

**TUGAS AKHIR – TL184834**

**ANALISIS PENGARUH VARIASI SURFAKTAN TERHADAP  
KARAKTERISTIK *FERRO FLUID* BERBASIS  
NANOPARTIKEL MAGNETIT UNTUK APLIKASI TERAPI  
HIPERTERMIA**

**CHRISNA JULI ASTUTI**  
NRP. 02511840000070

Dosen Pembimbing  
**Rindang Fajarin, S.Si.,M.Si**  
NIP. 198302012008122002  
**Hariyati Purwaningsih, S.Si.,M.Si**  
NIP. 197410172006042001

**Program Studi Teknik Material**  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022





**TUGAS AKHIR – TL184834**

**ANALISIS PENGARUH VARIASI SURFAKTAN TERHADAP  
KARAKTERISTIK *FERRO FLUID* BERBASIS  
NANOPARTIKEL MAGNETIT UNTUK APLIKASI TERAPI  
HIPERTERMIA**

**CHRISNA JULI ASTUTI**  
NRP. 0251184000070

Dosen Pembimbing  
**Rindang Fajarin, S.Si.,M.Si**  
NIP. 198302012008122022  
**Hariyati Purwaningsih, S.Si.,M.Si**  
NIP. 197410172006042001

**Program Studi Teknik Material**  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022

*Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT – TL184834**

**ANLAYSIS OF THE EFFECT OF SURFACTANT  
VARIATION ON FERRO FLUID CHARACTERISTICS BASED  
ON MAGNETITE NANOPARTICLE FOR HYPERTHERMIA  
THERAPY**

**CHRISNA JULI ASTUTI**  
NRP. 02511840000070

Advisor  
**Rindang Fajarin, S.Si.M.Si**  
NIP. 198302012008122002  
**Hariyati Purwaningsih, S.Si.,M.Si**  
NIP. 197410172006042001

**Study Program of Materials Engineering**  
Departement of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022

*(This page is intentionally blank)*

## LEMBAR PENGESAHAN





### ANALISIS PENGARUH VARIASI SURFAKTAN TERHADAP KARAKTERISTIK *FERRO FLUID* BERBASIS NANOPARTIKEL MAGNETIT UNTUK APLIKASI TERAPI HIPERTERMIA

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi S-1 Teknik Material  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **CHRISNA JULI ASTUTI**  
NRP. 0251184000070

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- |                                       |   |               |
|---------------------------------------|---|---------------|
| 1. Rindang Fajarin, S.Si., M.Si.      |  | Pembimbing    |
| 2. Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si |  | Ko Pembimbing |
| 3. Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D     |  | Penguji       |
| 4. Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.       |  | Penguji       |

**SURABAYA**  
**Juli 2022**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## APPROVAL SHEET



### ANALYSIS OF THE EFFECT OF SURFACTANT VARIATION ON FERRO FLUID CHARACTERISTIC BASED ON MAGNETITE NANOPARTICLE FOR HYPERTERMIA THERAPY

#### FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements  
for obtaining a degree of bachelor of engineering at  
Undergraduate Study Program of Materials Engineering  
Departement of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **CHRISNA JULI ASTUTI**  
NRP. 0251184000070

Approved by Final Project Examiner Team :

- |                                       |   |            |
|---------------------------------------|---|------------|
| 1. Rindang Fajarin, S.Si., M.Si.      |  | Advisor    |
| 2. Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si |  | Co-Advisor |
| 3. Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D     |  | Examiner   |
| 4. Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.       |  | Examiner   |

**SURABAYA**  
**July, 2022**

*(This page is intentionally blank)*

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Chrisna Juli Astuti  
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi  
Dosen Pembimbing/NIP : Rindang Fajarin, S.Si.,M.Si

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "ANALISIS PENGARUH VARIASI SURFAKTAN TERHADAP KARAKTERISTIK *FERRO FLUID* BERBASIS NANOPARTIKEL MAGNETIT UNTUK APLIKASI TERAPI HIPERTERMIA" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 15 Juli 2022

Mengetahui  
Dosen Pembimbing

Mahasiswa



(Rindang Fajarin, S.Si.,M.Si)  
NIP. 1983020120008122002

(Chrisna Juli Astuti)  
NRP. 02511840000070

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student/NRP : Chrisna Jul Astuti / 0251184000070  
Departement : Materials and Metallurgical Engineering  
Advisor/NIP : Rindang Fajarin, S.Si.,M.Si

Hereby declare that the Final Project with the title of "ANALYSIS OF THE EFFECT OF SURFACTANT VARIATION ON FERRO FLUID CHARACTERISTIC BASED ON MAGNETIC NANOPARTICLE FOR HYPERTHERMIA THERAPY" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing..

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 15 July 2022

Acknowledged  
Advisor



(Rindang Fajarin, S.Si.,M.Si)  
NIP. 1983020120008122002

Student



(Chrisna Juli Astuti)  
NRP. 0251184000070

*(This page is intentionally blank)*

# ANALISIS PENGARUH VARIASI SURFAKTAN TERHADAP KARAKTERISTIK *FERRO FLUID* BERBASIS NANOPARTIKEL MAGNETIT UNTUK APLIKASI TERAPI HIPERTERMIA

Nama Mahasiswa / NRP : Chrisna Juli Astuti / 0251184000070  
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS  
Dosen Pembimbing 1 : Rindang Fajarin, S.Si.,M.Si  
Dosen Pembimbing 2 : Hariyati Purwaningsih, S.Si.,M.Si

## Abstrak

*Superparamagnetic iron oxide nanoparticles* merupakan salah satu nanopartikel magnetik yang memiliki potensi yang menjanjikan dan saat ini banyak dikembangkan untuk aplikasi biomedis, salah satunya aplikasi terapi hipertermia. Salah satu cara untuk melakukan terapi hipertermia dengan menggunakan metode material *ferrofluid* berbasis magnetit nanopartikel. Dalam penelitian ini, material nanopartikel magnetit disintesis menggunakan metode kopresipitasi dengan prekursor  $\text{FeCl}_2$  dan  $\text{FeCl}_3$ , dimana  $\text{FeCl}_2$  didapatkan melalui *steel wool* dan HCl yang dilarutkan. Campuran prekursor dititrasi dengan larutan basa kuat seperti  $\text{NH}_4\text{OH}$  serta mengontrol rasio molar  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  pada 1:2. Dengan penambahan surfaktan ke dalam nanopartikel oksida besi dapat mengurangi tingkat aglomerasi, memberi sifat biokompaktibel, dan mengontrol ukuran partikel. Dalam penelitian ini digunakan variasi penambahan surfaktan asam glutamat, asam oleat, dan *polyethylene glycol-6000* dengan rasio 2:5. Selanjutnya sampel dikarakterisasi menggunakan XRD, FTIR, SEM, PSA hidrofobisitas, *surface tension*, VSM, dan medan magnet. Analisis XRD menunjukkan bahwa nanopartikel memiliki struktur kristal kubik dan ukuran kristal antara 8.9 – 9.7 nm, serta penambahan surfaktan tidak menggeser puncak difraksi dan secara signifikan tidak mempengaruhi struktur kristal. Karakterisasi FTIR dengan penambahan surfaktan memunculkan gugus fungsi baru pada nanopartikel selain gugus fungsi OH dan Fe-O. Pada uji SEM dengan penambahan surfaktan secara konstan memperbesar ukuran partikel dari nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Semua nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  menunjukkan sifat superparamagnetik terbukti dengan terbentuknya kurva magnetisasi pada pengujian VSM yang tidak menunjukkan adanya magnet sisa (*remanence*), dan membentuk kurva S dengan nilai magnetisasi antara 38.10-40.08 emu/g. Nanopartikel di dalam cairan pembawa terbukti sesuai dengan surfaktan yang digunakan, pada pengujian hidrofobisitas nanopartikel dengan surfaktan asam oleat bersifat hidrofobik dengan sudut kontak  $132.65^\circ$  dan memiliki sifat hidrofilik dengan sudut kontak  $36.07^\circ$ - $49.65^\circ$  pada surfaktan asam oleat dan asam glutamat. Dengan uji *surface tension* didapatkan penambahan surfaktan asam oleat terbukti menurunkan tegangan permukaan dan memiliki nilai sebesar 59.84 mN/m. *Ferro fluid* memiliki potensi untuk aplikasi terapi hipertermia, terbukti mampu menghasilkan energi panas sebesar  $29.3$ - $31.9^\circ\text{C}$  pada saat dikenai medan magnet eksternal dengan grafik temperatur terhadap waktu terus mengalami kenaikan pada saat diberikan arus listrik. Dari kenaikan temperatur didapatkan nilai SAR sampel sebesar  $0.0627 - 0.155 \text{ W/g}$

**Kata Kunci:** *Kopresipitasi, superparamagnetik, terapi hipertermia.*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



# ANALYSIS OF THE EFFECT OF SURFACTANT VARIATION ON FERRO FLUID CHARACTERISTICS BASED ON MAGNETIC NANOPARTICLE FOR HYPERTHERMIA THERAPY

**Student Name / NRP** : Chrisna Juli Astuti / 0251184000070  
**Departement** : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS  
**Advisor** : Rindang Fajarin, S.Si.,M.Si  
**Co-Advisor** : Hariyati Purwaningsih, S.Si.,M.Si

## Abstract

Superparamagnetic iron oxide nanoparticles are one of the magnetic nanoparticles that have promising potential and are currently being developed for biomedical applications, one of which is hyperthermia therapy. One way to do hyperthermia therapy is using a ferrofluid material method based on magnetite nanoparticles. In this study, iron oxide nanoparticles were synthesized using the coprecipitation method with  $\text{FeCl}_2$  and  $\text{FeCl}_3$  precursors, where  $\text{FeCl}_2$  was obtained through steel wool and dissolved HCl. The precursor mixture is titrated with a strong base such as  $\text{NH}_4\text{OH}$  and controls the  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  molar ratio at 1:2. With the addition of surfactants into iron oxide nanoparticles can reduce the level of agglomeration, provide biocompatible properties, and control particle size. In this study, variations of the addition of glutamic acid, oleic acid, and polyethylene glycol-6000 surfactants were used in a 2:5 ratio. Furthermore, the samples were characterized using XRD, FTIR, SEM, PSA hydrophobicity, surface tension, VSM, and magnetic fields. XRD analysis showed that the nanoparticles had a cubic crystal structure and crystal size between 8.9 – 9.7 nm, and the addition of surfactants did not shift the diffraction peaks and did not significantly affect the crystal structure. The characterization of FTIR with the addition of surfactants gave rise to new functional groups in nanoparticles other than the OH and Fe-O functional groups. In the SEM test, the addition of surfactants constantly increases the particle size of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles. All  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles showed superparamagnetic properties as evidenced by the formation of a magnetization curve in the VSM test which did not show any residual magnetism, and formed an S curve with a magnetization value between 38.10-40.08 emu/g. The nanoparticles in the carrier liquid were proven to be compatible with the surfactant used, in the hydrophobicity test the nanoparticles with oleic acid surfactant were hydrophobic with a contact angle of  $132.65^\circ$  and had hydrophilic properties with a contact angle of  $36.07^\circ$ - $49.65^\circ$  in oleic acid and glutamic acid surfactants. With the surface tension test, it was found that the addition of oleic acid surfactant was proven to reduce the surface tension and had a value of 59.84 mN/m. Ferro fluid has the potential for hyperthermia therapy applications, proven to be able to produce heat energy of  $29.3$ - $31.9^\circ\text{C}$  when exposed to an external magnetic field with a graph of temperature over time that continues to increase when an electric current is applied. From the increase in temperature, the SAR value of the sample is  $0.0627 - 0.155 \text{ W/g}$ .

**Keywords:** *Coprecipitationi, hyperthermia therapy, superparamagnetic.*

*(This page is intentionally blank)*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul, “ANALISIS PENGARUH VARIASI SURFAKTAN TERHADAP KARAKTERISTIK *FERRO FLUID* BERBASIS NANOPARTIKEL MAGNETIT”. terselesaikannya laporan tugas akhir ini tidak luput dari dukungan, bantuan, motivasi serta partisipasi dari semua pihak, untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Rindang Fajarin, S.Si., M.Si. dan Ibu Hariyati Purwaningsih, S.Si.,M.Si. selaku dosen pembimbing tugas akhir atas segala ilmu dan bimbingan yang telah diberikan selama pelaksanaan tugas akhir hingga laporan selesai.
2. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M..Si., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS.
3. Bapak Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. selaku dosen wali penulis yang senantiasa memberikan nasihat dan arahan selama masa perkuliahan.
4. Bapak/Ibu Dosen yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis.
5. Orang tua, keluarga, dan teman kuliah penulis yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pihak terkait.

Surabaya, 05 Juli 2022  
Penulis

Chrisna Juli Astuti

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xxi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xxiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>3</b>
2.1 Nanopartikel .....	3
2.2 Oksida Besi (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) .....	3
2.2.1 Sifat Magnetik Oksida Besi.....	3
2.2.2 Aplikasi Nanopartikel Oksida Besi .....	4
2.3 Sintesis Nanopartikel Magnetik .....	4
2.4 <i>Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles (SPIONs)</i> .....	7
2.4.1 Magnetisasi superparamagnetik .....	7
2.5 Fungsionalisasi Permukaan .....	9
2.5.1 Biokompabilitas.....	9
2.5.2 Surfaktan.....	10
2.6 <i>Ferro fluid</i> .....	12
2.6.1 Klasifikasi <i>Ferrofluid</i> .....	12
2.7 Terapi Hipertermia .....	13
2.8 Penelitian Sebelumnya .....	15
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>21</b>
3.1 Diagram Alir.....	21
3.2 Bahan Penelitian .....	22
3.3 Alat Penelitian .....	22
3.4 Metode Penelitian .....	23
3.4.1 Sintesis Nanopartikel dalm bentuk Serbuk.....	23
3.4.2 Sintesis <i>Liquid Magnetit</i> .....	24
3.5 Pengujian .....	24
3.5.1 Pengujian <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	24
3.5.2 Pengujian <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i> .....	25
3.5.3 Pengujian <i>Fourier Transform Infrared (FTIR)</i> .....	26
3.5.4 Pengujian Hidrofobisitas .....	27
3.5.5 Pengujian <i>Vibration Sample Magnetometer (VSM)</i> .....	27
3.5.6 Pengujian <i>Particle Size Analyzer (PSA)</i> .....	28
3.5.7 Pengujian <i>Surface Tension</i> .....	29
3.5.8 Pengujian Medan Magnet AC .....	29
3.6 Rancangan Penelitian .....	30
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>31</b>
4.1 Hasil Pengujian <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	31
4.2 Hasil Pengujian <i>Fourier Tranform Infrared (FTIR)</i> .....	33

4.3	Hasil Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM) .....	34
4.4	Hasil Pengujian <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA).....	36
4.5	Hasil Pengujian Hidrofobisitas .....	37
4.6	Hasil Pengujian <i>Surface Tension</i> .....	37
4.7	Hasil Pengujian <i>Vibration Sample Magnetometer</i> (VSM) .....	38
4.8	Hasil Pengujian Medan Magnet.....	39
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>43</b>
5.1	Kesimpulan .....	43
5.2	Saran.....	43
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>.....</b>	<b>45</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Metode <i>kopresipitasi</i> .....	7
<b>Gambar 2.2</b>	Kurva histersis .....	8
<b>Gambar 2.3</b>	<i>Single domain</i> .....	8
<b>Gambar 2.4</b>	Kurva histersis partikel superparamagnetik dan ferimagnetik nanopartikel Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	9
<b>Gambar 2.5</b>	Biokompabilitas magnetik nanopartikel .....	10
<b>Gambar 2.6</b>	Skema struktur surfaktan .....	11
<b>Gambar 2.7</b>	<i>ferrofluid</i> .....	12
<b>Gambar 2.8</b>	Komposisi <i>ferrofluid</i> .....	13
<b>Gambar 2.9</b>	Mekanisme kerja terapi hipertermia .....	14
<b>Gambar 2.10</b>	Hasil XRD .....	17
<b>Gambar 2.11</b>	Hasil VSM .....	17
<b>Gambar 2.12</b>	Hasil FTIR .....	18
<b>Gambar 2.13</b>	Hasil pengujian SEM.....	19
<b>Gambar 2.14</b>	Grafik temperatur terhadap waktu.....	19
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir.....	22
<b>Gambar 3.2</b>	Alat Uji XRD.....	24
<b>Gambar 3.3</b>	Alat dan Skema Pengujian SEM .....	26
<b>Gambar 3.4</b>	Skema Pengujian SEM .....	26
<b>Gambar 3.5</b>	Alat Pengujian FTIR.....	27
<b>Gambar 3.6</b>	Skema Uji Hidrofobisitas .....	27
<b>Gambar 3.7</b>	Alat Pengujian VSM.....	28
<b>Gambar 3.8</b>	Alat Pengujian PSA .....	28
<b>Gambar 3.9</b>	Alat pengujian <i>surface tension</i> .....	29
<b>Gambar 3.10</b>	Skema Pengujian Medan Magnet AC .....	29
<b>Gambar 4.1</b>	Hasil XRD Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	31
<b>Gambar 4.2</b>	Hasil XRD (a) Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , (b) Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> + GA, (c) Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> + PEG, dan (d) Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> + OA .....	32
<b>Gambar 4.3</b>	Hasil uji FTIR.....	33
<b>Gambar 4.4</b>	Hasil SEM Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	34
<b>Gambar 4.5</b>	Hasil SEM Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> dengan variasi penambahan surfaktan.....	35
<b>Gambar 4.6</b>	Hasil PSA Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	36
<b>Gambar 4.7</b>	Hasil pengujian hidrofobisitas .....	37
<b>Gambar 4.8</b>	Hasil pengujian VSM .....	39
<b>Gambar 4.9</b>	Pengaruh medan magnet terhadap temperatur.....	40

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Sifat fisik dan magnetik oksida besi .....	4
<b>Tabel 2.2</b>	Metode sintesis nanopartikel .....	5
<b>Tabel 2.3</b>	Metode sintesis nanopartikel .....	16
<b>Tabel 3.1</b>	Jadwal Penelitian .....	30
<b>Tabel 3.2</b>	Tabel pengujian .....	30
<b>Tabel 4.1</b>	Perbandingan ukuran partikel .....	32
<b>Tabel 4.2</b>	Ukuran partikel hasil uji SEM .....	34
<b>Tabel 4.3</b>	Perbandingan ukuran <i>SPIONs</i> berdasar SEM .....	36
<b>Tabel 4.4</b>	Hasil PSA .....	36
<b>Tabel 4.5</b>	Hasil pengujian <i>surface tension</i> .....	38
<b>Tabel 4.6</b>	Hasil Magnetisasi .....	38
<b>Tabel 4.7</b>	Nilai <i>specific absorption rate</i> .....	40
<b>Tabel 4.8</b>	Perbandingan untuk aplikasi .....	41

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  merupakan salah satu kelompok material oksida besi (*iron oxide*) yang saat ini sering diteliti. Dalam dua dekade terakhir, sejumlah besar penelitian telah dikhususkan untuk mensintesis nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  magnetik untuk mencapai kontrol yang tepat atas ukuran partikel, bentuk morfologi, kristalinitas, serta sifat magnetik (Ali et al., 2016). Nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  merupakan salah satu kelompok material oksida besi (*iron oxide*) yang saat ini sering diteliti. Dalam dua dekade terakhir, sejumlah besar penelitian telah dikhususkan untuk mensintesis nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  magnetik untuk mencapai kontrol yang tepat atas ukuran partikel, bentuk morfologi, kristalinitas, serta sifat magnetik (Ghazanfari et al., 2016).

Nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan dalam berbagai aplikasi karena sifat yang dimilikinya. Nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang paling umum digunakan dalam berbagai bidang nanoteknologi maju, seperti di bidang biomedis dan bioterapi. Aplikasi magnetik nanopartikel pada bidang biomedis memerlukan sifat superparamagnetik dan membentuk koloid stabil dalam cairan pada pH netral. Salah satu aplikasi bioterapi yang menggunakan nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , yakni terapi hipertermia. Nanopartikel magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) merupakan material nanopartikel magnetik yang paling umum digunakan dalam penelitian alternatif pengobatan menggunakan terapi hipertermia, hal ini dikarenakan magnetit merupakan material yang memiliki toksisitas yang rendah dan juga proses sintesis yang cukup mudah (Shaterabadi et al., 2017).

Dengan luasnya aplikasi nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dalam bidang teknologi dan sains, mengharuskan pengembangan material magnetik dari berbagai metode sintesis (Larumbe et al., 2012). Berbagai metode sintesis nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  telah banyak dikembangkan, seperti metode dekomposisi termal (Nee Koo et al., 2019), metode solvothermal (Sun & Zeng, 2002), metode sol gel (Takai et al., 2019), metode hidrotermal (Gabelica et al., 2021), metode micro-emulsion (Asab et al., 2020), dan metode kopresipitasi (Petcharoen & Sirivat, 2012). Metode sintesis kimia merupakan metode yang efektif untuk menghasilkan nanopartikel magnetit jika dibandingkan dengan metode secara fisika maupun biologi, hal ini dikarenakan metode kimia memiliki kontrol yang tepat atas komposisi, ukuran, dan struktur bahan yang dihasilkan (Natarajan et al., 2019).

Salah satu metode sintesis yang dapat digunakan untuk produksi magnetit nanopartikel ialah metode kopresipitasi. Metode kopresipitasi membutuhkan dua reaksi atau lebih untuk menghasilkan presipitat nanopartikel magnetit. Untuk menghasilkan oksida besi magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dibutuhkan kation  $\text{Fe}^{3+}$  dan  $\text{Fe}^{2+}$  dengan perbandingan stoikiometri tertentu. Kation  $\text{Fe}^{3+}$  dan  $\text{Fe}^{2+}$  didapatkan dari prekursor  $\text{FeCl}_3$  dan  $\text{FeCl}_2$ . Konsentrasi dan ukuran nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  bergantung pada jenis garam besi yang digunakan (klorida, nitrat, sulfat), rasio perbandingan ion *ferric* dan *ferrous*, zat pelarut, nilai pH, temperatur reaksi, serta pengaruh kecepatan pengadukan (Nee Koo et al., 2019). Dalam praktiknya, proses sintesis metode ko-presipitasi rentan terjadi oksidasi dan kecenderungan membentuk aglomerasi pasca sintesis.

Nanopartikel magnetik dalam bentuk liquid merupakan material yang cocok untuk aplikasi terapi hipertermia, hal ini dikarenakan nanopartikel dalam bentuk cairan memiliki perilaku yang sama seperti cairan pada umumnya namun memiliki sifat superparamagnetik. Beberapa hal yang harus dipenuhi *Superparamagnetic Iron Oxides Nanoparticles* sebagai aplikasi terapi hipertermia, yakni mencegah aglomerasi, sifat dispersi yang baik, dan memiliki sifat biokompatibel (Ansari et al., 2019). Salah satu upaya untuk memperbaiki karakteristik serta meningkatkan stabilitas dari *Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles* agar tidak

mengalami aglomerasi adalah dengan penambahan surfaktan sebagai agen pelapis untuk menambah biokompabilitas, mengurangi toksisitas, dan ukuran dan bentuk partikel yang homogen (Buzea et al., 2007). Menurut, dengan ditambahkan surfaktan dalam proses sintesis magnetik nanopartikel dapat mengurangi distribusi ukuran partikel, ukuran partikel, dan juga aglomerasi dari partikel. (Petcharoen & Sirivat, 2012), telah melakukan penelitian sintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan dan tanpa surfaktan. Dari penelitian tersebut, didapatkan ukuran partikel sebesar 15 nm namun mudah mengalami aglomerasi karena tidak ditambahkan surfaktan dan dengan ditambahkan surfaktan Asam oleat dan *Hexagonal Acid* memberikan ukuran magnetik nanopartikel yang lebih besar karena terdapat kombinasi lapisan agen pelapis pada permukaan magnetit. Dari beberapa penelitian sebelumnya, maka dalam penelitian ini berupaya untuk mengkaji penggunaan beberapa surfaktan untuk mengetahui optimasi jenis surfaktan yang tepat untuk mendapatkan karakteristik *Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles* yang sesuai untuk aplikasi terapi hipertermia.

## 1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan asam oleat, asam glutamat, dan *polyethylene glycol* 6000 sebagai surfaktan terhadap karakteristik nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ?
2. Apakah nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  mempunyai karakteristik *Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles*?
3. Bagaimana karakteristik nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  di dalam cairan pembawa?
4. Apakah *ferrofluid* mempunyai potensi untuk diaplikasikan sebagai terapi hipertermia.

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk mengurangi penyimpangan dari masalah yang ditinjau, maka ditentukan batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Reaksi-reaksi kimia yang terjadi dalam penelitian ini dianggap sempurna secara stoikiometri
2. Penelitian dilakukan pada tekanan atmosfer dan dianggap steril.
3. Penelitian dilakukan pada lingkungan dengan temperatur kamar.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Dengan telah ditentukannya perumusan masalah diatas, terdapat tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh penambahan asam oleat, asam glutamat, dan *polyethylene glycol* 6000 sebagai surfaktan terhadap karakteristik nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .
2. Menganalisis nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  mempunyai karakteristik *Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles*
3. Menganalisis karakteristik nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  di dalam cairan pembawa
4. Menganalisis potensi *ferrofluid* untuk diaplikasikan sebagai terapi hipertermia.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk memberi informasi mengenai pengaruh variasi penambahan asam oleat, asam glutamat, dan *polyethylene glycol* 6000 sebagai surfaktan terhadap *liquid magnetic* untuk aplikasi terapi hipertermia. sehingga diperoleh hasil yang baik dan efektif untuk aplikasi pengembangan material biomedis dan memberikan kontribusi dalam material sains yang memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut dalam dunia kesehatan

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Nanopartikel

Nanopartikel adalah partikel dengan ukuran nanometer, dimana proses produksinya menggunakan nanoteknologi untuk membentuk partikel yang memiliki setidaknya satu dimensi dengan ukuran nanometrik berkisar 1-1000 nm. Nanopartikel menjadi topik yang sangat menarik, hal ini dikarenakan material dalam partikel berukuran nano memiliki sifat fisik dan kimia yang lebih unggul jika dibandingkan dengan material dengan ukuran lebih besar (*bulk*). Dalam hal ini sifat mekanik dapat diubah dengan cara bervariasi ukuran bahan, mengatur komposisi kimia, modifikasi permukaan dan mengontrol interaksi antar partikel (Bukit et al., 2015).

Material nanopartikel yang akan digunakan pada bidang kesehatan diharuskan memiliki aspek utama yang perlu diperhatikan, yaitu ukuran, bentuk dan karakteristik permukaan agar dapat mencapai efektivitasnya dalam pengiriman obat dalam bentuk nano dan mengontrol efektivitas terapi. Ukuran nanopartikel yang baik untuk aplikasi terapi kanker adalah 10-100 nm. Nanopartikel yang memiliki ukuran lebih besar dari 100 nm akan mudah dibersihkan dari sirkulasi oleh fagosit, salah satu golongan sel darah putih. Ukuran yang lebih kecil dari 1-2 nm akan mudah mengalami bocor dari pembuluh darah normal sehingga dapat merusak sel normal, serta dengan ukuran yang kecil tersebut material tersebut akan mudah disaring oleh ginjal (diameter kurang dari 10 nm). Adapun untuk karakteristik permukaan, nanopartikel umumnya dimodifikasi menjadi hidrofilik untuk meningkatkan periode waktu obat terapi dalam sirkulasi, serta jumlahnya yang terkena kontak dengan jaringan tumor (Yao et al., 2020).

Salah satu material nanopartikel, yaitu material magnetik. Material magnetik adalah material yang dapat memberikan berbagai respon terhadap magnet. Adapun beberapa jenis material magnet yang memiliki sifat magnet diantaranya, yaitu material oksida besi, seperti hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), maghemite ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), ilmenite ( $\text{FeTiO}_3$ ) dan magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) serta material sulfida besi, seperti pirhotit ( $\text{Fe}_7\text{S}_8$ ) dan greigit ( $\text{Fe}_3\text{S}_4$ ). Penelitian penggunaan material oksida besi telah banyak dilakukan dalam berbagai bidang (Prasdiatika & Susanto, 2017). Berdasarkan sifat magnetnya, material magnetik terbagi menjadi lima, seperti ferromagnetik, ferrimagnetik, paramagnetik, antiferromagnetik, dan diamagnetik (agoteray). Nanopartikel yang tersusun dari material ferromagnetik dan berukuran <10-20 nm, memiliki bentuk magnetism yaitu superparamagnet. Material ferromagnetik tersebut termasuk unsur logam, paduan oksida, dan senyawa kimia lainnya yang dimagnetisasi oleh medan magnet luar. Sifat superparamagnet biasanya hanya ada dalam sistem nanopartikel (Ali et al., 2016).

### 2.2 Oksida Besi ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )

Oksida besi yang terkenal di alam terdapat delapan jenis, jenis oksida besi yang paling umum ditemukan, yakni magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), maghemite ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) dan hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) (Natarajan et al., 2019). Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), maghemite ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) adalah material yang ideal untuk aplikasi dalam bidang industri dan biomedis. Hal tersebut dikarenakan keduanya memiliki keunggulan yang dapat digunakan kembali dibandingkan oksida besi lainnya karena sifat magnetik, biokimianya yang unik (Wu et al., 2015).

#### 2.2.1 Sifat Magnetik Oksida Besi

Oksida besi memiliki sifat fisik yang sangat baik, salah satunya terkait dengan sifat magnetik. Sifat magnetik dari oksida besi dipengaruhi oleh ukuran, bentuk morfologi, dan memiliki luas permukaan yang besar sehingga oksida besi memiliki keunggulan untuk mengabsorpsi ion logam berat. Berikut adalah sifat fisik dan magnetik dari besi oksida yang dirangkum dalam **tabel 2.1**

**Tabel 2.1** Sifat fisik dan magnetik oksida besi (Wu et al., 2015)

Sifat	Oksida Besi		
	Magnetit	Maghemit	Hematit
Formula molekul	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	γ-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	5,18	4,87	5,26
Melting point (°C)	1583-1597	-	1350
Kekerasan	5,5	5	6,5
Jenis kemagnetan	Feromagnetik	Ferimagnetik	Feromagnetik lemah atau antiferomagnetik
Curie Temperatur (°K)	850	820-986	956
Magnetisasi saturasi di 300K (A-m <sup>2</sup> /kg)	92-100	60-80	0,3
Standar free energy of formation ΔG <sup>o</sup> (kJ/mol)	-1012,6	-711,1	-742,7
Sistem kristalografi	Kubik	Kubik atau tetrahedral	Rhomohedral, hexagonal
Space Group	Fd3	P4 <sub>3</sub> 32 (tetragonal)	R2c (hexagonal)
Tipe struktural	<i>Inverse spinel</i>	<i>Defect spinel</i>	<i>Corundum</i>

### 2.2.2 Aplikasi Nanopartikel Oksida Besi

Nanopartikel memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan dalam berbagai aplikasi karena sifat yang dimilikinya. Saat ini, oksida besi dalam bentuk Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (magnetit) dan senyawa γ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (maghemite) adalah nanopartikel yang paling umum digunakan dalam berbagai bidang nanoteknologi maju, seperti di bidang biomedis dan bioterapi. Dalam aplikasi bidang medis, material magnetik nanopartikel harus bersifat biokompabilitas dan anti toksisitas, dimana sifat tersebut dipengaruhi oleh sifat magnetik partikel dan coating (Nenohai et al., 2021). Selain itu nanopartikel juga harus stabil secara koloid dalam media biologis. Stabilitas koloid mengacu pada kapasitas larutan nanopartikel untuk mencegah aglomerasi dan pengendapan (Latorre-Esteves & Rinaldi, 2014).

Aplikasi magnetit nanopartikel pada bidang biomedis memerlukan sifat superparamagnetik dan membentuk koloid stabil dalam cairan pada pH netral. Adapun nanopartikel digunakan dalam aplikasi pemisahan sel, terapi kanker (Marcus et al., 2016), *drug delivery agent* (Lee et al., 2020), *magnetic resonance imaging* (MRI) (H. Li et al., 2020), dan *magnetic fluid hyperthermia therapy* (Wang et al., 2011). Pada umumnya, nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang dihasilkan dari proses sintesis mudah teraglomerasi. Dengan demikian, diperlukan material yang dapat menyebarkan (melepaskan) partikel dalam cairan magnetik sehingga tidak terjadi aglomerasi. Cairan magnetik biasanya terdiri dari partikelmagnetik berukuran nano, seperti Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang tersuspensi dalam *carrier fluid* (Nenohai et al., 2021).

### 2.3 Sintesis Nanopartikel Magnetik

Metode dan parameter sintesis merupakan hal yang sangat penting dalam menentukan sifat fisik dan sifat kimia dari Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Pemilihan metode sintesis mempengaruhi ukuran

nanopartikel, distribusi ukuran, morfologi, magnet, dan luas permukaan. Beberapa metode telah dikembangkan untuk proses sintesis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, seperti metode fisika, kimia, dan biologi (Ali et al., 2016)

**Tabel 2.2** Metode sintesis nanopartikel (Ansari et al., 2019)

	Metode Sintesis	Bentuk Morfologi	Kelebihan	Kekurangan
Fisika	Pengendapan fasa gas	Bulatan dan bulatan tidak beraturan	Mudah dilakukan preparasi	Sulit untuk mengontrol ukuran dari partikel
	Litrografi berkas elektron	Bulatan dan <i>rods</i>	Mudah mengontrol ukuran antar partikel	Membutuhkan peralatan yang kompleks dan mahal
	Sol-gel	Bulatan dan berpori	Mudah mengontrol ukuran antar partikel dan struktur internal	Permeabilitas tinggi, ikatan antar partikel yang lemah, dan ketahanan aus yang rendah
	Kopresipitasi	Bulatan	Simpel dan efektif	Terbentuk aglomerasi, dan tidak sesuai untuk sintesis yang membutuhkan kemurnian tinggi
Kimia	Hidrotermal	Bulatan memanjang	Ukuran partikel dan bentuk partikel mudah untuk dikontrol	Membutuhkan tekanan dan tempertaur yang tinggi saat proses sintesis
	Elektrokimia	<i>Nanorods</i> dan <i>hexagonal nanocrystal</i>	Ukuran partikel mudah dikontrol	Sulit dilakukan <i>reproduce</i>
	Aerosol	Mesopori <i>single crystals</i>	Skala produk yang besar	Sangat membutuhkan temperatur yang tinggi
	Sonokimia	Bulatan dan <i>bipyramids</i>	Distribusi ukuran dalam partikel kecil	Mekanisme sintesis tidak mudah
Biologi	Nanoreaktor	Bulatan dan berlubang	Lebih mudah dalam mengontrol ukuran nanopartikel	Kondisi sisntesis yang rumit
	Inkubasi mikroba	<i>Small platelets</i> dan <i>spd-like spheres</i>	Reproduksibilitas, skala ukuran yang baik, dan biaya rendah	Proses sintesis membutuhkan waktu lama

Setiap metode yang dijelaskan sebelumnya memiliki kelebihan dan kekurangannya. Meskipun metode fisika mudah untuk dilakukan sintesis, akan tetapi metode tersebut sulit untuk mengontrol ukuran partikel. Sementara itu dalam metode sintesis kimia basah, ukuran dapat dikontrol menyesuaikan dengan kondisi. Metode sintesis berbasis kimia merupakan metode yang paling banyak digunakan, hal tersebut dikarenakan metode sintesis kimia tidak membutuhkan biaya yang relatif mahal dan nanopartikel yang dihasilkan bagus. Sifat fisik dan sifat kimia nanopartikel dapat bervariasi. Adapun metode kimia meliputi metode elektrokimia, sol-gel, hidrotermal, kopresipitasi, sonokimia, dekomposisi sonokimia, injeksi aliran, dan nanoreaktor (Ali et al., 2016).

