dengan persamaan statistik seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (2.6).

$$\chi^2 = \sum_i w_i \left\{ y_i^{obs} - \frac{1}{c} y_i^{calc} \right\}^2 = \sum_i w_i (I_{iobs} - I_{icalc})^2 \quad (2.6)$$

Pembentukan model dari suatu pola difraksi terhitung tergantung dari beberapa parameter-parameter seperti faktor struktur, puncak Bragg, indeks Miller, faktor serapan, fungsi bentuk puncak, dan fungsi *preferred orientation*. Persamaan (2.7) digunakan untuk membangun model pola difraksi terhitung.

$$y_i^{calc} = S \sum_{hkl} L_{hkl} |F_{hkl}|^2 \phi(2\theta_i - 2\theta_{hkl}) P_{hkl} A + y_{bi} \quad (2.7)$$

Keterangan dari persamaan di atas adalah sebagai berikut, s merupakan faktor skala dari model yang akan dibentuk,  $L_{hkl}$  merupakan factor polarisasi Loretz dan pelipatan,  $|F_{hkl}|$  faktor struktur untuk refleksi Bragg pada hkl,  $\phi$  fungsi bentuk puncak,  $2\theta_i$  dan  $2\theta_K$  adalah sudut-sudut yang berhubungan titik i dan puncak Bragg hkl,  $P_K$  adalah fungsi *preferred orientation*, A adalah faktor serapan dan  $y_{bi}$  adalah kontribusi latar.

Struktur kristal dari suatu material menentukan faktor struktur  $|F_{hkl}|$ . Faktor struktur merupakan bagian penting yang menyebabkannya berbeda dengan pencocokan pola difraksi lainnya seperti metode pencocokan kurva pola difraksi utuh (*whole-pattern fitting*). Faktor struktur penting dikarenakan didalamnya terkandung informasi-informasi kristalografi yang dipakai dalam penyusunan model.

Fungsi bentuk puncak dari model ada beberapa jenis seperti fungsi Cauchy (Lorentzian), Gaussian, Voigt, Pseudo-Voigt, Pearson VII, Ikeda-Carpenter pseudo-Voigt, Thomson-Cox-Hasting pseudo-Voigt, dan lain sebagainya. Salah satu fungsi yang umum digunakan adalah fungsi Voigt yang merupakan konvolusi fungsi-fungsi Lorentzian dan Gaussian, dengan menggunakan fungsi ini akan memudahkan estimasi ukuran kristal dan regangan kristal dari data terukur. Persamaan (2.8) adalah bentuk umum dari fungsi Voigt sebagai berikut.

$$\phi(2\theta_i - 2\theta_{hkl}) = \frac{\sqrt{C_1/\pi}}{H_{Gj}} \operatorname{Re} \left[ \omega \left( \sqrt{C_1} X_{ij} + i C_2 \frac{H_{Lj}}{H_{Gj}} \right) \right] \quad (2.8)$$

dengan  $C_1 = 2 \ln 2$ ,  $C_2 = \sqrt{\ln 2}$ ,  $H_{Gj}$  adalah FWHM dari komponen Gaussian,  $H_{Lj}$  adalah FWHM dari komponen Lorentzian (Cauchy), fungsi  $\omega(z) = \exp(-z^2) \operatorname{erfc}(-iz)$ ,  $\operatorname{Re}$  disini menunjukkan bagian riil. Analisis ukuran kristal dan regangan menggunakan asumsi bahwa ukuran kristal hanya berkontribusi pada komponen Lorentzian dan regangan pada komponen Gaussian (de Keijser *dkk*, 1982 dan Langford *dkk*, 1999). Fungsi FWHM Gaussian dan Lorentzian memenuhi persamaan (2.9) dan (2.10) menurut Caglioti.

$$H_{Gj}^2 = U \tan^2 \theta + V \tan \theta + W \quad (2.9)$$

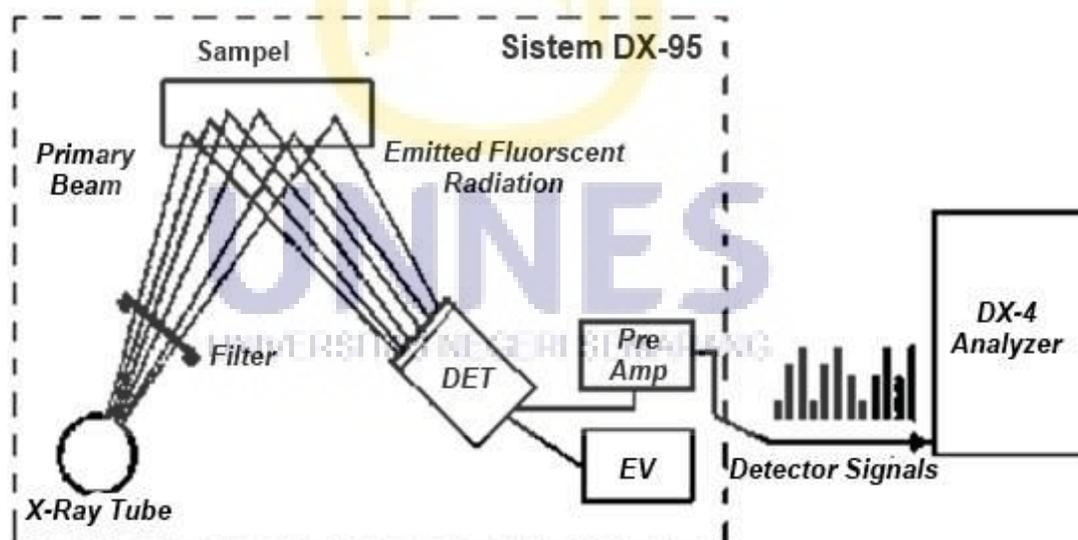
$$H_{Lj} = \frac{180 \lambda}{\pi \cdot D} \sec \theta + \frac{180}{\pi} S \tan \theta \quad (2.10)$$

Suku  $\sec \theta$  dari persamaan-persamaan di atas merupakan suku Scherrer yang berhubungan dengan ukuran kristal dari material, sedangkan suku  $\tan \theta$  berhubungan dengan regangan kristal.

## 2.11 Analisis Kandungan Unsur dengan X-Ray Fluorescence

Analisis kuantitatif menggunakan XRF bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur dalam material. Emisi sinar-X yang digunakan dalam karakterisasi XRF dihasilkan dari proses yang disebut *X-Ray Fluorescence (XRF)* (Syahfitri *dkk*, 2013).

Sinar-X yang muncul dihasilkan dari atom material yang tereksitasi oleh tumbukan elektron berenergi tinggi (sinar-X). Ketika sumber sinar-X yang dikenakan mengakibatkan kelebihan energi pada material sehingga menyebabkan terlepasnya elektron. Kekosongan elektron memicu eksitasi atau berpindahnya elektron material dari kulit dengan energi yang lebih tinggi disertai dengan pelepasan energi dalam bentuk sinar-X. Sinar-X hasil eksitasi dari atom-atom material uji kemudian ditangkap oleh detektor yang kemudian dianalisis untuk mengetahui kandungan unsur di dalamnya. Salah satu skema kerja dari spektrofotometri XRF ditunjukkan pada Gambar 2.14.



**Gambar 2.14** Skema Spektrofotometri XRF (Jamaludin *dkk*, 2012)

Skema sistem XRF model DX-95 diatas ketika elektron dalam material uji dipancarkan dalam bentuk sinar-X karakteristik ditangkap oleh detektor. Sinar-X

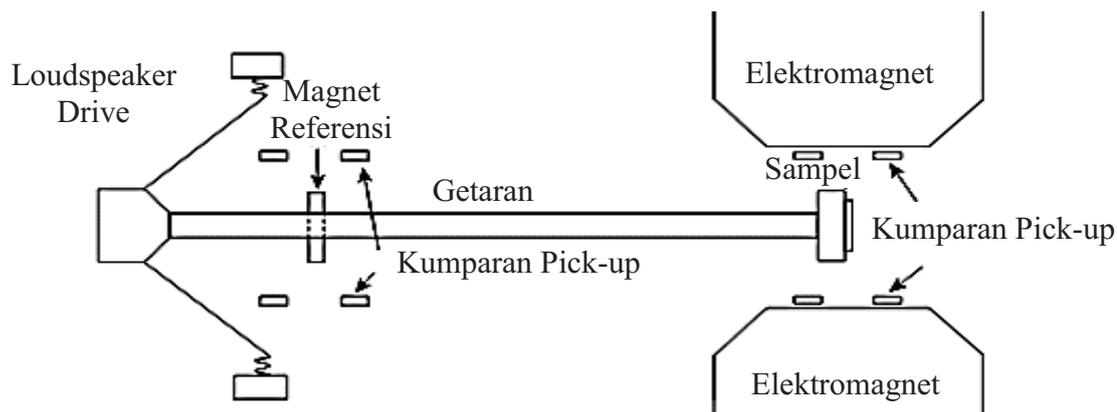
karakteristik ini diubah menjadi sinyal tegangan yang kemudian dikuatkan dengan preamp dan dianalisis dengan *DX-4 Analyzer* (Jamaludin *dkk*, 2012). Cara kerja dari spektrofotometri XRF ditunjukkan pada Gambar 2.14 yang merupakan skema dari Spektrofotometri XRF dengan sisten DX-95.

## 2.12 Sifat Magnetik dengan Suseptibilitas Magnetik

Bahan magnetik adalah material yang dapat memiliki magnetisasi secara spontan tanpa adanya pengaruh dari medan magnet luar yang dapat dilihat dari nilai suseptibilitas. Metode pengukuran suseptibilitas beberapa diantaranya adalah *Vibrating-Sample Magnetometer (VSM)*, *Alternating (Field) Gradient Magnetometer (AFGM atau AGM)*, dan *SQUID Magnetometer*. Suseptibilitas magnetik merupakan tetapan karakteristik dari suatu material, perbandingan antara magnetisasi ( $M$ ) dan intensitas medan magnet luar ( $H$ ). Secara matematis nilai dari suseptibilitas magnetik ( $\chi_m$ ) dapat dinyatakan dengan Persamaan (2.11) sebagai berikut.