**Tabel 2.3** Perbandingan metode sintesis kimia

Metode sintesis	Temperatur sintesis (°C)	Waktu sintesis	Nilai magnetisasi (emu/g)	Ukuran partikel (nm)	Bentuk partikel
Aerosol	>100	Menit-jam	10-50	5-60	Bulatan
Sol-gel	25-2000	Jam	10-40	20-200	Bulatan
Mikroemulsi	20-80	Jam	>30	4-15	Kubik / bulatan
Desposisi gas	100-350	Hari	>20	5-50	Bulatan
Kopresipitasi	20-150	Menit	30-70	5-40	Bulatan

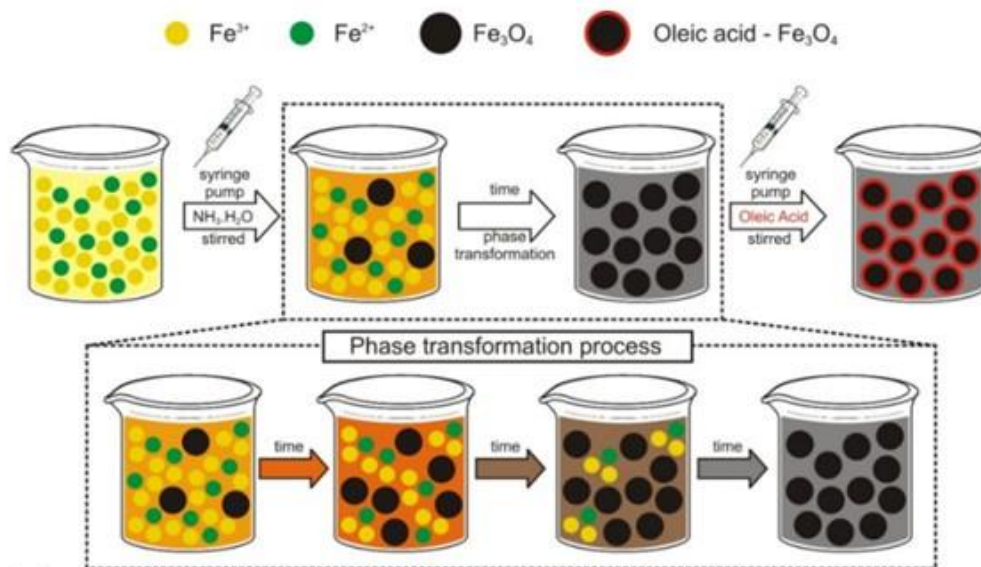
Metode sintesis kopresipitasi merupakan salah satu metode sintesis kimia yang digunakan untuk mensintesis nanopartikel. Dalam menggunakan metode ini, digunakan campuran prekursor *ferric* dan *ferrous* yang digunakan sebagai sumber besi dalam larutan kondisi basa sehingga menghasilkan nanopartikel superparamagnetik (Song et al., 2019). Metode kopresipitasi adalah metode sintesis yang paling simpel, efisien, dan juga tidak memerlukan perlakuan panas pada temperatur yang tinggi untuk proses sintesis nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Terdapat tiga tahapan utama dalam metode sintesis kopresipitasi, yaitu pertama preparasi larutan garam logam prekursor, reaksi pembentukan nanopartikel melalui reaksi basa alkali, dan terakhir proses pencucian *slurry* nanopartikel. Faktor-faktor yang mempengaruhi dari metode sintesis kopresipitasi, yakni ukuran, morfologi, dan komposisi dari nanopartikel seperti perbandingan rasio Fe<sup>3+</sup> dan Fe<sup>2+</sup>, dan temperatur pemanasan. Telah ditunjukkan bahwa pH larutan basa mempengaruhi ukuran nanopartikel, dimana dengan penurunan pH dari 14 menjadi 11.54 menyebabkan partikel yang lebih besar dari 3 hingga 6 nanometer. Temperatur pemanasan pada saat dilakukan sintesis mempengaruhi ukuran partikel, dimana temperatur yang lebih tinggi akan menghasilkan ukuran nanopartikel yang lebih besar (X.-M. Li et al., 2011).

Berdasarkan reaksi termodinamika, sintesis *superparamagnetic iron oxide nanoparticles* berada pada pH antara 8 hingga 14 dengan rasio perbandingan stoikiometri prekursor Fe<sup>2+</sup>/Fe<sup>3+</sup>, yakni 1:2 dalam lingkungan non oksidasi. Untuk mendapatkan partikel fasa tunggal magnetit, nanopartikel dapat dilakukan sintesis dengan prekursor *ferrous* dan *ferric* menggunakan larutan basa kuat, seperti NaOH dan NH<sub>4</sub>OH. Magnetik merupakan material yang sensitif terhadap oksigen dan adanya udara, sehingga dapat mengalami oksidasi menjadi Fe(OH)<sub>3</sub> atau menjadi maghemit ( $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan kehilangan sifat magnetiknya. Disisi lain, magnetit dapat berubah menjadi maghemit ( $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ketika terdapat keberadaan H<sup>+</sup>. Oleh karena itu, untuk menghindari terbentuknya maghemit pada saat proses sintesis, diperlukan kontrol yang tepat proses kopresipitasi. Kelebihan dari penggunaan metode kopresipitasi, yakni



ukuran partikel yang dihasilkan dalam ukuran nanopartikel dalam jumlah besar dan distribusi ukuran relatif sempit (X.-M. Li et al., 2011).

Kelemahan dari metode kopresipitasi adalah ukuran dari nanopartikel cenderung besar serta memiliki polidisversitas partikel yang kecil. Selain itu, nanopartikel yang dihasilkan dari sintesis menggunakan metode kopresipitasi mudah teraglomerasi dan teroksidasi. Untuk meningkatkan stabilitas serta mencegah terjadinya hal tersebut, maka perlu dilakukan modifikasi permukaan nanoopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan penambahan *capping agent* pada permukaan nanopartikel (Nalle et al., 2019).



Gambar 2.1 Metode kopresipitasi (Nalle et al., 2019)

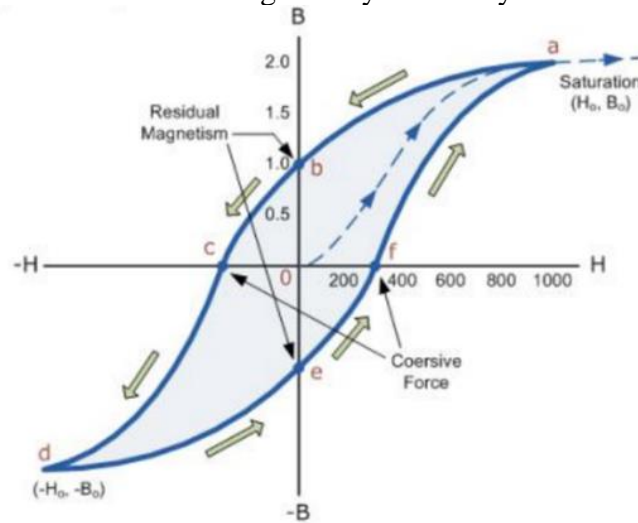
#### 2.4 Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles (SPIONs)

Ukuran partikel mempengaruhi sifat magnetik dari material nanopartikel. Pada kondisi tertentu, ketika ukuran partikel besi oksida ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )  $< 10$  nm, maka material  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dapat menampilkan sifat superparamagnetik (Nee Koo et al., 2019). Material superparamagnet merespon medan magnet eksternal dengan sangat kuat karena dalam kondisi *bulk* material ini bersifat feromagnetik. Namun ketika medan magnet eksternal dihilangkan, maka material ini kembali pada kondisi non-magnetik. Properti inilah yang menjadikan material superparamagnetik dapat diaplikasikan pada bidang biomedis. Terdapat sejumlah material yang menunjukkan sifat feromagnetik, antara lain Fe, Co atau Ni. Namun yang paling magnetis dari semua mineral alami di bumi dan banyak digunakan sebagai material superparamagnetik untuk jenis aplikasi biologis adalah magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) (Akbarzadeh et al., 2012).

##### 2.4.1 Magnetisasi superparamagnetik

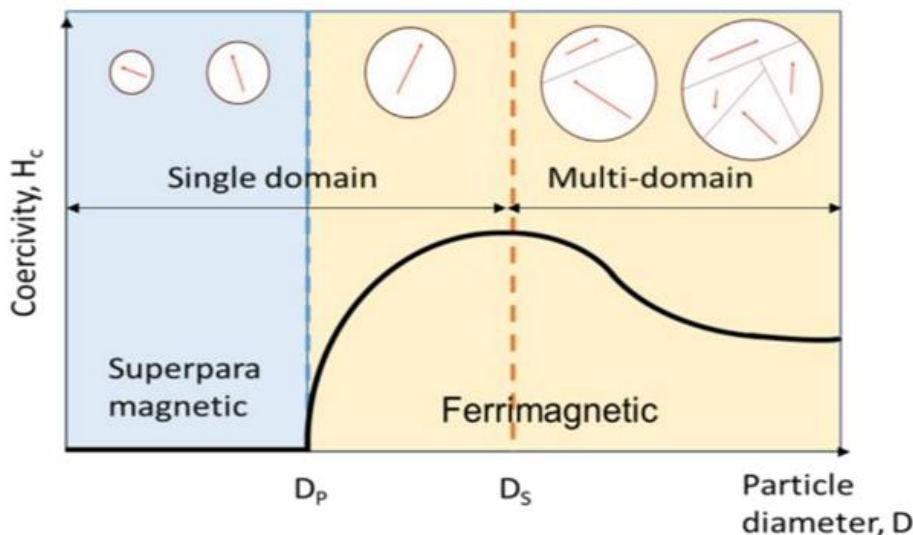
Material magnetik dikategorikan menjadi 2 jenis, yaitu magnet lunak (*soft magnetic*) dan magnet keras (*hard magnetic*). Ciri-ciri dari magnet lunak biasanya tidak bersifat permanen (mudah dimagnetisasi), sedangkan untuk magnet keras biasanya cenderung memiliki sifat magnet yang permanen atau tidak mudah dimagnetisasi. Medan magnet akan timbul di sekitar kumparan apabila suatu kumparan tersebut dialiri dengan arus listrik. Ketika arus listrik yang diberikan pada kumparan ditingkatkan maka medan magnet akan meningkat hingga mencapai titik konstan. Dari hal tersebut menunjukkan bahwasannya material feromagnetik telah mencapai titik jenuh. Material feromagnetik cenderung akan mempertahankan sifat kemagnetannya dan fluks magnet tidak hilang sepenuhnya apabila arus yang dialirkan diputus. Jumlah fluks

magnetik yang tersisa biasa disebut dengan *magnetism residual*, sedangkan kemampuan material untuk mempertahankan sifat kemagnetannya umumnya disebut dengan *retentivity*.



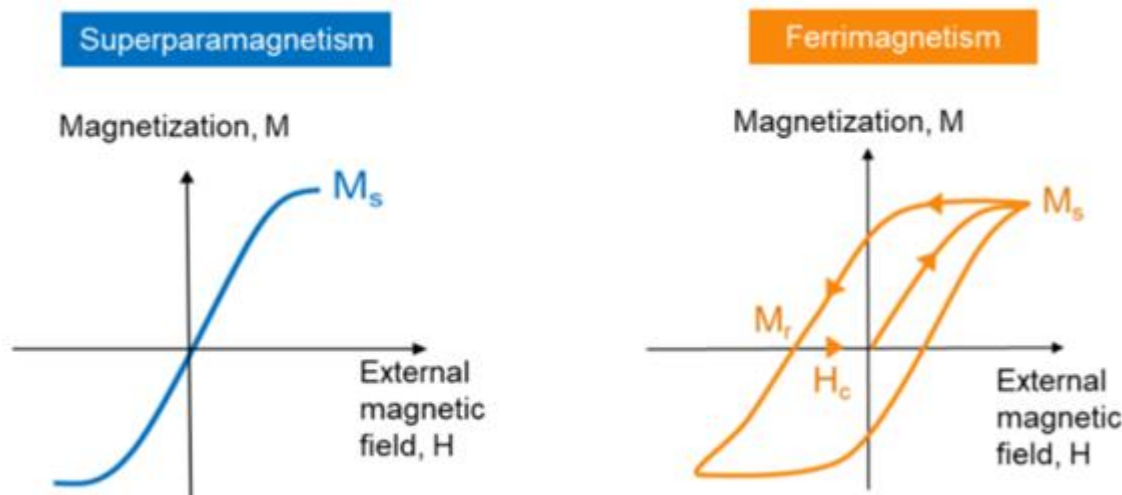
**Gambar 2.2** Kurva histeresis (Nee Koo et al., 2019)

Momen magnet atomik di dalam suatu material akan secara selaras berorientasi menuju satu arah, hal tersebut yang menyebabkan suatu material memiliki sifat magnetik, dalam kasus ini feromagnetik. Semakin kecil ukuran suatu material, semakin sedikit jumlah domain magnetik yang dimilikinya, semakin besar nilai *coercivity*-nya. *Coercivity* akan mencapai maksimum ketika material tersebut sangatlah kecil sehingga hanya memiliki *single domain*. Namun ketika ukuran material diperkecil lagi (hingga skala nano), *coercivity*-nya akan turun secara drastis menjadi nol. Pada kondisi inilah suatu material dikatakan memiliki sifat superparamagnet (Akbarzadeh et al., 2012).



**Gambar 2.3** *Single domain* (Nee Koo et al., 2019)

Partikel superparamagnetik berbeda dengan material ferimagnetik, dimana pada partikel superparamagnetik tidak memiliki *coercivity* dan kurva *hysteresis loop* yang disebabkan adanya *single domain*, sehingga membuat partikel tersebut hanya dapat dimagnetisasi apabila diberikan medan magnet dari luar (Laurent et al., n.d.). Partikel superparamagnetik dicirikan dengan respon kemagnetan nanopartikel  $Fe_3O_4$  yang sangat tinggi terhadap medan magnetik eksternal (dari luar). Secara visual, nilai *coercivity* dan magnetisasi remanensi dapat dilihat pada kurva histeresis  $Fe_3O_4$  adalah nol pada **Gambar 2.4**



**Gambar 2.4** Kurva histersis partikel superparamagnetik dan ferimagnetik nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Nee Koo et al., 2019)

## 2.5 Fungsionalisasi Permukaan

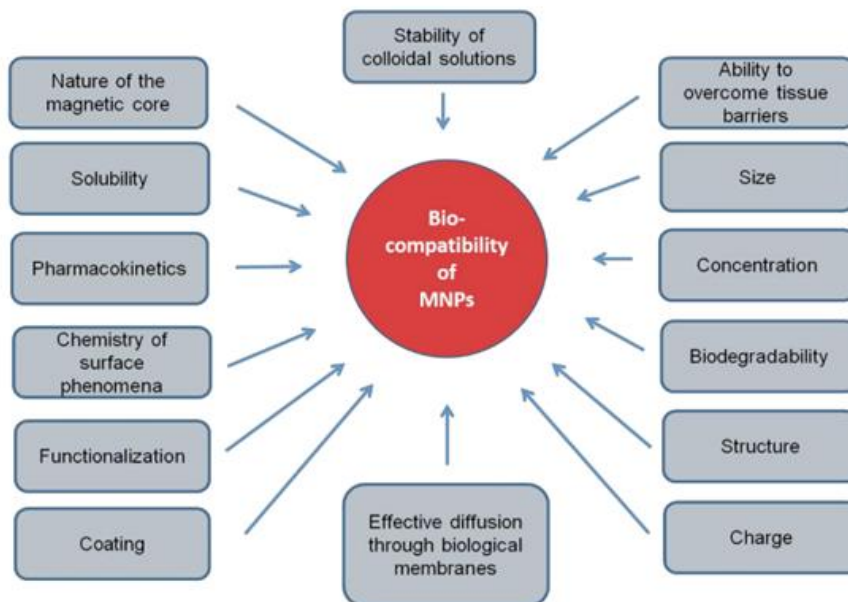
Dalam upaya untuk meningkatkan performa dari nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  maka diperlukan proses fungsionalisasi. Proses fungsionalisasi menjadi penting hal ini dikarenakan *Magnetic iron oxides nanoparticles* ketika tidak diberi perlakuan pelapisan permukaan, cenderung akan menggumpal yang diakibatkan dari gaya van der Waals, energi permukaan yang tinggi dan gaya magnet yang menarik yang ada di antara partikel (Natarajan et al., 2019). Pada umumnya, *ferrofluid* material ketika diaplikasikan dalam aplikasi biomedis harus memenuhi dua parameter penting. Parameter pertama, yakni nanopartikel memiliki stabilitas magnetik yang baik dalam larutan, dan tingkat aglomerasi rendah. Selanjutnya, material harus memiliki biokompabilitas partikel yang baik. Oleh karena itu, untuk mencapai tujuan diperlukan penggunaan *coating agent* pada permukaan nanopartikel magnetik (Ghazanfari et al., 2016). Modifikasi pada permukaan material magnetik menjadi sangat penting dalam aplikasi kimia dan biologi. Dengan modifikasi permukaan material dapat menaikkan sifat hidrofilik dalam nanopartikel magnetik yang menyiratkan biokompabilitas yang baik (Sun & Zeng, 2002).

### 2.5.1 Biokompabilitas

Biokompabilitas menjadi sangat penting ketika diterapkan untuk aplikasi biomedis. Biokompabilitas bergantung pada banyak faktor, seperti sifat kimia, agen pelapis, biodegradabilitas, kompatibilitas surfaktan, pada nanopartikel magnetik terhadap lingkungan, kelarutan partikel, mekanisme pengantaran obat, stabilitas larutan koloid nanopartikel, dan kemampuan untuk berintegrasi ke dalam tubuh pasien tanpa menyebabkan manifestasi klinis yang merugikan dalam tubuh. Dengan tidak adanya biokompabilitas, nanopartikel mengganggu metabolisme sel dan jaringan, menyebabkan efek toksik. Oleh sebab itu, biokompabilitas magnetit nanopartikel harus dipertimbangkan sebagai persyaratan utama untuk penggunaannya dalam aplikasi biomedis. (Zamay et al., 2020).