$$M = \chi H \quad (2.11)$$

Dalam buku *Introduction to Magnetic Material* yang ditulis Cullity pada tahun 2009, untuk material diamagnetik paramagnetik antiferomagnetik yang merupakan magnet lemah, suseptibilitas adalah sifat utama yang menarik untuk dikaji. Kurva  $M$  vs  $H$  akan linear kecuali untuk temperatur yang sangat rendah dan medan yang sangat kuat. Menentukan nilai suseptibilitas dengan pengukuran satu atau dua nilai  $H$  sudah cukup untuk mendapatkan gradien (*slope*) yang merupakan nilai suseptibilitas magnetik. (Cullity dan Graham, 2009). Gambar 2.15 menunjukkan salah satu pengukuran sifat magnetik dengan skema *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)*.



**Gambar 2.15** Skema *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)* (Cullity, 2009)

### 2.13 Klasifikasi Bahan Magnet Berdasarkan Nilai Suseptibilitas

Klasifikasi dari bahan magnet berdasarkan nilai dari suseptibilitasnya dibagi menjadi 3 jenis yaitu diamagnetik, paramagnetik, dan kolektif magnet. Berikut ini penjelasan dari jenis-jenis bahan magnetik tersebut.

#### Bahan Diamagnetik

Diamagnetik merupakan bahan yang efek induksi murni. Hal ini berarti bahan diamagnetik akan termagnetisasi ketika terdapat medan magnet luar ( $H$ ) yang bekerja pada bahan. Ketika medan luar tersebut dihilangkan maka magnetisasi ( $M$ ) juga akan hilang. Nilai suseptibilitas magnetik dari bahan diamagnetik adalah negatif Persamaan (2.12).

$$\chi^{\text{dia}} = \text{konstan} < 0 \quad (2.12)$$

Beberapa contoh dari bahan diamagnetik adalah hampir seluruh bahan organik, logam raksa, dan superkonduktor di bawah temperatur kritis. Material diamagnetik ideal memiliki nilai suseptibilitas  $\chi^{\text{dia}} = -1$  (efek Meißner-Ochsenfeld). (Getzlaff, 2008)

#### Bahan Paramagnetik

Hal paling penting yang merupakan pertanda dari bahan atau material paramagnetik adalah adanya dipol magnet permanen. Dipol magnet permanen dari paramagnetik memiliki arah yang masih acak dan ketika medan magnet luar bekerja maka orientasi arah dipol yang acak akan menjadi terarah. Akan tetapi ketika medan magnet luar yang bekerja pada bahan dihilangkan maka orientasi arah dipol tersebut akan kembali acak. Nilai suseptibilitas dari bahan paramagnetik kecil dan tergantung dari temperatur dari bahan paramagnetic tersebut, sesuai dengan Persamaan (2.13).

$$\chi^{\text{para}} = \chi(T) > 0 \quad (2.13)$$

Beberapa bahan yang tergolong dalam paramagnetik adalah sebagian besar logam tanah jarang seperti perak (Ag), molibdenum (Mo), Tungsten (W), Platinum (Pt), Magnesium (Mg), dan Aluminium (Al). (Spaldin, 2011)

### **Bahan Kolektif Magnetik**

Nilai suseptibilitas dari bahan-bahan kolektif merupakan fungsi yang lebih kompleks dan parameter yang berbeda dibandingkan pada bahan diamagnetik serta paramagnetik. Bahan jenis kolektif magnetik sendiri dibagi menjadi 3 subkelas yaitu bahan ferromagnetik, ferrimagnetik, bahan antiferromagnetik. Berikut penjelasan dari ketiga subkelas bahan magnetik tersebut.

### **Bahan Ferromagnetik**

Ciri khas yang melekat bahan ferromagnetik adalah adanya temperatur kritis yang disebut dengan temperatur Curie yang merupakan batas dari bertambahnya kemampuan dari bahan untuk termagnetisasi sehingga mengalami kejenuhan. Berdasarkan hal tersebut maka magnetisasi dari bahan ferromagnetik merupakan fungsi temperatur  $M=M(T)$  dengan nilai dari T berada diantara nilai 0

dan temperatur kritis/Curie ( $T^*$  atau  $T_c$ ). Ketika temperatur  $T=0$  maka seluruh dipol momen magnet searah, sedangkan pada temperatur diatas temperatur Curie maka ferromagnetik akan berperilaku layaknya paramagnetik. Nilai suseptibilitas magnet dari bahan jenis ferromagnetik adalah jauh lebih besar dibandingkan dengan bahan paramagnetik atau secara matematis dapat dituliskan dengan Persamaan (2.14).

$$\chi^{\text{ferro}} = \chi(T,H) \gg \chi^{\text{para}} \quad (2.14)$$

Hampir seluruh bahan dari ferromagnetik berasal dari jenis logam seperti besi (Fe), kobal (Co), nikel (Ni), gadolinium (Gd), neodymium (Nd), diprosium (Dy) dalam nitrogen cair. (Getzlaff, 2008)

### **Bahan Ferrimagnetik**

Pada bahan jenis ferrimagnetik kisi-kisi bahan terbagi menjadi 2 bagian yaitu kisi A dan kisi B memiliki magnetisasi yang berbeda dan dengan jumlah keduanya tidak sama dengan nol sesuai dengan Persamaan (2.15) berikut.

$$M_A \neq M_B, \Sigma M = M_A + M_B \neq 0 \text{ untuk } T < T_c \quad (2.15)$$

Perbedaan ini pula terdapat pada besarnya momen dipol magnet yang saling berlawanan (antiparalel). Bahan jenis ferrimagnetik ini lebih dikenal secara luas sebagai bahan ferit. Beberapa contoh jenis dari bahan merupakan material-material atau bahan dengan struktur senyawa spinnel ferrit ( $AFe_{2x}O_{4y}$ ) seperti magnetit ( $Fe_3O_4$ ), hematit ( $Fe_2O_3$ ), tembaga ferrit ( $CuFe_2O_4$ ), barium heksaferit dan timbal heksa ferrit ( $BaFe_{12}O_{19}$  dan  $PbFe_{12}O_{19}$ ) dan beberapa senyawa lainnya. (Cullity, 2009).

## Bahan Antiferromagnetik

Antiferromagnetik adalah keadaan kusus dari ferrimagnetik yang memiliki temperatur kritis yang disebut dengan temperatur Neel ( $T^*$  atau  $T_N$ ) dan hampir sama dengan ferrimagnetik yang dibagi ke dalam kisi A dan B yang berbeda adalah arah momen magnet magnetisasi dengan besar yang sama. Jumlah total magnetisasi dari kedua kisi tersebut adalah nol atau momen dipol ( $\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow$ ). Persamaan matematis (2.16), (2.17), dan (2.18) dapat menjelaskan bahan antiferromagnetik.

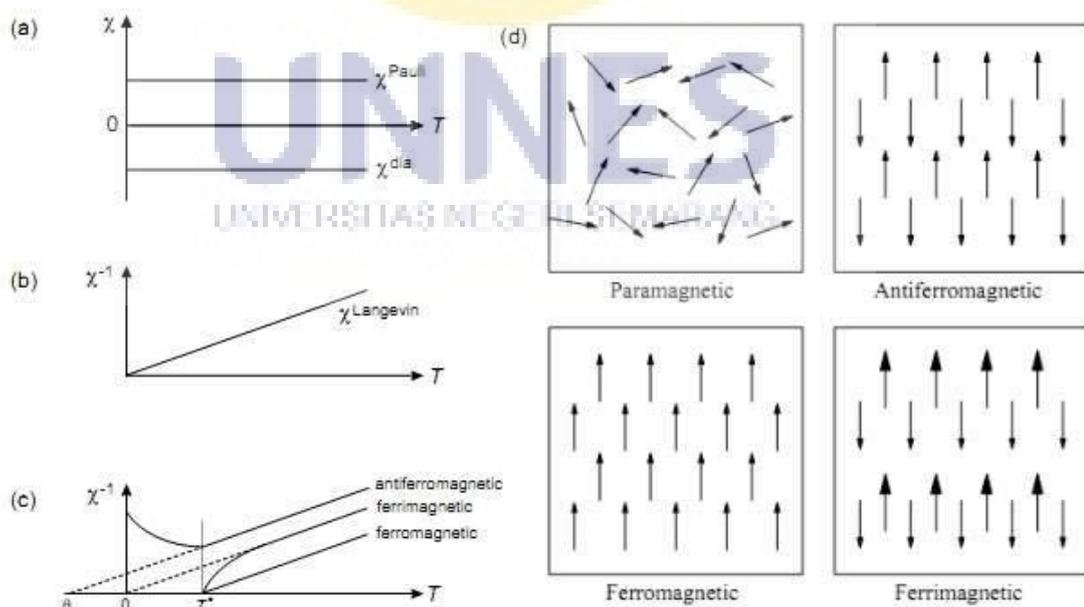
$$|M_A| = |M_B| \neq 0 \text{ untuk } T < T_N \quad (2.16)$$

$$M_A = -M_B \quad (2.17)$$

$$\Sigma M = M_A + M_B \equiv 0 \quad (2.18)$$

Bahan antiferromagnetik dapat berupa logam maupun logam mulia seperti kromium (Cr), kobal oksida (CoO), dan nikel oksida (NiO). (Coey, 2009)

Grafik dan susunan dipol magnet dari ketiga kelas bahan magnetik berserta subkelasnya ditunjukkan pada Gambar 2.16



**Gambar 2.16** Grafik (a) Diamagnetic (b) Paramagnetik (c) Kolektif Magnetik, (d) Susunan Dipol Magnet (Getzlaff, 2008 dan Spaldin, 2011)



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa simpulan diantaranya:

1. Pigmen anorganik berhasil disintesis menggunakan metode sol-gel dengan bahan pasir besi dan alum/tawas yang memiliki struktur jarosit. Struktur jarosit adalah kristal rombohedral ( $R\bar{3}m$  *space-group*) dengan ukuran kristal 35.1 nm. Hasil analisis warna dari jarosit menunjukkan warna kuning. Kadungan unsur utama dalam pigmen jarosit adalah besi (Fe), sulfur (S), titanium (Ti), molibdenum (Mo), dan aluminium (Al).
2. Penambahan  $\text{NH}_4\text{OH}$  bertujuan untuk mengatur pH pada kisaran nilai 2. Perbandingan volum optimum untuk menghasilkan pigmen jarosit adalah 1:1 pada perbandingan prekursor: $\text{NH}_4\text{OH}$ . Variasi perbandingan volum dilakukan pada perbandingan 1:2 dan 1:3 yang menghasilkan warna yang semakin gelap ditandai dengan berkurangnya komposisi warna. Hal ini terjadi karena pada perbandingan 1:2 dan 1:3, penambahan basa akan mereduksi ion  $\text{Fe}^{3+}$  yang merupakan penyusun jarosit.
3. Kalsinasi pada pigmen merubah struktur dari kristal pigmen dari jarosit rombohedral ( $R\bar{3}m$ ) menjadi hematit rombohedral ( $R\bar{3}c$ ). Perubahan struktur ini terjadi karena terdekomposisi unsur sulfur dan terjadinya proses oksidasi besi. Hal tersebut sesuai dengan data XRF pada pigmen

kasinasi 800°C yang menunjukkan hilangnya sulfur (S) dari 6,7% menjadi  
0% dan



bertambahnya unsur besi dari 76,48% menjadi 83,82%. Hasil analisis warna dengan CIE Lab memperlihatkan bahwa variasi temperatur kalsinasi menyebabkan perubahan warna pigmen dari kuning menjadi coklat dan pada akhirnya berwarna merah yang berkaitan dengan kandungan unsur/senyawa di dalamnya. Suseptibilitas magnetik dari sampel pigmen mengalami peningkatan nilai. Jarosit dan hematit dari nilai suseptibilitasnya masuk golongan paramagnetik serta antiferomagnetik. Hasil aplikasi pigmen jarosit sebagai pemberi warna cat telah berhasil dilakukan.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil karakterisasi serta uraian pembahasan dalam bab sebelumnya maka penelitian terkait pigmen ini perlu adanya penyempurnaan baik pada metode sintesis maupun perlakuan (*treatment*) sampel hasil sintesis. Metode sintesis yang digunakan dalam hal ini metode sol-gel perlu adanya penyempurnaan diantaranya.

1. Perlunya variasi selain temperatur kalsinasi, misal adanya penambahan ion-ion metal yang dapat menjadikannya sebagai ion kromofor yang memberikan warna lain. Peneliti pernah menambahkan ion-ion nikel pada pigmen jarosit untuk dikalsinasi pada suhu 250°C dan mendapatkan warna kuning kehijauan.
2. Bahan baku alternatif untuk sumber kation potasium dan anion sulfat dapat menggunakan potasium sulfat ( $K_2SO_4$ ) sehingga bebas unsur aluminium.

3. Perlunya analisis distribusi ukuran partikel menggunakan PSA (*Particle Size Analyzer*) untuk mengetahui ukuran-ukuran partikel yang terdistribusi dalam pigmen.
4. Perlu adanya pula analisis lebih lanjut dengan metode analisis Rietveld untuk beberapa sifat-sifat fisis dari material terutama terkait micro-structur seperti regangan dan tegangan kristal.
5. Perlu analisis menggunakan SEM untuk memastikan kesesuaian bentuk dari struktur kristal yang telah disintesis dengan database yang telah dicocokkan dengan pola difraksi.
6. Perlu dilakukan formulasi cat dan tinta dari awal yang benar-benar menggunakan binder dan ekstender dengan berbagai komposisi sehingga dapat melihat secara langsung karakteristik cat hasil penerapan dari pigmen.
7. Perlu membandingkan karakteristik-karakteristik kimia maupun fisika antara pigmen hasil sintesis dengan pigmen yang beredar di pasaran. Adapun perbandingan awal dilihat dengan kasat mata seperti yang dilampirkan pada Lampiran 12.