Terdapat beberapa material magnetik yang ada di alam, di antaranya seperti Co, Ni, dan Fe yang memiliki sifat kemagnetan yang baik namun juga memiliki sifat toksisitas yang tinggi. Ion  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  pada material magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) adalah salah satu material magnetik yang dapat dikelani oleh tubuh karena terdapat hemoglobin dan dapat bersifat non-toksik dalam jumlah tertentu. Nanopartikel berbasis magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) merupakan partikel yang memiliki biokompabilitas paling baik, hal tersebut dikarenakan besi mudah terdegradasi di dalam tubuh. Sebagai nanopartikel yang akan diaplikasikan dalam bidang biomedis, nanopartikel magnetit

harus memiliki ukuran morfologi yang terkontrol. Ukuran dari partikel magnetit berhubungan dengan bioavailabilitas pada sirkulasi darah dalam tubuh. Partikel magnetit yang memiliki ukuran kurang dari 5 nm akan dikeluarkan oleh ginjal, partikel yang berukuran sedang 30-150 nm akan terakumulasi di sumsum tulang, jantung, ginjal, sedangkan partikel besar (150-300 nm) akan menumpuk di hati dan limpa. Selain itu, distribusi dari ukuran partikel perlu diperhatikan, partikel dengan distribusi ukuran yang lebar dan bentuk yang tidak homogen akan dapat menyebabkan efek farmakologis yang heterogen. Salah satu faktor terpenting untuk meningkatkan biokompatibilitas nanopartikel magnetik adalah fungsionalisasinya permukaan, karena dengan adanya surfaktan dapat mencegah opsonisasi (pelapisan antigen oleh antibodi) partikel magnetik, melindungi ion Fe untuk oksidasi, mengurangi imunotoksitas, menyebabkan akumulasi nanopartikel magnetik hanya di organ yang diperlukan, sehingga memberikan pengikatan partikel magnetit yang ditargetkan hanya pada target molekuler, dan mengurangi risiko thrombosis. (Zamay et al., 2020).



**Gambar 2.5** Biokompabilitas magnetik nanopartikel (Zamay et al., 2020)

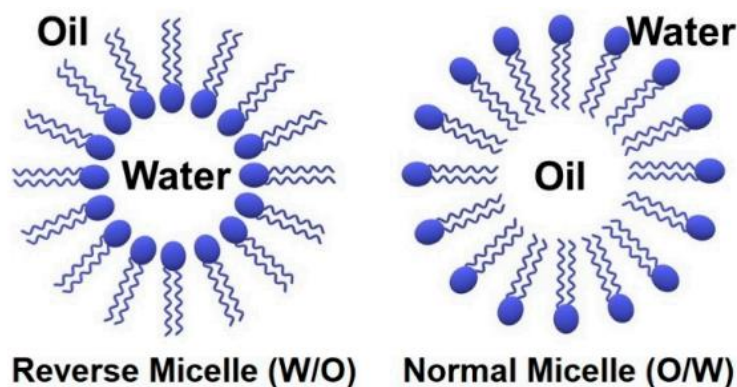
### 2.5.2 Surfaktan

*Surfactant (surface active agent)* merupakan zat yang apabila ada pada konsentrasi rendah dalam suatu sistem, memiliki sifat adsorpsi ke permukaan sistem (Rosen, n.d.). Surfaktan adalah molekul amfifilik yang memiliki kepala polar atau hidrofilik dan ekor hidrofobik. Surfaktan berfungsi untuk mengurangi tegangan permukaan air dengan mengadsorpsi antarmuka *liquid-gas*, serta mengurangi tegangan antarmuka minyak dan air dengan mengadsorpsi antarmuka *liquid-liquid* (Assadi, 2012). Berbagai jenis material *organic coating* telah banyak digunakan sebagai pelapis permukaan partikel magnetik karena sifat uniknya yaitu, biokompabilitas yang baik, pencegahan aglomerasi partikel dengan modifikasi menjadi keadaan hidrofilik, dan kemampuan fungsionalisasi partikel dengan menggunakan gugus fungsi seperti hidroksil, amino (Ghazanfari et al., 2016).

Surfaktan membentuk lapisan di sekitar nanopartikel magnetik, yang mana memungkinkan nanopartikel untuk tetap tersuspensi dalam cairan dengan baik. Hal tersebut dicapai melalui pembentukan ikatan dengan gugus fungsi tertentu, sehingga dapat mencegah aglomerasi. Surfaktan merupakan komponen integral yang mengarah pada stabilitas suspensi koloid dalam *ferrofluid*, hal tersebut menjadi penting karena stabilitas suspensi dapat



menentukan ketahanan dari *ferrofluid*. Selain itu, pada aplikasi tertentu, penambahan surfaktan dapat menentukan biokompatibilitas nanopartikel magnetik dan bertindak sebagai *capping agent* dari nanopartikel. Berdasarkan sifatnya, surfaktan terbagi menjadi dua, yakni surfaktan yang larut dalam air (*water soluble surfactant*) dan surfaktan yang terlarut dalam minyak (*oil soluble surfactant*).



**Gambar 2.6** Skema struktur surfaktan (Shiri et al., 2019)

Dalam mikroemulsi surfaktan terlarut dalam air (O/W) gugus kepala dari surfaktan merupakan hidrofilik yang diorientasikan keluar dari misel (agar dapat bersentuhan dengan air yang memiliki afinitas molekul) dan ekor surfaktan memiliki gugus fungsi hidrofobik yang berasosiasi dalam inti, sehingga dapat dikatakan (*normal micelle*). Sedangkan untuk surfaktan yang terlarut dalam minyak (W/O) memiliki kepala dengan gugus hidrofilik berada dalam inti dan ekor gugus hidrofobik pada bagian luar, sehingga surfaktan memiliki sifat hidrofobik.

**Tabel 2.4** Jenis surfaktan berdasar zat terlarut (Zamay et al., 2020)

Parameter	Surfaktan terlarut dalam air ( <i>water soluble surfactant</i> )	Surfaktan terlarut dalam minyak ( <i>oil soluble surfactant</i> )
Zat pelarut	Air	Minyak
Hidrofobitas	Hidrofilik	Hidrofobik
Penyusun	Asam lemak	Asam amino, asam sitrat, <i>polyethylene glycol</i>
Kelebihan	Biokompabilitas baik, dispersi partikel yang baik	Biokompabilitas baik, peningkatan ukuran yang rendah
Contoh	<i>Oleic acid, stearic acid, lauric acid,</i> dan <i>alkyl phosphonates</i>	Asam glutamat, <i>polyethylene glycol</i> , dan <i>citric acid</i>

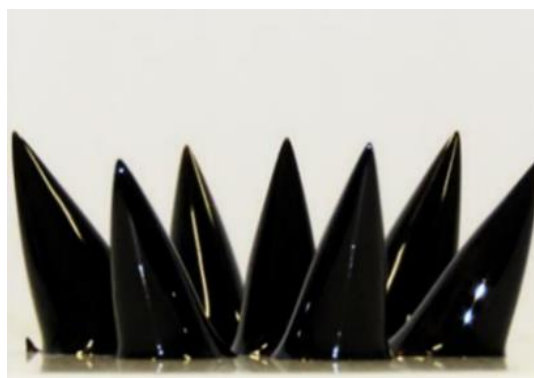
Fungsionalisasi permukaan menggunakan surfaktan polimer telah menghasilkan sifat fisik dan sifat kimia yang bagus. Penting untuk disebutkan bahwa sifat *dielectric* dari surfaktan harus sesuai dengan sifat dari cairan pembawa. Surfaktan yang sering digunakan untuk media berair, yakni *asam oleat*, asam glutamat, *chitosan*, silika, *polyethylene glycol*, *polyvinyl alcohol* (PVA), dan *acrylic acid*. Surfaktan yang paling umum digunakan yakni *asam oleat*, memiliki ekor hidrofobik yang memungkinkan suspensi dalam cairan pembawa seperti minyak tanah. Apabila suspensi dalam cairan bersifat polar dapat digunakan surfaktan yang mengandung ekor hidrofilik seperti asam glutamat dan *polyethylene glycol*.

**Tabel 2.5** Klasifikasi surfaktan

Surfaktan	Kelebihan	Aplikasi
Kitosan	Biokompatibel dan hidrofilik	Agen pengantar obat dan <i>Magnetic resonance imaging</i>
Dextran	Meningkatkan sirkulasi darah, menstabilkan suspensi koloid	<i>Magnetic resonance imaging</i> dan agen dianogstik molekular
Gelatin	<i>Gelling agent</i> , biokompatibel pengemulsi	<i>Magnetic resonance imaging</i>
<i>Polyethylene Glycol</i>	Biokompatibel, efisiensi internal yang baik	<i>Hyperthemria therapy</i>
<i>Polyvinyl Alcohol</i>	Koagulasi pertikel yang baik	Agen pengantar obat

## 2.6 *Ferro fluid*

Fluida magnetik adalah suspensi partikel halus material ferromagnetik yang terlarut dalam cairan pembawa (*liquid carrier*). Fluida dengan sifat magnetik terdiri dari dua jenis fluida, yaitu *magnetorheological fluid* (MR fluid) dan *ferro fluid*. Dari kedua jenis fluida tersebut, terdiri dari nanopartikel magnetik, surfakatan untuk mencegah aglomerasi, dan cairan pembawa. Sintesis *ferro fluid* dimulai dengan produksi nanopartikel oksida besi. Ukuran partikel dan sifat magnetik dari nanopartikel oksida besi, menentukan kualitas dari *ferro fluid* seperti mangetisasi dan stabilitas dari *ferro fluid* tersebut (Khoramian et al., 2019). Ferrofluid memiliki partikel magnetik dengan dimensi sekitar 10 nm dan tersebar dalam cairan pembawa (Reeves & Weaver, 2014). Nanopartikel magnetik yang paling umum digunakan dalam ferofluida adalah magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), karena proses oksidasinya tidak menyebabkan penurunan sifat magnetik, tidak seperti reduksi magnetisasi ketika Fe atau Co teroksidasi. Nanopartikel magnetik dalam bentuk cair (*liquid*) dapat dikatakan sebagai *ferro fluid* apabila material memiliki sifat keseragaman, nilai saturasi magnet yang tinggi, terdispersi dengan baik, stabilitas jangka panjang dibawah tempertaur servis, tidak membentuk endapan di bawah gaya gravitasi, memiliki fluiditas yang baik, dan bersifat superparamnetik. (Hao et al., 2020a)

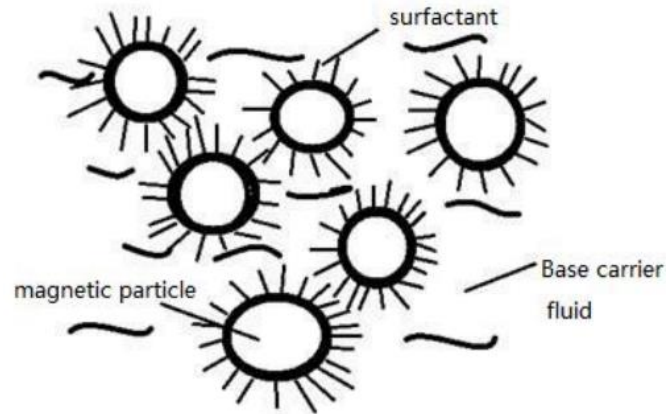


**Gambar 2.7** *ferrofluid* (Oehlsen et al., 2022)

### 2.6.1 Klasifikasi *Ferrofluid*

Nanopartikel magnetik dapat terdispersi secara merata di dalam cairan pembawa (*liquid carrier*) dan dapat bertahan dalam waktu yang lama di bawah aksi surfakatan. Surfaktan yang ideal harus memiliki efek adsorpsi ketika diaplikasikan di permukaan nanopartikel. Surfaktan harus memiliki fungsi, dimana surfaktan harus dapat beradaptasi dengan cairan pembawanya pada saat akan diaplikasikan menjadi *ferrofluid*. *Ferrofluid* dibagi berdasarkan jenis cairan

pembawa (*liquid carrier*) yaitu *water-based* (bersifat polar) dan *oil-based* (bersifat nonpolar). Cairan pembawa merupakan komponen tambahan dalam ferrofluida selain nanopartikel magnetik dan surfaktan. Cairan pembawa adalah cairan non-magnetik di mana nanopartikel tersebar. Cairan ini mampu menyesuaikan sifat-sifat ferrofluida, seperti viskositas, tegangan permukaan, tegangan uap dan stabilitas pada temperatur tinggi atau rendah. (Hao et al., 2020a).



**Gambar 2.8** Komposisi *ferrofluid* (Hao et al., 2020b)

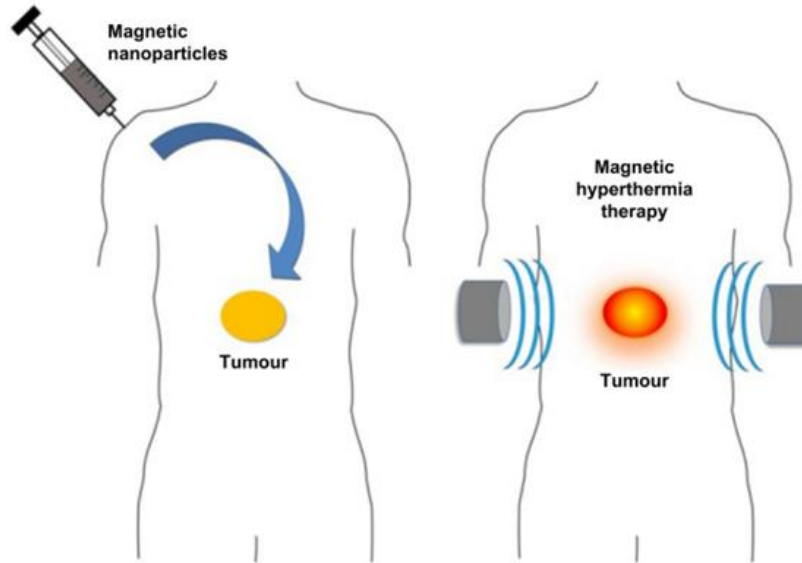
Cairan pembawa adalah komponen ketiga dari *ferrofluid*, setelah nano partikel magnetik dan surfaktan. Cairan pembawa merupakan cairan nonmagnetik dimana nanopartikel terdispersi, dan cairan ini mampu menyesuaikan sifat-sifat *ferrofluid* seperti viskositas, tegangan permukaan, dan stabilitas pada temperatur tinggi maupun rendah (Sajid et al., 2021). Cairan pembawa memiliki berbagai variasi dalam sifat seperti viskositas, titik didih, dan titik beku. Faktor-faktor ini akan membantu cairan pembawa seperti apa yang sesuai untuk aplikasi yang akan digunakan. *Liquid carrier* yang paling umum digunakan adalah air dan kerosin. Air adalah cairan pembawa yang umum digunakan karena sifatnya yang tidak beracun. Pada saat diaplikasikan, cairan pembawa tidak boleh reaktif dengan material lainnya (Khoramian et al., 2019).

## 2.7 Terapi Hipertermia

Saat ini pengobatan untuk penyakit kanker dilakukan dengan metode kemoterapi, radioterapi, dan *tumor extirpation*. Namun, dengan menggunakan pengobatan tersebut memiliki efek samping yang buruk bagi pasien penderita kanker (Latorre-Estevés & Rinaldi, 2014). *Magnetic fluid hyperthermia* merupakan salah satu teknik non-invasif untuk terapi kanker dan memiliki beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan terapi hipertermia konvensional (Kumar & Mohammad, 2011). Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) merupakan material nanopartikel magnetik yang paling umum digunakan dalam penelitian *magnetic hyperthermia*, hal ini dikarenakan magnetit merupakan material yang memiliki toksisitas yang rendah dan juga proses sintesis yang cukup mudah (Shaterabadi et al., 2017).

*Magnetic hyperthermia* merupakan metode pengobatan kanker dengan menggunakan nanopartikel magnetit. Berdasarkan lokasi penyakit, *hyperthermia therapy* dibagi ke dalam tiga jenis berbeda seperti: hipertermia lokal, hipertermia regional, dan hipertermia seluruh tubuh. Hipertermia lokal melibatkan pemanasan pada area kecil seperti tumor, hipertermia regional melibatkan pemanasan area jaringan yang luas seperti organ, sedangkan hipertermia seluruh tubuh melibatkan pemanasan tubuh untuk pengobatan kanker metastatik. *Magnetic fluid hyperthermia* umumnya diterapkan pada hipertermia lokal dengan menggunakan nanopartikel magnetik sebagai mediator panas (Kumar & Mohammad, 2011). Dalam prosesnya, *Magnetic fluid hyperthermia* disuntikkan ke dalam jaringan kanker yang kemudian dipanaskan dengan

bantuan medan magnet eksternal. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh (Latorre-Esteves & Rinaldi, 2014) sejak 50 tahun yang lalu. Berdasarkan National Cancer Institute, pengobatan hipertermia dapat membunuh sel kanker dengan menaikkan temperatur sekitar 41-45°C.



**Gambar 2.9** Mekanisme kerja terapi hipertermia (Lemine, 2018)

Kekuatan pemanasan *magnetic nanoparticle* diatur oleh energi magnetik disipasi, dan karena itu, tergantung pada ukuran magnetic nanoparticle. Hipertermia tergantung ukuran dari nanopartikel oksida besi yang sangat kristalin dan monodispersi menunjukkan bahwa laju pemanasan dengan SLP tertinggi 447 W/g dicapai untuk partikel 14 nm ketika partikel dalam kisaran ukuran 5–15 nm disaring dengan amplitudo medan 24,5 kA/m dan frekuensi 400 kHz. Efisiensi pemanasan SPIONs dinyatakan dalam bentuk *specific absorption rate* (SAR), yang merupakan faktor penting dalam menentukan keberhasilan aplikasi terapi hipertemia

SAR merupakan mekanisme kehilangan kerentanan melalui relaksasi Néel dan relaksasi Brownian pada medan magnet AC. Jika kedua proses relaksasi tersebut berlangsung secara bersamaan, maka disipasi daya dihitung dengan mempertimbangkan kontribusi relatif dari waktu relaksasi Néel dan Brownian, yang masing-masing dilambangkan dengan  $\tau_N$  dan  $\tau_B$ . Nilai SAR dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut: (a) ketebalan lapisan permukaan, karena fakta bahwa lapisan yang tebal dapat menghalangi gerakan partikel Brown, (b) sifat hidrofilik yang berbeda dari berbagai suraktan dan (c) magnetisasi berbeda yang dimiliki oleh nanopartikel karena molekul inti dan molekul surfaktan (Rajan et al., 2020). Pada dasarnya SAR dapat dihitung dengan mengukur efisiensi material merubah energi magnet menuju panas, SAR dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$SAR = \frac{\text{penyerapan energi}}{\text{massa material}} \quad (2.1)$$

$$SAR = C_s \times \frac{\Delta T}{\Delta t} \times \frac{M_{\text{solution}}}{M_{\text{nanopartikel}}} \quad (2.2)$$

Dimana,  $C_s$  merupakan kapasitas panas spesifik dari larutan ( $C_{\text{air}} = 4.187 \text{ J/g}^\circ\text{C}$ ;  $C_{\text{kerosin}} = 2.01 \text{ J/g}^\circ\text{C}$ ),  $M_{\text{solution}}$  dan  $M_{\text{nanopartikel}}$  massa dari pelarut dan juga massa nanopartikel yang digunakan,  $\frac{\Delta T}{\Delta t}$  merupakan perbandingan temperatur dengan waktu. Banyak faktor telah dilaporkan dalam literatur yang mempengaruhi keakuratan nilai SAR, seperti gradien medan



magnet, volume sampel yang diuji, dan metodologi pengukuran. Pemanasan yang cepat menyebabkan kemiringan temperatur terhadap waktu menjadi lebih tinggi, hal tersebut dikarenakan panas yang dibuang tinggi sehingga SAR menunjukkan ketergantungan tinggi pada sensor temperatur.