## REFERENSI

- Abdullah, M., Y. Virgus, Nirmin, dan Khairurrijal. Review : Sintesis Nanomaterial. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi* Vol 1 (No.2) pp.33-57.
- Anindita, T. I. 2011. Sintesis Membran Calcium-Aluminosilicate Menggunakan Template Alginat- Kitosan Untuk Aplikasi Penyaring Air Melalui Metode Sol-Gel. Skripsi. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Arifani, M., Baqiya, A. Malik, Darminto. Sintesis Multiferoik  $\text{BiFeO}_3$  Berbasis Pasir Besi Dengan Metode Sol Gel. *POMITS* Vol. 1, No. 1, (2012) 1-4.
- Azad, A.A., K. Ahmed, Q. Akhtar, dan S. A. Khalid. Cie  $L^*a^* b^*$  Values Of Cervical, Middle and Incisal Segments of Permanent Maxillary Central Incisors. *J Pak Dent Assoc* 2010;19(2):115-119.
- Bartington Instruments. Operation Manual for MS2 Magnetic Susceptibility System seri OM0408/49.
- Basciano, L.C. Jarosite-hydronium jarosite solid-solution series with full iron site occupancy: Mineralogy and crystal chemistry. *American Mineralogist* 92 (2007) pp. 1464-1473.
- Basciano, L.C. 2008. CRYSTAL CHEMISTRY OF THE JAROSITE GROUP OF MINERALS: Solid-solution and atomic structures. Disertasi. Kingston: Department of Geological Sciences and Geological Engineering Queen's University.
- Berner , M. K., V.E. Zarko, dan M.B. Talawar. Nanoparticles of Energetic Materials: Synthesis and Properties (Review). *Combustion, Explosion, and Shock Waves* (2013), Vol. 49, No. 6, pp. 625-647.
- Berry, M. A Study of Pigments from a Roman Egyptian Shrine. *Journal American Indian Culture Center and Museum Bulletin* (1999) 1-9.
- Bigham, J.M., F.S. Jones, B. Ozkaya, E. Sahinkaya, J.A. Puhakka, O.H. Touvinen. Characterization of jarosites produced by chemical synthesis over a temperature gradient from 2 to 40 °C. *International Journal of Mineral Processing* (2010) 121–128.
- Bornstein, M. Color and Its Measurement. *J. Soc. Cosmetic* (1968) pp.649-667.
- Bragg, W H. The Structure of Magnetite and the Spinels. *Nature (London)* **95**, 561-561 (1915)
- Buxbaum, G. dan G. Pfaff. 2005. *Industrial Inorganic Pigment*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA.

- Candeia, R.A., M.A.F. Souza, M.I.B. Bernardi, S.C. Maestrelli, I.M.G. Santos, A.G. Souza & E. Longo. Monoferrite  $\text{BaFe}_2\text{O}_4$  applied as ceramic pigment. *Ceramics International* 33 (2007) 521–525.
- Christidis, P. C. dan P. J. Rentzeperis. The crystal structure of rhombohedral  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  Sample: synthetic. *Zeitschrift fur Kristallographie* 144, 341-352 (1976)
- Clark, J. R., dan G. E. Brown. Crystal structure of rasvumite,  $\text{KFe}_2\text{S}_3$ . *American Mineralogist* 65, 477-482 (1980)
- Coey, J. M. D. 2009. *Magnetism and Magnetic Materials*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Cornell, R. M., dan U. Schwertmann. 2003. *The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrences and Uses*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Costa, A.F., P.M. Pimentel, F.M. Aquino, D.M.A. Melo, M.A.F. Melo, dan I.M.G. Santos. Gelatin synthesis of  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  and  $\text{CuFeCrO}_4$  ceramic pigments. *Mater Lett* (2013).
- Costa, G., V.P. Della, M.J. Ribeiro, A.P.N. Oliveira, G. Monros, dan J.A. Labrincha. Synthesis of black ceramic pigments from secondary raw materials. *Dyes and Pigments* 77 (2008) 137-144.
- Cullity, B. D., dan C. D. Graham. 2009. *Introduction to Magnetic Materials: 2<sup>nd</sup> Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Dahmen, T. dan R. Gruehn R. Beitrage zum thermischen verhalten von sulfaten. IX. Einkristallstrukturverfeinerung der metall(III)-sulfate  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  und  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  Locality: synthetic. *Zeitschrift fur Kristallographie* 204, 57-65 (1993)
- Danks, A. E., S.R. Hall, dan Z. Schnepf. The evolution of ‘sol–gel’ chemistry as a technique for materials synthesis. *Material Horizon*, 2016, 3, pp: 91-112.
- Dasalaku, A. P. W, D. A. T. Sina, dan R. A. Bella. PENGGUNAAN PASIR BESI SEBAGAI AGREGAT HALUS BETON PEMBERAT PIPA MINYAK/GAS LEPAS PANTAI. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Kristen Petra* Vol. 1, No. 3 (2012).
- Dasgupta, N., S. Ranjan, D. Mundekkad, Ramalingam, C., R. Shanker, dan A. Kumar. *Nanotechnology in agro-food: from field to plate*. Food Research International (2015).

- Dearing, John. 1999. Environmental Magnetic Susceptibility: Using the Bartington MS2 System 2<sup>nd</sup> Edition. Inggris: British Library.
- Dengxin, L., G. Guolong, M. Fanling, dan J. Chong. Preparation of nano-iron oxide red pigment powders by use of cyanided tailings. *Journal of Hazardous Materials* 155 (2008) 369–377.
- Dhont, J.K.G. 1996. An Introduction to Dynamics of Colloids. Utrecht: Elsevier.
- Ermrich, M., dan D. Opper. 2009. XRD for the analyst: Getting acquainted with the principles. Nurnberger: PANalytical GmbH.
- Finger, L. W. dan R. M. Hazen. Crystal structure and isothermal compression of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , and  $\text{V}_2\text{O}_3$  to 50 kbars. *Journal of Applied Physics* 51, 5362-5367 (1980).
- Graeber E. J., Rosenzweig A., "The crystal structures of yavapaiite,  $\text{KFe}(\text{SO}_4)_2$ , and goldichite,  $\text{KFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ", *American Mineralogist* 56, 1917-1933 (1971).
- Getzlaff, M. 2008. Fundamentals of Magnetism. Verlag Berlin Heidelberg: Springer.
- Helmboldt, O., L.K. Hudson, C. Misra, K. Wefers, W. Heck, H. Stark, M. Danner, N. Rösch. 2007. Aluminum Compounds, Inorganic in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Weinheim: Wiley-VCH.
- Herbst, W. dan K. Hunger. 2004. Industrial Organic Pigments, Third Edition. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA.
- Hussein, A. K. Applications of nanotechnology in renewable energies—A comprehensive overview and understanding. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42 (2015) 460–476.
- Isnaeni, A. L. A. 2012. Sintesis Mn Ferit Nanopartikel dengan Metode Sol Gel Berbahan Dasar Pasir Besi. Skripsi. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Jamaludin, A. dan Adiantoro, D., 2012. Analisis Kerusakan X-Ray Fluorescence (XRF). Pengelolaan Instalasi Nuklir PIN No. 9-10 (2012) pp.19-28.
- Jette, E. R. dan F. Foote. Precision determination of lattice constants Locality: synthetic Sample: at  $T = 25^\circ\text{C}$  Note: lattice parameter is average of two samples. *Journal of Chemical Physics* (3) 605-616 (1935)