**Tabel 2.6** Standar *SPIONs* untuk aplikasi *hyperthermia therapy*

Parameter	Standar
Ukuran partikel (nm)	<20 nm
Struktur kristal	Kubik
Sifat magnet	Superparamagnet
Nilai magnetisasi (emu/g)	66
Temperatur (°C)	42 – 45
Nilai SAR (W/g)	150-400
Waktu respon material terhadap listrik (menit)	20-30

Meskipun hasil positif telah dilaporkan dalam pengujian *in vitro* dan *in vivo* menggunakan *magnetic fluid* sebagai alternatif pengobatan kanker pada bebrbagai model hewan, *magnetic fluid* masih belum diterapkan dalam pengobatan di tubuh manusia secara langsung. Hal tersebut dikarenakan keterbatasan dalam teknik ini, di mana masalah yang dihadapi dalam menargetkan tumor secara selektif dan dalam mendistribusikan panas secara homogen masih belum maksimal. Samapi saat ini, *superparamagnetic iron oxide nanoparticle* yang digunakan dalam *pra-clinical* terdiri dari oksida besi ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dan maghemite ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ). Hal tersebut dikarenakan nanopartikel magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) superparamagnetik yang dilapisi dengan lapisan biokompatibel cocok untuk aplikasi hyperthemia terapi karena partikel memiliki momen magnet yang tinggi, *specific loss power* (SLP) magnetik yang kuat serta *non-toxicity*. *Food and Drug Administration* menyetujui bahwa nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  superparamagnetik biokompatibel dengan tubuh manusia (Latorre & Rinaldi, 2009).

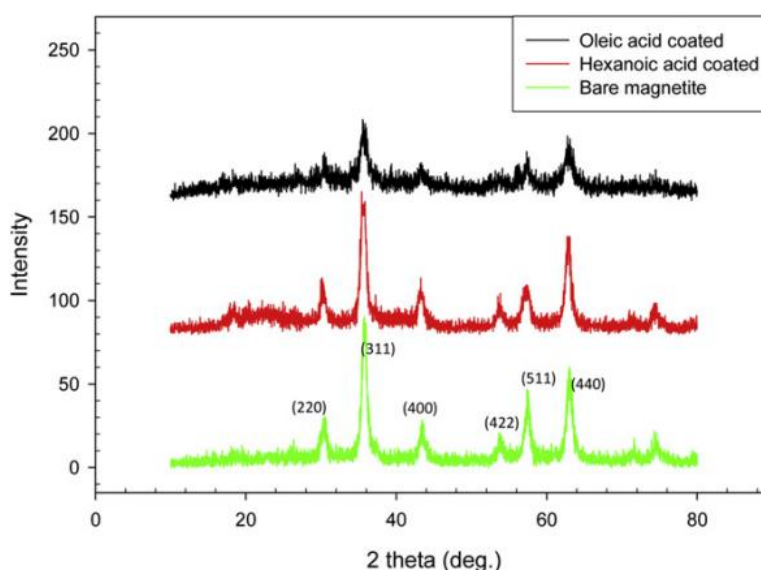
## 2.8 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya yang menjadi acuan penelitian ini dalam menentukan metode sintesi magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dirangkum dalam tabel dan diagram berikut:

**Tabel 2.7** Metode sintesis nanopartikel

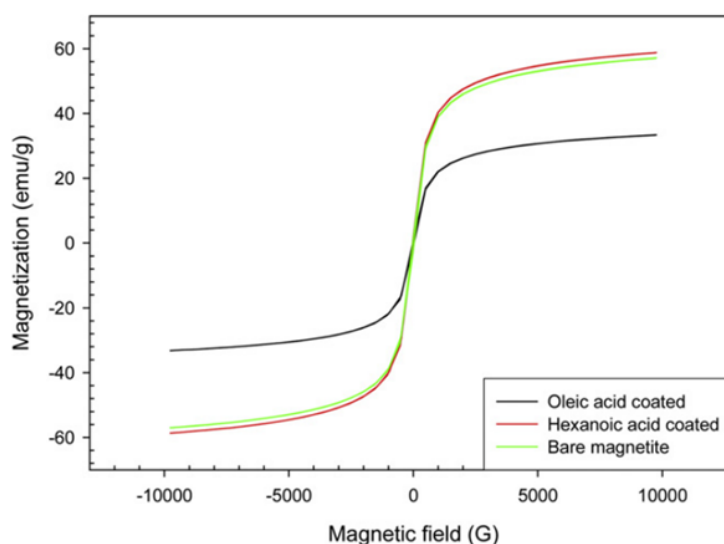
Aspek	(Petcharoen & Sirivat, 2012)	(Bukit et al., 2015)	(Rajan et al., 2020)	(Ene et al., 2020)
Tahun	2012	2015	2020	2020
Metode	Kopresipitasi	Kopresipitasi	Kopresipitasi	Kopresipitasi
Prekursor	FeCl <sub>2</sub> dan FeCl <sub>3</sub>	Pasir Besi dan HCl	FeCl <sub>2</sub> dan FeCl <sub>3</sub>	FeCl <sub>3</sub> dan FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O
Rasio Prekursor (gr)	1.5g : 3.0	-	0.73:0.27	4.2g : 3.6
<i>Precipitating Agent</i>	NH <sub>4</sub> OH	NH <sub>4</sub> OH	NH <sub>4</sub> OH	NaOH
Surfaktan	Asam oleat & <i>hexagonic acid</i>	<i>Polyethylene Glicol</i> (PEG-6000)	Asam glutamat, Polyethylen glycol, citric acid, CTAB, PVA	Asam glutamat dan <i>Tartaric Acid</i>
Konsentrasi surfaktan	0.2 – 1%	1:3; 1:4; dan 1:5	2:5	-
Proses Pengeringan	Divacuum pada 80°C selama 24 jam	Divacuum pada 70 °C selama 2 jam	Divacuum pada 70 °C selama 1 jam	Divacuum pada 60 °C selama 24 jam
Ukuran Partikel (nm)	10-40	14.9 – 33.11	8.1 – 9.5	3 -15
Magnetisasi (emu/g)	33.3– 58.7	27.9 – 51.7	63-66	42

Sintesis nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (magnetit) telah berhasil dilakukan oleh Petcharoen et al., Dengan menggunakan karakterisasi XRD, terdapat puncak difraksi pada (220), (311), (400), (422), (511), dan (440) yang merepresentasikan adanya kristal dari magnetit dengan struktur kristal kubik. Secara umum puncak difraksi pada (113), (210), (213), dan (210) masing-masing merupakan puncak karakteristik maghemite dan hematit. Namun, puncak-puncak difraksi tersebut tidak muncul dalam pola XRD yang berarti tidak ada senyawa besi lain dalam magnetit yang disintesis. Selanjutnya, Konstanta kisi sampel yang diperoleh adalah 0.839 nm dan dapat digunakan untuk mengkonfirmasi produk magnetit. Jika dibandingkan antara Fe<sub>4</sub>O<sub>4</sub> tanpa penambahan surfaktan asam oleat dengan partikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang dilapisi dengan surfaktan, pola XRD menunjukkan puncak difraksi yang sama, hal ini menunjukkan bahwa *coating agent* tidak secara signifikan mempengaruhi struktur kristal nanopartikel dari Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.



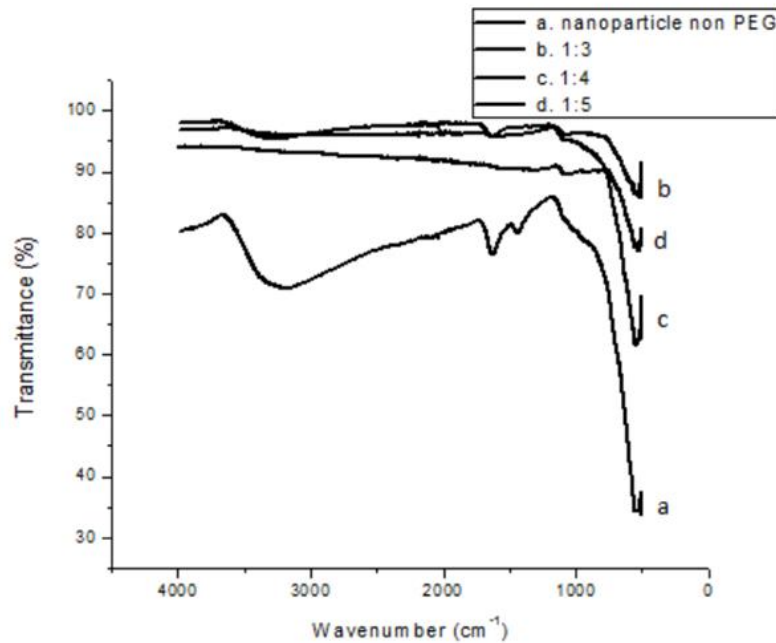
**Gambar 2.10** Hasil XRD (Petcharoen & Sirivat, 2012)

Nanopartikel magnetik berhasil disintesis dalam kisaran 10-40 nm menghasilkan sifat listrik dan magnet yang berbeda. Sintesis menghasilkan morfologi magnetik berbentuk bola, sedangkan proses pelapisan menghasilkan ukuran partikel yang lebih besar dibandingkan dengan yang tidak dilapisi. Selain itu, ukuran partikel dapat dikontrol dengan mengatur temperatur reaksi; ukuran magnetit yang dilapisi asam heksanoat dan magnetit tanpa penambahan surfaktan mengalami peningkatan, namun magnetit yang dilapisi asam oleat menurun seiring dengan meningkatnya temperatur (Petcharoen & Sirivat, 2012).



**Gambar 2.11** Hasil VSM (Petcharoen & Sirivat, 2012)

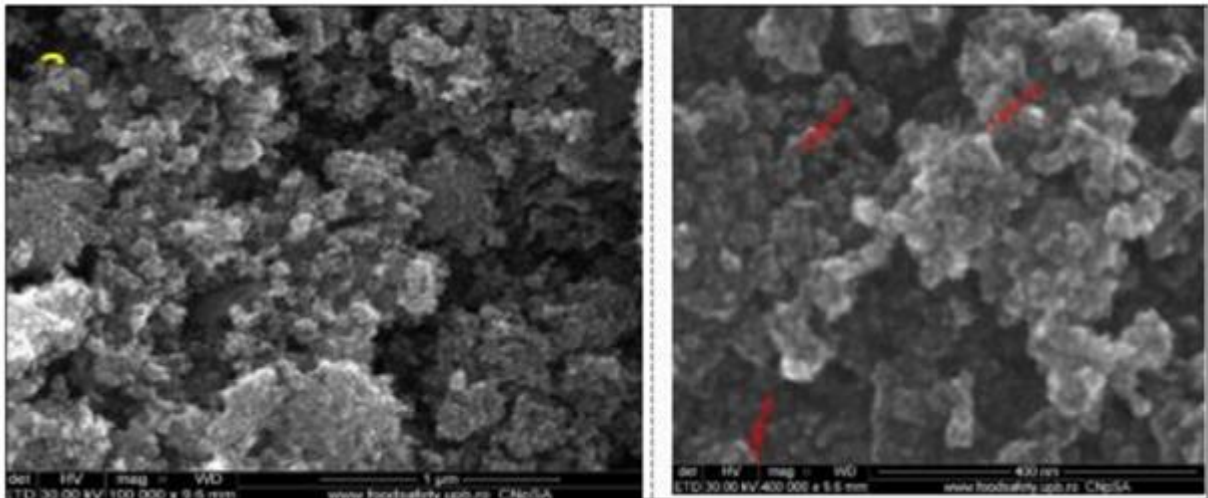
Bukit et al., melaporkan bahwa sintesis nanopartikel  $Fe_3O_4$  telah berhasil dilakukan dengan metode kopresipitasi dengan prekursor pasir besi  $Fe_3O_4$  dengan pelarut  $NH_4OH$  dan variasi penambahan surfaktan *polyethylene glycol-6000* dengan rasio 1:3; 1:4; dan 1:5. Titrasi dilakukan dengan mengaduk larutan dengan menggunakan magnetic stirrer pada temperatur  $70^\circ C$  selama 40 menit. Untuk memperoleh serbuk nanopartikel  $Fe_3O_4$ , endapan dikeringkan dalam oven pada temperatur  $70^\circ C$  selama 2 jam.



**Gambar 2.12** Hasil FTIR (Bukit et al., 2015)

Dari hasil pengujian FTIR didapat beberapa puncak yang ditunjukkan pada **Gambar 2.9** serta panjang gelombang masing-masing puncak. Variasi penambahan konsentrasi PEG-6000 mempengaruhi gugus fungsi yang dihasilkan. Pada keseluruhan sampel muncul gugus fungsi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yaitu Fe-O pada puncak sekitar  $513,21\text{-}540,38\text{ cm}^{-1}$ . Pada sampel b diperlihatkan puncak  $3114,13\text{ cm}^{-1}$  dimana menunjukkan gugus fungsi OH, puncak karboksil grup ditunjukkan pada panjang gelombang  $1613,78\text{ cm}^{-1}$ . Hasil dari pengujian menunjukkan pada puncak terlihat adanya pergeseran puncak yang menunjukkan peningkatan jumlah PEG. Panjang gelombang Fe-O dengan penambahan PEG-6000 memiliki nilai yang lebih kecil jika dibandingkan dengan panjang gelombang sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  tanpa penambahan PEG (Bukit et al., 2015).

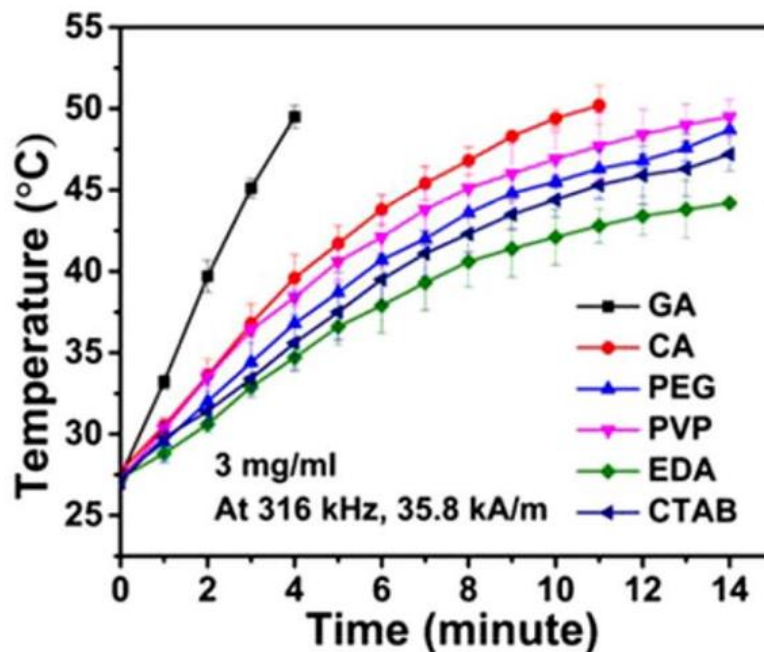
Ene et al., meneliti mengenai pembuatan nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dihasilkan dari prekursor  $\text{FeSO}_4$ . Metode kopresipitasi digunakan pada sintesis ini namun pelarut yang digunakan yakni, NaOH serta ditambahkan variasi surfaktan berupa asam glutamat dan *tartaric acid* untuk mencegah tingkat aglomerasi dalam larutan. Setelah dilakukan proses titrasi, sampel nanopartikel dikeringkan menggunakan oven pada temperatur  $60^\circ\text{C}$  selama 24 jam. Dari **Gambar 2.10** menunjukkan hasil *scanning electron microscopy* (SEM) dengan informasi spektrum sinar-X, menyoroti ukuran nanometric dari partikel magnetit yang diperoleh, dengan dimensi antara 3 dan 5 nm. Dari gambar tersebut terlihat partikel-partikel tersebut memiliki kecenderungan aglomerasi yang tinggi. Dikarenakan kurangnya resolusi *scanning electron microscopy* (SEM) maka diperlukan karakterisasi morfologi rinci yang menentukan ukuran dan bentuk partikel rata-rata, digunakan *Transmission Electron Microscopy*.



Gambar 2.13 Hasil pengujian SEM (Ene et al., 2020)

Dari hasil pengujian *Transmission Electron Microscopy* (TEM) didapatkan karakterisasi morfologi ukuran dan bentuk partikel. Ukuran partikel rata-rata yang didapat keseluruhan berukuran  $9,34 \pm 0,71$ , lebih tinggi jika dibandingkan dengan nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  murni, hal ini membuktikan bawasanya dengan penambahan surfaktan asam glutamat membuat nanopartikel oksida homogen. Dengan penambahan surfaktan tartaric acid didapatkan pengurangan aglomerasi seiring dengan peningkatan ukuran partikel dengan ukuran partikel  $7,88 \pm 0,57$  nm.

(Rajan et al., 2020) telah melakukan sintesis nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang dilapisi oleh variasi surfaktan asam glutamat (GA), citric acid (CA), polyethylene glycol (PEG), polyvinylpyrrolidone (PVP), cety-trimethyl ammonium bromide (CTAB) dengan menggunakan metode sintesis kopresipitasi. Perbandingan surfakatan yang digunakan, yakni 2:5. Dari penelitian tersebut didapatkan partikel yang memiliki sifat superparamagnetik dengan nilai magnetisasi antara 62-68 emu/g.



Gambar 2.14 Grafik temperatur terhadap waktu (Rajan et al., 2020)

---

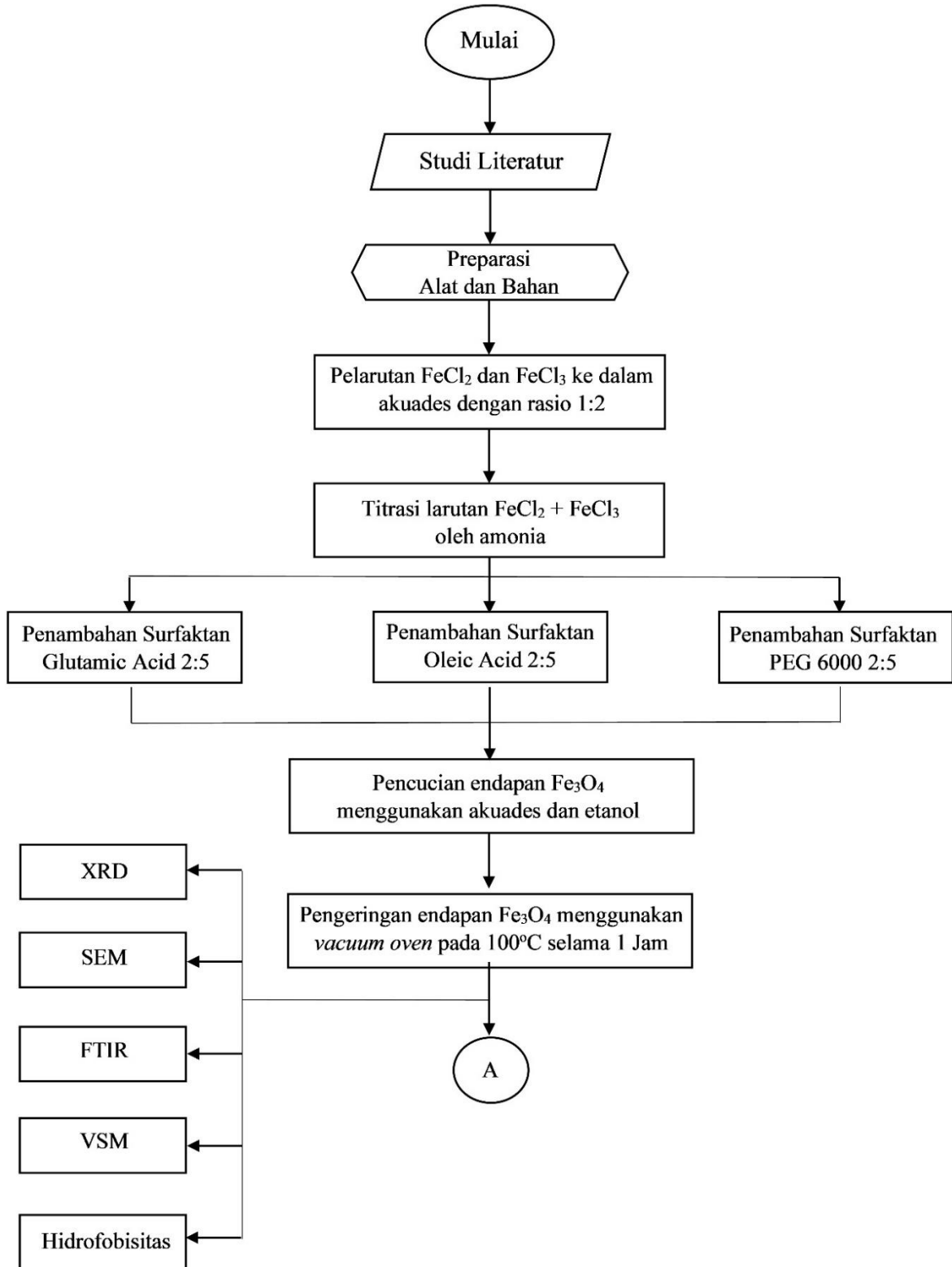
Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan, diperoleh grafik tempertatur terhadap waktu yang diakibatkan dari energi panas yang dikeluarkan dari pengaruh arus listrik yang diberikam. Dari grafik tersebut, maka dapat dilakukan perhitungan nilai SAR. Efisiensi pemanasan dari SPIONs yang dinyatakan dalam bentuk SAR. Nilai SAR pada variasi surfaktan antara 44-130 W/g, dengan nilai SAR tertinggi, adalah sampel SPIONs dengan penambahan surfaktan asam glutamat. Sebesar 130 W/g. Waktu relaksasi yang lebih pendek dan peningkatan anisotropi juga menyebabkan energi panas yang dikeluarkan maksimal dalam waktu yang singkat. Selain itu, pada penelitian ini menunjukkan fakta bahwa nilai SAR bergantung pada konsentrasi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.14**.

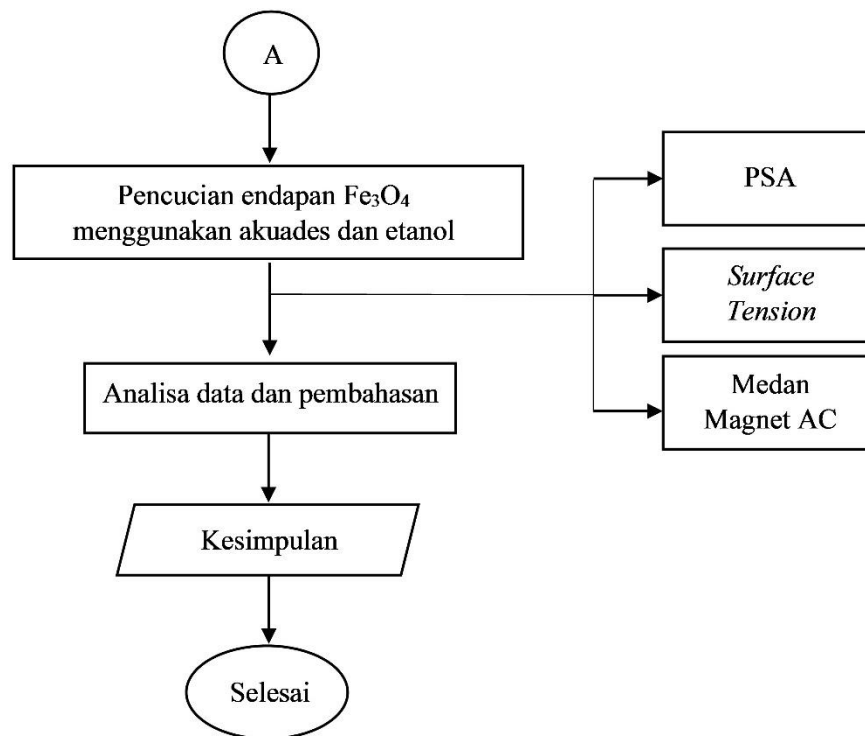
Beberapa jurnal acuan yang sebelumnya telah dilakukan masih terbatas pada identifikasi nanopartikel, dan tidak dilakukan karakterisasi dan identifikasi lebih lanjut dalam kaitannya sebagai aplikasi nanopartikel magnetik sebagai biomedik material. Sehingga perlu dilakukan kajian lebih lanjut untuk mengetahui apakah material yang dihasilkan dari beberapa penelitian sebelumnya memiliki perilaku sifat atau karakteristik sebagai *Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles* yang sesuai diaplikasikan sebagai *hyperthermia therapy*.

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian yang akan dijelaskan sebagai berikut:





**Gambar 3.1** Diagram Alir

### 3.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1.  $\text{FeCl}_3$
2. *Steel Wool*
3.  $\text{NH}_4\text{OH}$  25%
4. Ethanol 99%
5. Asam oleat
6. *Polyethylene Glycol-6000*
7. Asam glutamat
8.  $\text{HCl}$
9. Akuades
10. Kertas Saring
11. *Neodymium magnet*
12. Kerosin

### 3.3 Alat Penelitian

Adapun alat yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengaduk mekanik  
Alat ini digunakan sebagai sebagai pengaduk sampel larutan.
2. Gelas beaker  
Alat ini digunakan untuk tempat untuk aktivitas bahan-bahan kimia pada penelitian.
3. Cawan petri  
Cawan petri digunakan untuk menyimpan sampel pengujian dalam bentuk serbuk.



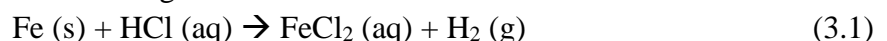
4. Spatula  
Spatula digunakan untuk memasukan serbuk ke dalam larutan.
5. Buret  
Buret digunakan untuk meneteskan sejumlah cairan kimia dalam penelitian ini.
6. Statif dan klem  
Statif dan klem digunakan untuk menjepit buret saat hendak melakukan titrasi.
7. Silinder pengukur  
Silinder pengukur digunakan untuk tempat menakar larutan kimia yang akan digunakan agar sesuai dengan kebutuhan penelitian.
8. pH meter  
pH meter digital digunakan untuk mengukur pH larutan selama proses titrasi.
9. Neraca Analitik  
Alat ini digunakan untuk mengukur massa pada benda padatan.
10. Vacuum oven  
*Vacuum Oven* pada penelitian ini digunakan sebagai alat pengering dari serbuk magnetit
11. Instrumen Karakterisasi Morfologi dan Struktur
  - a. Instrumen *X-Ray Diffractometry (XRD)*,
  - b. Instrumen *Scanning Electron Microscopy (SEM)*
  - c. Instrumen *Fourier Transform Infrared (FTIR)*
  - d. Instrumen *Particle Size Analyzer (PSA)*
  - e. Instrumen *Surface Tension*
  - f. Instrumen Hidrofobisitas
12. Instrumen Uji Sifat Magnetik
  - a. *VSM*
13. Instrumen Uji Disipasi Panas
  1. *AC Suspectometer* dan *thermocouple*

### 3.4 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, metode preparasi *SPION* yang digunakan adalah metode kopresipitasi yang terdiri dari dua tahap:

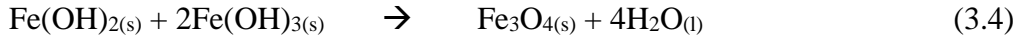
#### 3.4.1 Sintesis Nanopartikel dalm bentuk Serbuk

Dalam penelitian ini, sintesis *SPION* dilakukan dengan menggunakan metode kopresipitasi dengan bahan dasar prekursor  $\text{FeCl}_2$  dan  $\text{FeCl}_3$  dengan perbandingan 1:2.  $\text{FeCl}_2$  dibuat dengan mereaksikan 10 gr *steel wool* sebagai sumber dari Fe, kemudian direaksikan dengan 70 mL HCl dengan reaksi sebagai berikut:



Selanjutnya, larutan besi (III) klorida ( $\text{FeCl}_3$ ) dibuat dengan melarutkan 15 gr serbuk  $\text{FeCl}_3$  ke dalam 100 mL akuades. Prekursor  $\text{FeCl}_3$  dan  $\text{FeCl}_2$  dilarutkan ke dalam 100 mL akuades, kemudian dilakukan pengadukan (*stirring*) menggunakan *magnetic stirrer* pada temperatur ruang ( $25^\circ\text{C}$ ). Selama proses *stirring* dilakukan titrasi menggunakan ammonia ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) sebanyak 75 mL selama 30 menit hingga nilai pH mencapai 9-11 untuk membentuk nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Dengan penambahan ammonia kedalam larutan prekursor ( $\text{FeCl}_3$  dan

FeCl<sub>2</sub>), perlahan larutan akan berubah warna menjadi coklat dan membentuk *dark solid* (magnetit). Berikut merupakan reaksi yang terjadi:



Setelah amonia ditambahkan, kemudian larutan surfaktan disiapkan. Variasi surfaktan yang digunakan, yakni asam oleat, asam glutamat, dan *polyethylene Glycol* 6000. Larutan surfaktan dibuat dengan mencampurkan 2gr surfaktan, 5mL akuades, dan 1mL ammonia (untuk variasi penambahan surfaktan asam oleat), lalu aduk hingga mengental. Setelah larutan surfaktan siap, kemudian tambahkan ke dalam larutan FeCl<sub>2</sub> + FeCl<sub>3</sub> sambil terus diaduk lagi selama 20 menit.

Penyaringan serbuk magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) dari larutan yang tersisa menggunakan permanen magnet dan pencucian menggunakan akuades dan alkohol. Serbuk magnetit yang terkumpul kemudian dikeringkan menggunakan alat *vacuum oven* pada temperatur 100°C selama 60 menit.

### 3.4.2 Sintesis *Liquid Magnetit*

Bahan pelarut serbuk magnetit yang digunakan dalam penelitian ini adalah *kerosene* dan air. Jumlah cairan pembawa yang dibutuhkan yaitu sebanyak 85% dari total massa serbuk magnetit. Lalu larutkan serbuk magnetit dengan variasi surfaktan asam oleat dengan *kerosene* dan aduk hingga seluruh magnetite larut dengan rata, serta variasi surfaktan asam glutamat dan *polyethylen glycol* 6000 dengan air.

## 3.5 Pengujian

### 3.5.1 Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD)

XRD (*X-Ray Diffraction*) merupakan metode tanpa merusak atau *nondestructive* untuk mengkarakterisasi kristal mulai dari tekstur, fase, struktur dan parameter struktural (kristalinitas, regangan, ukuran butir, dan cacat kristal). XRD terdiri dari tiga elemen dasar yaitu tabung sinar-X, detektor sinar-X dan tempat sampel (*sample holder*). Sinar-X dihasilkan dari tabung sinar katoda dengan pemanasan filamen untuk menghasilkan elektron. Kemudian laju elektron meningkat dan dapat mencapai target dengan tegangan. Karakteristik spektrum sinar-X dapat dihasilkan ketika elektron memiliki energi yang cukup untuk melepaskan elektron di kulit terdalam target. Komponen umum pada spektrum ini meliputi K $\alpha$  dan K $\beta$ .(Bunaciu et al., 2015)



Gambar 3.2 Alat Uji XRD

Pengujian *X-ray diffractometry* atau *XRD* merupakan salah satu teknik karakterisasi material yang digunakan untuk menganalisis senyawa dan struktur kristal suatu material. Pengujian ini bertujuan untuk mendeteksi difraksi sinar-X dari suatu material. Prinsip kerja dari *XRD* adalah sinar-X secara terus menerus akan berubah sudut datangnya, sehingga tercipta sebuah spektrum intensitas difraksi dengan sudut antara sinar datang dan sinar difraksi. Data yang didapat dari pengujian yaitu pola intensitas difraksi yang terbentuk sebagai fungsi dari sudut difraksi ( $2\theta$ ). Pada pola difraksi akan terlihat beberapa puncak intensitas pada  $2\theta$  yang berbeda, pola ini memiliki karakteristik yang berbeda pada setiap material. Dengan membandingkan pola ini dengan standar data yang ada, maka dapat diidentifikasi jenis zat kristalin yang ada di dalam suatu material.

Periodisitas dari struktur atom mempengaruhi interferensi konstruktif yang terjadi. Sehingga grafik *XRD* dari zat kristal lebih mudah ditafsirkan daripada amorf. Terdapat korelasi antara difraksi dan periodisitas dimana periodisitas yang lebih singkat dapat diamati dengan sudut difraksi yang lebih besar. Intensitas puncak difraksi dapat menentukan nomor atom dan posisi atom pada *cel* tertentu. Sedangkan ukuran dan bentuk *unit cel* dapat diketahui dari posisi puncak difraksi. Pada persamaan *Scherrer* dapat diperkirakan ukuran dari partikel (Ali et al., 2022).

$$D = \frac{K \lambda}{B \cos \theta} \quad (3.4)$$

dimana,

D = ukuran partikel

K = Konstanta *Scherrer* (0.9)

$\lambda$  = Panjang gelombang

B = FWHM (radian)

$\theta$  = sudut difraksi (radian)

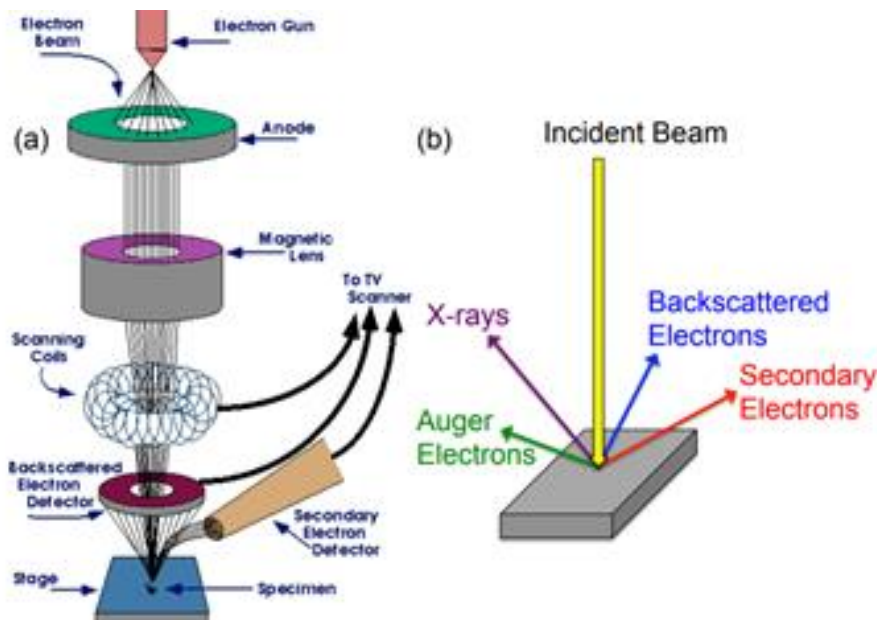
### 3.5.2 Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

*Scanning Electron Microscopy* (SEM) merupakan mikroskop yang prinsip kerjanya dengan memanfaatkan pancaran elektron berenergi tinggi untuk memeriksa objek dalam skala yang sangat kecil. SEM digunakan untuk menguji topografi dan morfologi dari semua sampel. Pengamatan ini memberikan informasi mengenai topografi (jenis permukaan objek), morfologi (bentuk dan ukuran partikel), komposisi (unsur dan senyawa berdasarkan jumlah relatif masing-masing) dengan menggunakan *Energy Dispersive X-Ray Analysis* (EDX). Komponen utama alat SEM ini pertama adalah tiga pasang lensa-lensa elektromagnetik yang masing-masing berfungsi untuk memfokuskan berkas elektron menjadi sebuah titik kecil, lalu oleh dua pasang *scan coil* discan-kan dengan frekuensi variabel pada permukaan sampel. Semakin kecil berkas difokuskan semakin besar resolusi lateral yang dicapai.