- Kamel, A.H., Sawires, Z., Khalifa, H., Saleh, S.A., dan Abdallah. *The Thermal Decomposition of Ferrous Sulphate Heptahydrate*. J. appl. Chem. Biotechnol (1972) Vol. 22 pp.591-598.
- de'Keijser, TH.H, J. I. Langford, E. J. Mittemeijer, dan A. B. P. Vogels. Use of the Voigt Function in a Single-Line Method for the Analysis of X-ray Diffraction Line Broadening. J. Appl. Cryst. (1982). 15, pp.308-314.
- Kemenperin. 2016. Perkembangan Impor Komoditi Hasil Industri. Tersedia di [www.kemenperin.go.id/statistik/query\\_komoditi.php?komoditi=pigment&negara=&jenis=i&action=Tampilkan](http://www.kemenperin.go.id/statistik/query_komoditi.php?komoditi=pigment&negara=&jenis=i&action=Tampilkan) [diakses 3-4-2016].
- Kerolli M. M. dan Ćurković L. Analysing The Characteristics And Application Potentials of Jarosite Waste In Kosovo. Global NEST Journal, Vol 18, No 1, pp 89-97, 2016.
- Klein, C., dan C. S. Jr. Hurlbut. 1993. Manual of Mineralogy 21<sup>st</sup> Edition. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Langford, J. I., dan D. Louer. Power Diffraction. Reports on Progress in Physics. (1996) Vol. 59 No. 2 pp. 131-234.
- Legodi, M.A., dan D. de Waal. The preparation of magnetite, goethite, hematite and maghemite of pigment quality from mill scale iron waste. Dyes and Pigments 74 (2007) 161-168.
- Li, X., C. Wang, Y. Zeng, P. Li, T. Xie, dan Y. Zhang. Bacteria-assisted preparation of nano  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> red pigment powders from waste ferrous sulfate. Journal of Hazardous Materials 2016.
- Liu, L., A. Han, M. Ye, dan M. Zhao. Synthesis and characterization of Al<sup>3+</sup> doped LaFeO<sub>3</sub> compounds: A novel inorganic pigments with high near-infrared reflectance. Solar Energy Materials & Solar Cells 132 (2015) 377–384.
- Lowden, L.A., dan T. R. Hull. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction. Fire Science Reviews Springer (2013) 2:4.
- Manurung, M. dan I.F. Ayuningtyas. Kandungan Aluminium Dalam Kaleng Bekas Dan Pemanfaatannya Dalam Pembuatan Tawas. Jurnal Kimia 4(2) 180-186.
- Maulana, L. Z., A. Yulianto, dan Sulhadi. Foto Mikroskopi dan Kuat Tekan komposit plastik magnet Ferit. Seminar Nasional Fisika Universitas Negeri Jakarta, 1 Juni 2013.
- Novala, G.C., D. Fitriani, K. Susanto, K. H. Kirana. Magnetic Properties of Soils from Sarimukti Landfill as Proxy Indicators of Pollution (Case Study: Desa