**Gambar 3.3** Alat dan Skema Pengujian SEM

Prinsip kerja SEM yaitu berkas elektron yang dihasilkan oleh *electron gun* menyapu permukaan sampel. Pada saat electron berinteraksi dengan sampel, maka akan dihasilkan *secondary electron* (SE). electron ini masuk ke dalam *detector* dan diubah menjadi sinyal listrik yang menghasilkan gambar pada layar monitor. Sinyal keluaran dari *detector* ini berpengaruh terhadap intensitas cahaya di dalam tabung monitor, karena jumlah cahaya yang dipancarkan oleh monitor sebanding dengan jumlah electron yang berinteraksi dengan sampel. Hasil yang ditampilkan dengan *secondary electron* ini adalah topografi permukaan sampel. Sedangkan untuk mengamati fasa-fasa, dilakukan dengan *backscattered electron* (BE). BE memberikan perbedaan kehitaman gambar berdasarkan nomor atom ( $Z$ ) dari unsur-unsur fasa yang ada pada sampel. Bahkan dengan nomor atom yang besar, akan tampak lebih terang dibandingkan bahan dengan nomor atom yang lebih kecil.



**Gambar 3.4** Skema Pengujian SEM

### 3.5.3 Pengujian *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

FTIR merupakan sebuah alat pengujian yang menggunakan penyerapan radiasi infra merah dan juga salah satu instrumen spektroskopi. Pada spektroskopi infra merah, radiasi inframerah dipancarkan mengenai sampel. Sebagian radiasi infra merah diserap oleh sampel

sebagian yang lain ditransmisikan. Hasil spektrum infra merah menggambarkan penyerapan molekul dan transmisi, menggambarkan ciri khas sampel. Setiap molekul memiliki penyerapan berbeda sesuai dengan pola vibrasi dan pola ikatan antar atomnya. Tidak ada dua molekul yang menghasilkan spektrum infra merah yang sama. Oleh karena itu spektroskopi infra merah sangat berguna untuk berbagai analisis. FTIR dapat memberikan informasi mengenai material yang belum diketahui (teridentifikasi), mengenai kualitas sampel, dan mengetahui jumlah komponen dalam suatu campuran. **Gambar 3.5** memperlihatkan instrumen uji FTIR. (Silviah & Widodo, n.d.)

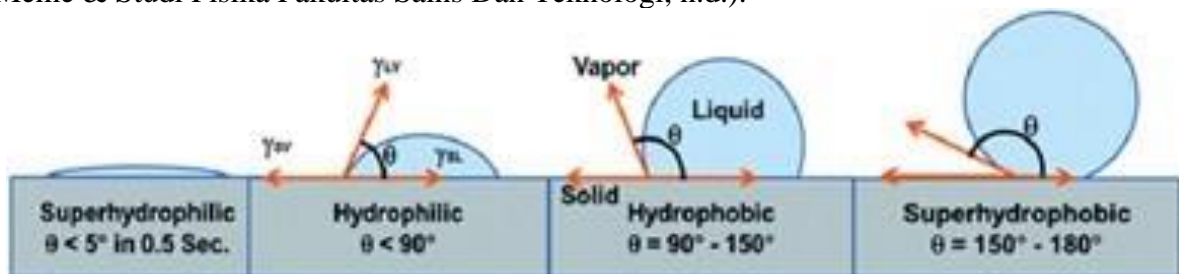
Mekanisme instrumen FTIR meliputi identifikasi zat seperti molekul maupun atom. Sinar yang berasal dari sinar inframerah dilewatkan melalui 2 berkas yaitu sampel dan pembanding. Setelah itu, sinar inframerah melewati *chopper*. Ketika melewati prisma, berkas akan bertemu dengan detector dan dikonversikan menjadi sinyal listrik yang akan terekam oleh recorder (Pambudi, Uji FTIR, n.d.).



**Gambar 3.5** Alat Pengujian FTIR

### 3.5.4 Pengujian Hidrofobisitas

Pengujian hidrofobik merupakan salah satu metode karakterisasi hidrofilisitas permukaan suatu material dengan cara melakukan pengukuran sudut kontak air. Metode hidrofobik dilakukan dengan cara menempatkan setetes air pada tempat yang berbeda dari permukaan nanopartikel, kemudian mengukur sudut kontak antara tetesan air dan permukaan partikel, kemudian dihitung nilai rata-ratanya. Sudut kontak besar ( $>90^\circ$ ) sesuai dengan hidrofobisitas tinggi, dan hidrofilisitas tinggi dengan sudut kontak kecil ( $<90^\circ$ ) (Diajukan Untuk Meme & Studi Fisika Fakultas Sains Dan Teknologi, n.d.).



**Gambar 3.6** Skema Uji Hidrofobisitas

### 3.5.5 Pengujian *Vibration Sample Magnetometer* (VSM)

*Vibrating sample magnetometer* (VSM) merupakan salah satu jenis alat karakterisasi yang dapat menentukan sifat magnetik dari suatu material. Alat pengujian ini bertujuan untuk



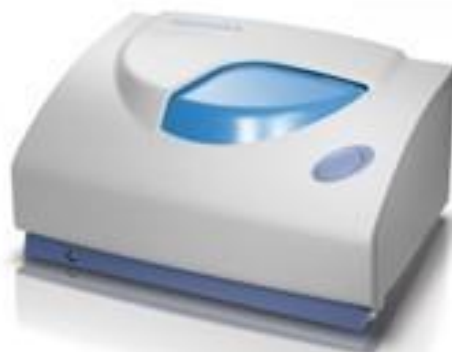
melihat sifat-sifat kemagnetan yang dihasilkan dari *magnetic nanoparticle*. Alat karakterisasi ini memberikan informasi dalam bentuk kurva histeresis dengan tiga besaran penting, yakni magnetisasi saturasi ( $M_s$ ), magnetisasi remanensi ( $M_r$ ), dan medan koersivitas ( $H_c$ ). Semakin besar nilai  $M_s$  maka semakin kuat sifat kemagnetannya. Dengan pengujian *Vibrating sample magnetometer* (VSM) dapat diperoleh informasi mengenai besaran-besaran sifat magnetik sebagai akibat dari perubahan medan magnet luar ( $H$ ) terhadap magnetisasi ( $M$ ) yang digambarkan dalam kurva histeresis.



**Gambar 3.7** Alat Pengujian VSM

### 3.5.6 Pengujian *Particle Size Analyzer* (PSA)

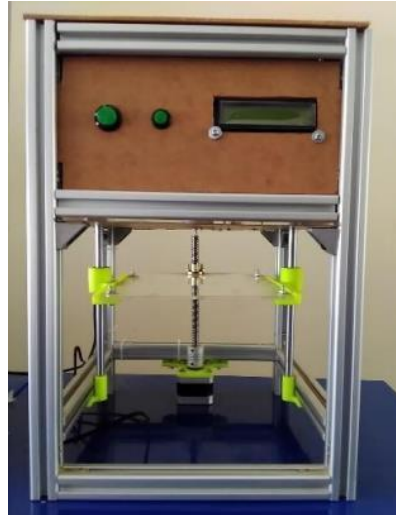
Pengujian *Particle Size Analyzer* atau PSA menggunakan metode *Dynamic Light Scattering* (DLS) yang memanfaatkan hamburan sinar inframerah. Hamburan sinar inframerah ditembakkan oleh alat ke sampel uji, sehingga sampel akan bereaksi menghasilkan gerak *Brown* (gerakan acak dari partikel yang sangat kecil di dalam cairan akibat dari benturan antar molekul yang ada di dalam zat cair). Gerak inilah yang kemudian dianalisis oleh alat, semakin kecil ukuran molekul maka gerakannya akan semakin cepat. Pengujian PSA juga menggunakan metode basah, dimana metode ini menggunakan media pendispersi untuk mendispersikan material uji. Metode ini digunakan pada PSA karena partikel yang didispersikan ke dalam media akan menghindari partikel untuk saling beraglomerasi (menggumpal). Dengan demikian, ukuran partikel yang terukur adalah ukuran dari individu partikel (*single particle*). Selain itu hasil pengukuran yang didapat juga dalam bentuk distribusi, sehingga hasil pengukuran dapat diasumsikan telah menggambarkan kondisi sampel secara keseluruhan (Mufid & Mochammad Zainuri, n.d.).



**Gambar 3.8** Alat Pengujian PSA

### 3.5.7 Pengujian *Surface Tension*

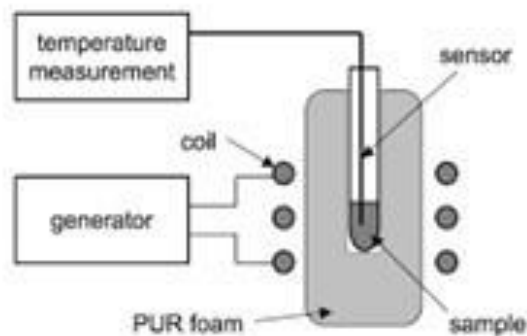
Tegangan permukaan atau *surface tension* adalah gaya tarik atau kontraktif yang diberikan dalam satuan N/m atau J/m<sup>2</sup>. Tegangan permukaan dapat dinyatakan sebagai pekerjaan yang dilakukan untuk membentuk area permukaan baru pada tekanan dan temperatur konstan. Metode yang digunakan pada pengujian ini, yaitu metode ring cincin. Metode ring cincin adalah metode untuk mengukur *surface tension* dengan cara menarik cincin keluar dari permukaan cairan dan mengukur gaya tariknya. Kelebihan metode ini adalah simpel penggunaannya karena hanya mengukur besar usaha cincin keluar dari permukaan cairan, dapat mengukur tegangan antarmuka cairan, dan bisa sangat cepat saat pengambilan data.



Gambar 3.9 Alat pengujian *surface tension*

### 3.5.8 Pengujian Medan Magnet AC

Disipasi panas oleh nanopartikel supermagnetik di bawah medan magnet AC yang diterapkan memiliki prinsip kerja berdasarkan teori relaksasi *Néel* (rotasi momen magnetik tanpa gerakan partikel) dan relaksasi *Brownian* (rotasi fisik). Pengujian pengaruh medan magnet luar AC dan frekuensi bertujuan untuk mengetahui adanya peningkatan temperatur yang terjadi dalam rentang waktu 660 detik. Hasil dari pengujian ini yaitu berupa grafik hubungan temperatur sebagai fungsi waktu (Tommy Hasan Abadi & Mufti, n.d.).



Gambar 3.10 Skema Pengujian Medan Magnet AC (Tommy Hasan Abadi & Mufti, n.d.)

Pada pengujian ini digunakan sampel nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dalam bentuk liquid, kemudian partikel nano Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> diletakkan dalam tabung reaksi kaca. Selanjutnya sampel diletakkan di tengah kumparan sebagai sumber medan magnet. Medan magnet yang

digunakan pada penelitian ini sebesar 3A, kemudian untuk mengukur kenaikan temperatur digunakan *thermocouple* ke dalam sampel/

Pada prinsip kerja dari *thermocouple* menggunakan efek *thermoelectric* (efek *Seebeck*) untuk mengukur perbedaan temperatur suatu material antara titik pengukuran dan persimpangan referensi dengan temperatur yang diketahui. Efek *Seebeck* menginduksi potensi dengan menggunakan dua ujung logam yang terbuat dari bahan yang berbeda lalu dilas bersama. Potensi yang telah diukur dapat diterjemahkan ke perbedaan temperatur atau persamaan polinomial (Hoffschmidt et al., 2012). *Thermocouple* memiliki rentang pengukuran yang luas dan waktu respon yang cepat serta tidak mempengaruhi media pengukuran. *Thermocouple* dibagi berdasarkan rentang pengukuran temperatur yang berbeda, seperti tipe T untuk temperatur yang lebih rendah (-185 hingga 300 °C) dan tipe S untuk temperatur yang lebih tinggi (hingga 1600 °C). Jenis *thermocouple* yang paling umum digunakan dalam aplikasi industri adalah tipe K, jenis ini mampu mengukur temperatur dari 0 hingga 1100 °C dalam operasi berkelanjutan. Keakuratan tergantung pada jenis *thermocouple* tetapi biasanya tidak melebihi 3 Kelvin

Setelah dilakukan pengujian dan mendapatkan grafik kenaikan temperatur terhadap waktu akibat adanya arus listrik yang diberikan, maka dilakukan pengukuran nilai SAR. Perhitungan nilai SAR dapat diukur dengan **Persamaan 2.2**. Dengan mengetahui nilai SAR, maka dapat diketahui material tersebut dapat digunakan atau diterapkan sebagai aplikasi terapi hipertermia.

### 3.6 Rancangan Penelitian

Adapun penelitian dan pengujian yang dilakukan terlihat pada **Tabel 3.1** dan **Tabel 3.2**

**Tabel 3.1** Jadwal Penelitian

Kegiatan	Februari				Maret				April				Mei				Juni				Juli			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi literatur	■	■	■	■																				
Asistensi kepada dosen pembimbing			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Penyusunan Laporan																								
Preparasi Alat dan Bahan				■	■	■	■	■																
Sintesis Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>									■	■	■	■	■	■	■	■								
Sintesis liquid magnetite									■	■	■	■	■	■	■	■								
Pengujian																	■	■	■	■	■	■	■	■
Analisa data dan pembahasan																					■	■	■	■

**Tabel 3.2** Tabel pengujian

Pengujian		Spesimen	
		Nanopartikel Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> Serbuk	Liquid Magnetit
Karakteristik Nanopartikel Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	XRD	✓	
	SEM	✓	
	FTIR	✓	
	Hidrofobisitas	✓	
Karakteristik Sifat Kemagnetan	VSM	✓	
Terhadap liquid magnetit	PSA		✓
	Surface Tension		✓
Aplikasi Terapi Hipertermia	Medan Magnet		✓

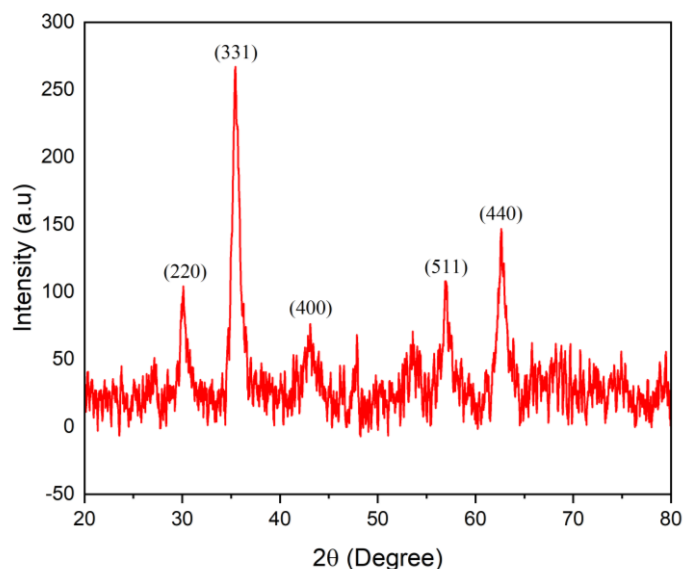


## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD)

Pada penelitian ini, produk yang dihasilkan adalah besi oksida ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Selanjutnya, produk kristal diuji karakterisasinya menggunakan pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) ini dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-RS ITS dengan menggunakan alat XRD *Phillip Analytical*. Instrumen pengujian XRD *PANalytical* di Laboratorium Karakterisasi Material ITS menggunakan difraktometer dengan Cu sebagai *anode material*. *X-ray energy* yang digunakan adalah Cu K- $\alpha$  dengan *wavelength* K-  $\alpha_1$  dan K-  $\alpha_2$  masing-masing sebesar 1.54060 Å serta energi sinarnya sebesar 8.04 keV. Pada pengujian XRD untuk mengidentifikasi senyawa dari tiap *peak* yang terbentuk maka sudut yang diatur dengan parameter sudut  $2\theta = 20^\circ - 80^\circ$ .