- Sarimukti, Kabupaten Bandung Barat). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 29 (2016) 012015.
- Owen, E. A. Dan E. L. Yates. Precision measurements of crystal parameters Locality: synthetic Sample: at T = 18 C Note: lattice parameter is mean value of 4 radiation types. Philosophical Magazine **15**, 472-488 (1933).
- Pariona, N. , K.I.C. Aguilar, R.R. González, A.I. Martinez, M.H. Trejo, dan E.B. Saitovitch. Magnetic and structural properties of ferrihydrite/hematite nanocomposites. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 406 (2016) 221–227.
- Pemprov Jabar. 2016. SDA PENAMBANGAN PASIR BESI. Tersedia di [http://jabarprov.go.id/index.php/potensi\\_daerah/detail/103](http://jabarprov.go.id/index.php/potensi_daerah/detail/103) [diakses 20-4-2016]
- Puurunen, K., dan P. Vasara. Opportunities for utilising nanotechnology in reaching near-zero emissions in the paper industry. Journal of Cleaner Production 15 (2007) 1287-1294.
- Rahman, T. P. 2012. Pengolahan limbah industri baja (mill scale) menjadi pigmen besi oksida sebagai aletrnatif bahan baku pada industri cat. Tesis. Depok: Universitas Indonesia.
- Rahman, T. P., A. Sukarto, N.T. Rochman, dan A. Manaf. Sintesis Pigmen Besi Oksida Berbahan Baku Limbah Industri Baja (Mill Scale). Jurnal Fisika Vol. 3 No. 1, Mei 2013.
- Rajak, D.K., L.A. Kumaraswamidhas, S. Das, dan S. Senthil Kumaran. Characterization and analysis of compression load behaviour of aluminium alloy foam under the diverse strain rate. Journal of Alloys and Compounds 656 (2016) 218-225.
- Rajput, S., C. U. Pittman Jr., dan D. Mohan. Magnetic magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) nanoparticle synthesis and applications for lead (Pb<sup>2+</sup>) and chromium (Cr<sup>6+</sup>) removal from water. Journal of Colloid and Interface Science 468 (2016) 334–346.
- Raming, T.P., A. J. A. Winnubst, C. M. van Kats, dan A.P. Philipse. The Synthesis and Magnetic Properties of Nanosized Hematite ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Particles. Journal of Colloid and Interface Science 249, 346–350 (2002).
- Rao, N. V., M. Rajasekhar, K. Vijayalakshmi, dan M. Vamshykrishna. The Future of Civil Engineering with the Influence and Impact of Nanotechnology on Properties of Materials. Procedia Materials Science 10 (2015) 111–115.

- Saritha, A., B. Raju, D. Rao, Narayana, A. Roychowdhury, D. Das, dan K.A. Hussain. Facile green synthesis of iron oxide nanoparticles via solid-state thermolysis of a chiral, 3D anhydrous potassium tris(oxalato) ferrate(III) precursor. *Advanced Powder Technology* (2014).
- Spaldin, N.A. *Magnetic Materials: Fundamentals and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Syahfitri, W. Y. N., S. Kurniawati, N. Adventini, dan D. D. Lestiani. Evaluasi Penerapan Energi Dispersive X-Ray Fluorescence (ED-XRF) untuk Analisis Coal Fly Ash. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir 2013*.
- Scott, K.M., Origin of alunite- and jarosite-group minerals in the Mt. Leyshon epithermal gold deposit, northeast Queensland, Australia. *American Mineralogist* 75 (1990) 1176-1181.
- Sepelak, V., I. Bergmann, S. Indris, A. Feldhoff, H. Hahn, K.D. Becker, C.P. Grey, P. Heitjans. High-resolution  $^{27}\text{Al}$  MAS NMR spectroscopic studies of the response of spinel aluminates to mechanical action. *J. Mater. Chem.*, 2011, 21, 8332.
- Shen, L., Y. Qiao, Y. Guo, J. dan Tan. Preparation and formation mechanism of nano-iron oxide black pigment from blast furnace flue dust. *Ceramics International* 39 (2013) 737–744.
- Suciu, C. S. 2009. *NANOPARTICLES, AND A METHOD OF SOL-GEL PROCESSING*. United State Patent. US 2009/0074655 A1.
- Sugianto. 2005. *Fisika Zat Padat*. Semarang: FMIPA UNNES.
- Takane K. Crystal Structure of Diaspore. *Proceedings of the Japan Academy* 9, 113-116 (1933)
- Tan, A., R. Chawla, G. Natasha, S. Mahdibeiraghdar, R. Jeyaraj, J. Rajadas, M.R. Hamblin, dan A.M. Seifalian. *Nanotechnology and Regenerative Therapeutics in Plastic Surgery: The Next Frontier*. *British Journal of Plastic Surgery* (2015).
- Toby B. H. R factors in Rietveld analysis: How good is good enough?. *Powder Diffraction* 21(1) March 2006, hal: 67-70.
- 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: Universitas Negeri Malang*.

- Wicaksono, R., A. Yulianto, dan Sulhadi. Uji Mekanik Ferro Ferrite Dengan Pengikat Karet *alam*. Seminar Nasional 2ns Lontar Physics Forum 2013.
- Wolf, E.L. 2006. Nanophysics and Nanotechnology: An Introduction to Modern Concepts in Nanoscience. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH &Co. KGaA.
- Xu, W., Z. Xie, X. Cui, K. Zhao, L. Zhang, L. Mai, dan Y. Wanga. Direct Growth of Economic Green Energy Storage Material: Monocrystalline Jarosite-KFe<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>-Nanoplates@rGO Hybrid as Superior Lithium-Ion Battery Cathode. Journal of Materials Chemistry A 2015.
- Yulianto, A., S. Bijaksana, W. Loeksmanto, dan D. Kurnia. Produksi Hematit ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 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. 2007. UNNES MENJAWAB TANTANGAN ZAMAN: KUMPULAN RINGKASAN DISERTASI (Kajian Sifat Magnetik Pasir Besi dan Optimasi Pengolahannya Menjadi Magnet Ferit). Semarang: UNNES PRESS.
- Yulianto, A., dan M.P. Aji. Fabrikasi MnAn-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.