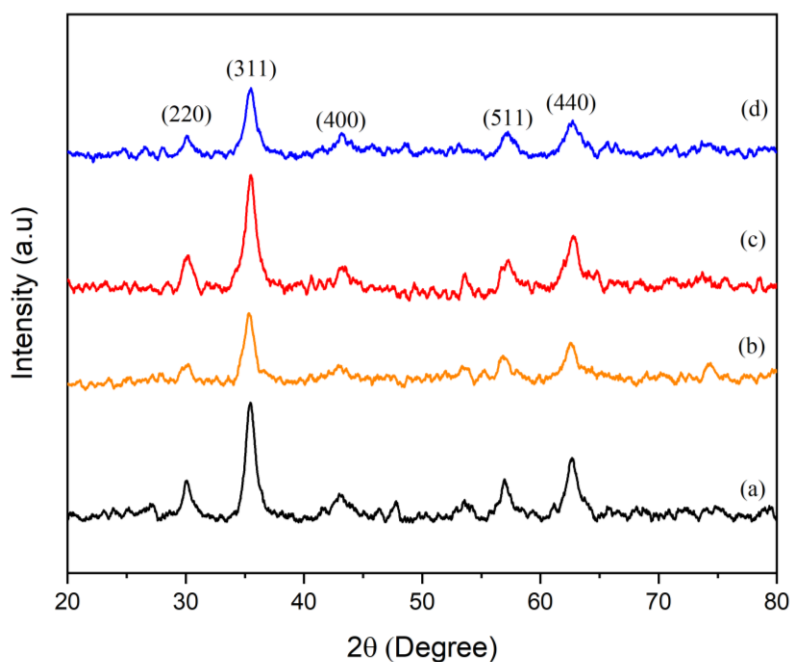
Dari data pengujian yang telah diperoleh, selanjutnya data tersebut dianalisa menggunakan *software Xpert High Score Plus* untuk memastikan senyawa yang terbentuk. Senyawa yang terbentuk selanjutnya dianalisa dengan menyesuaikan *peak* hasil pengujian dengan *database* dari *International Centre for Diffraction Data* (ICDD) yang terdapat pada *software*. Dari data pengujian, pola difraksi sampel menunjukkan fasa tunggal magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) berdasarkan kecocokan dengan *database* ICDD 01-089-3854. Berdasarkan *database* hasil pengujian XRD pada material  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  menunjukkan puncak difraksi yang jelas pada  $30.088^\circ$ ,  $35.439^\circ$ ,  $43.07^\circ$ ,  $56.958^\circ$  dan  $62.546^\circ$  berturut-turut yang sesuai dengan bidang kristal *monoclinic* yang menunjukkan indeks bidang [220], [331], [400], [511], [440]. Setelah data pengujian dianalisa dengan menggunakan *software Xpert High Score Plus*, data kemudian diinterpretasikan ke dalam bentuk grafik menggunakan *software OriginPro*. Pola difraksi sinar-x sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang disintesis dengan metode kopresipitasi dapat dilihat dari **Gambar 4.1**.



**Gambar 4.1** Hasil XRD  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Proses penambahan surfaktan pada sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  tidak mengubah pola difraksi dari  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  akan tetapi mengubah intensitasnya, pada sudut  $2\theta$   $35.439^\circ$  bidang (311) yang mana pada bidang tersebut merupakan puncak difraksi intensitas tertinggi dari  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Dilihat dari

**Gambar 4.2** partikel magnetit tanpa penambahan surfaktan dan nanopartikel magnetit yang ditambahkan dengan surfaktan, pola XRD menunjukkan puncak difraksi yang sama. Dari pola difraksi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan penambahan variasi surfaktan asam glutamat, *polyethylen glycol* 6000, dan asam oleat memiliki pola difraksi puncak-puncak yang cukup identik. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan tidak adanya fasa surfaktan di dalam semua sampel, yang mengindikasikan bahwa surfaktan mempengaruhi ukuran partikel *coating agent* tidak berpengaruh nyata terhadap struktur kristal nanopartikel magnetit (senturk et al., 2019).



**Gambar 4.2** Hasil XRD (a)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , (b)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  + GA, (c)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  + PEG, dan (d)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  + OA

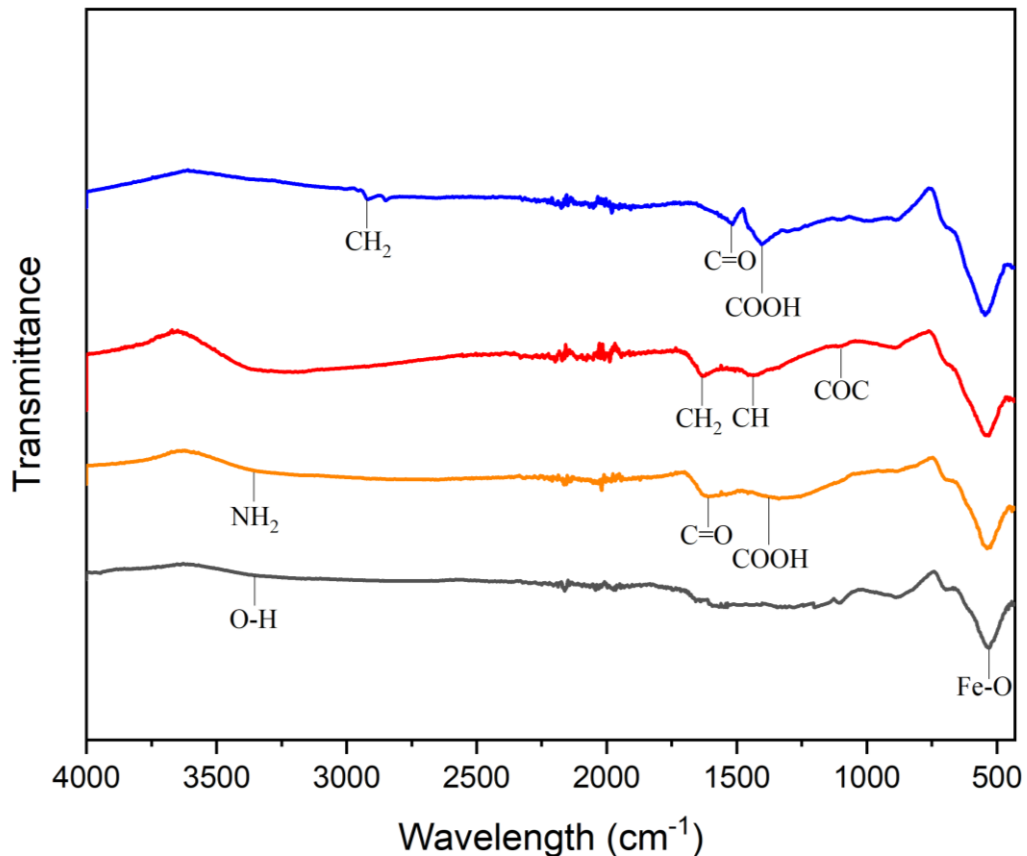
Hasil pengujian XRD juga dapat digunakan sebagai dasar perhitungan ukuran kristalin dari sampel menggunakan persamaan *Debye Scherrer* dengan nilai  $\lambda = 0,15406$  nm yang merupakan Panjang gelombang radiasi Cu,  $\beta$  adalah nilai *Full Width at Half Maximum* (FWHM), dan nilai K pada penelitian ini menggunakan angka 0.9 karena sampel memiliki bentuk bulatan (*spherical*), dan D melambangkan diameter yang merupakan ukuran kristalit dalam satuan nanometer (Radoń et al., 2017). Dengan menggunakan persamaan Debye Scherrer didapatkan ukuran kristal pada sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan variasi penambahan surfaktan pada **Tabel 4.1**

**Tabel 4.1** Perbandingan ukuran partikel

Sampel	2θ [Degree]	FWHM [Rad]	Ukuran Partikel (nm)
$\text{Fe}_3\text{O}_4$	35.44	0.015009832	9.71421112
$\text{Fe}_3\text{O}_4$ + Asam glutamat	35.32	0.016231562	8.9781096
$\text{Fe}_3\text{O}_4$ + <i>Polyethylene Glycol</i> 6000	35.48	0.01553343	9.38674996
$\text{Fe}_3\text{O}_4$ + Asam oleat	35.45	0.015882496	9.17904249

#### 4.2 Hasil Pengujian *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Hasil karakterisasi gugus fungsi digunakan sebagai salah satu indikasi keberhasilan sintesis besi oksida ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) yang telah dienkapsulasi melalui munculnya bilangan gelombang atau perubahan karakteristik tertentu. Pengujian FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk selama proses sintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan variasi penambahan surfaktan. Pada penelitian ini pengujian *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material, Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan menggunakan mesin Nicolet IS10 dengan range panjang gelombang yang digunakan sebesar  $500\text{-}4500\text{ cm}^{-1}$ . Dari hasil pengujian dengan menggunakan spektroskopi FTIR didapat beberapa puncak yang ditunjukkan pada **Gambar 4.4**



**Gambar 4.3** Hasil uji FTIR

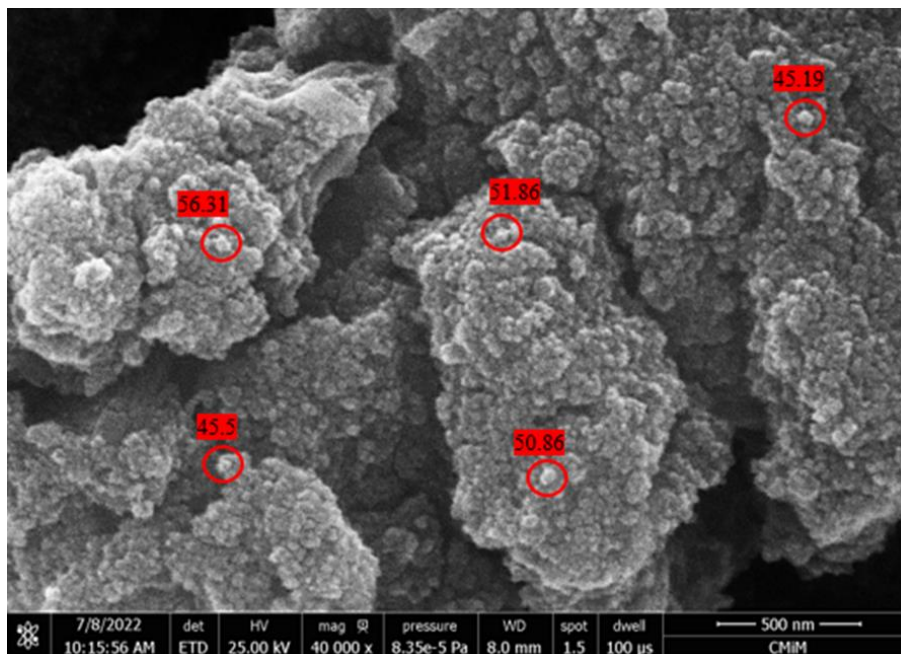
Dari hasil pengujian dengan menggunakan Spektroskopi FTIR didapat beberapa puncak yang ditunjukkan pada **Gambar 4.3** serta panjang gelombang masing-masing puncak. Pada **Gambar 4.3** (a) menunjukkan Spektrum hasil FTIR dari sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan puncak di sekitar panjang gelombang  $3354.56\text{ cm}^{-1}$  merupakan puncak yang menunjukkan adanya keberadaan gugus hidroksil ( $-\text{OH}$ ) dan panjang gelombang  $586.36\text{ cm}^{-1}$  merupakan puncak yang diakibatkan oleh adanya vibrasi dari ikatan  $\text{Fe-O}$ . Hal ini diketahui dari ikatan  $\text{Fe-O}$  yang terbentuk pada bilangan gelombang  $474\text{-}636\text{ cm}^{-1}$  (Lakay, 2009).

Sampel (b)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan penambahan asam glutamat pada panjang gelombang  $3346.85\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan indikasi gugus fungsi  $\text{N-H}$ , pada puncak sekitar  $1615.09\text{ cm}^{-1}$  dan  $1456.95\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan indikasi gugus fungsi  $\text{C=O}$  dan  $\text{COOH}$ . Karakteristik utama pada sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan penambahan surfaktan asam glutamat terlihat pada gugus  $\text{N-H}$ , dimana dalam gugus tersebut tumpang tindih dengan gugus  $\text{O-H}$  (Rajan et al., 2020). Sampel (c)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan penambahan *polyethylene glycol* 6000 diindikasikan terdapat ikatan  $\text{CH}_2$  pada puncak sekitar  $1633.41\text{ cm}^{-1}$ , pada puncak  $1439.6\text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan bahwa adanya ikatan  $\text{CH}$ ,

dan adanya gugus fungsi COC terindikasi pada puncak sekitar  $1101.15 \text{ cm}^{-1}$ . Pada sampel (d)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan penambahan asam oleat mengalami pergeseran vibrasi pada panjang gelombang dari  $1707 \text{ cm}^{-1}$  pada spektrum FTIR *pure* asam oleat menjadi gugus fungsi C=O  $1541.8 \text{ cm}^{-1}$ . Hal ini diduga karena gugus karboksil mengalami *chemisorbed* pada permukaan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan memungkinkan membentuk ikatan dengan ion permukaan besi oksida ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) sehingga mengurangi frekuensi dan intensitas regangan (Urian et al., 2021).

#### 4.3 Hasil Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)

Pada penelitian ini, pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan di Laboratorium Instrumentasi, Perguruan Tinggi UPN “Veteran” Jawa Timur menggunakan alat INSPECT S50 dan di PT Cipta Mikro Material, Serpong, Banten. Pengujian SEM bertujuan untuk mengetahui bentuk morfologi dan ukuran partikel dari permukaan sampel. **Gambar 4.4** berikut ini merupakan hasil pengujian SEM dari sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$



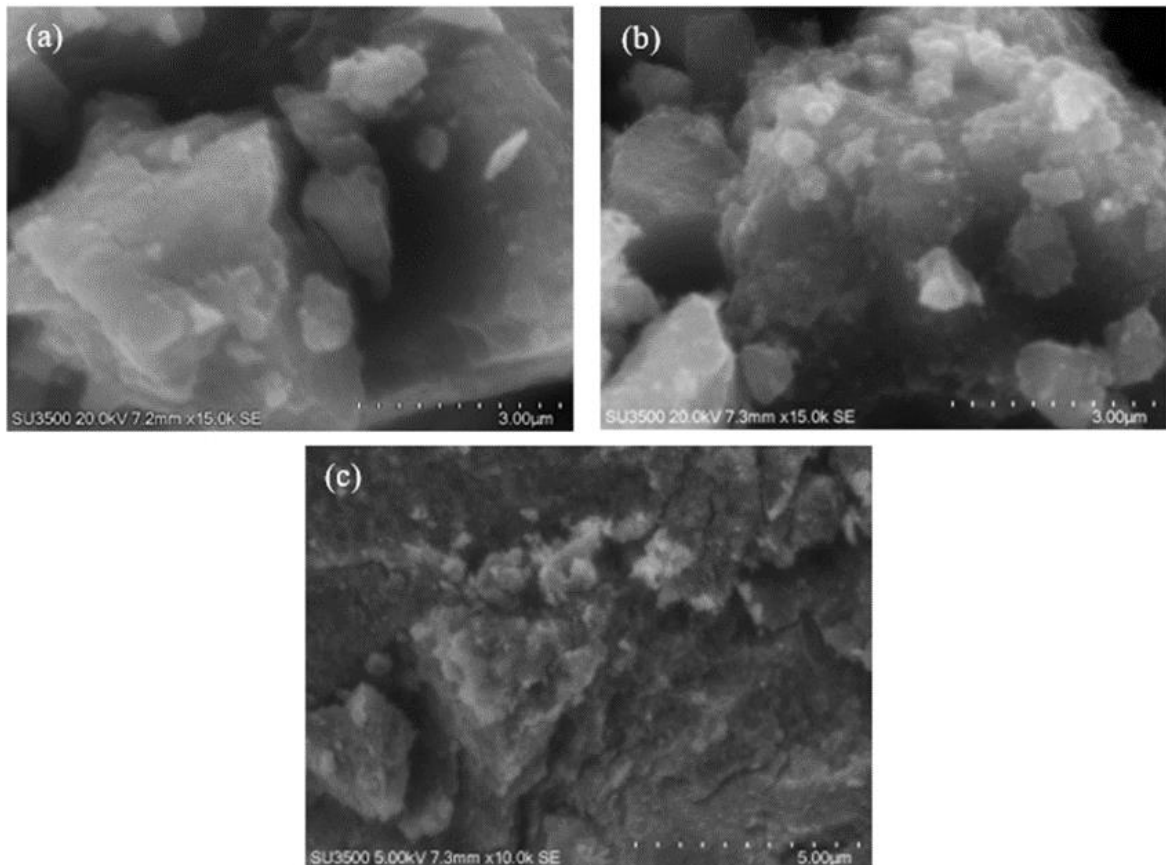
**Gambar 4.4** Hasil SEM  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Gambar di atas merupakan hasil pengujian sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  tanpa penambahan variasi surfaktan dengan perbesaran 40.000x. Berdasarkan hasil uji karakterisasi SEM didapatkan bahwa senyawa partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  memiliki bentuk butir bulatan (*spherical*). Selanjutnya untuk mengetahui besar ukuran dari partikel yang telah dilakukan uji SEM, dapat digunakan *software ImageJ*. Dari data yang sudah diolah menggunakan *software ImageJ* didapatkan ukuran partikel seperti pada **Tabel 4**.

**Tabel 4.2** Ukuran partikel hasil uji SEM

Sampel $\text{Fe}_3\text{O}_4$	Ukuran partikel (nm)	Rata-rata (nm)
Titik 1	45.159	49.93
Titik 2	56.361	
Titik 3	50.862	
Titik 4	45.401	
Titik 5	51.867	

Nilai ukuran butir ini lebih besar dibandingkan dengan ukuran kristal senyawa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dari data XRD. Hal ini terjadi karena ukuran butir dari hasil pengujian SEM bukanlah ukuran tunggal melainkan ukuran antara partikel satu dengan yang lain yang memungkinkan untuk teraglomerasi, sedangkan pada hasil pengujian menggunakan XRD ukuran kristal senyawa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  merupakan ukuran tunggal dari senyawa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , sehingga pada saat dilakukan uji SEM ukuran partikel menjadi lebih besar jika dibandingkan dengan ukuran partikel pada saat dilakukan pengujian XRD. Maka dari itu, hasil karakterisasi SEM memiliki ukuran butir yang lebih besar. Hasil karakterisasi SEM juga menunjukkan bahwa senyawa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  mengalami aglomerasi.



**Gambar 4.5** Hasil SEM  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan variasi penambahan surfaktan

Berdasarkan hasil uji karakterisasi SEM pada Gambar 4.5 (a)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  penambahan surfaktan asam glutamat dengan perbesaran 15.000x, (b)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan penambahan surfaktan *polyethylene glycol* dengan perbesaran 15.000x, dan (c)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan penambahan surfaktan asam oleat dengan perbesaran 10.000x, menunjukkan bahwasanya morfologi partikel yang didapatkan ialah bulatan (*spherical*). Resolusi pencitraan pada uji SEM yang kurang tinggi menyebabkan sulitnya mengidentifikasi partikel dari *SPIONs*. Secara umum masih dapat terlihat adanya aglomerasi setelah penambahan surfaktan sehingga partikel terkesan menjadi lebih besar. Selanjutnya dilakukan pengukuran partikel menggunakan *software ImageJ*, pengukuran dilakukan pada partikel citra SEM yang memiliki bulatan yang terlihat jelas merupakan satu individu partikel seperti pada **Tabel 4.3**

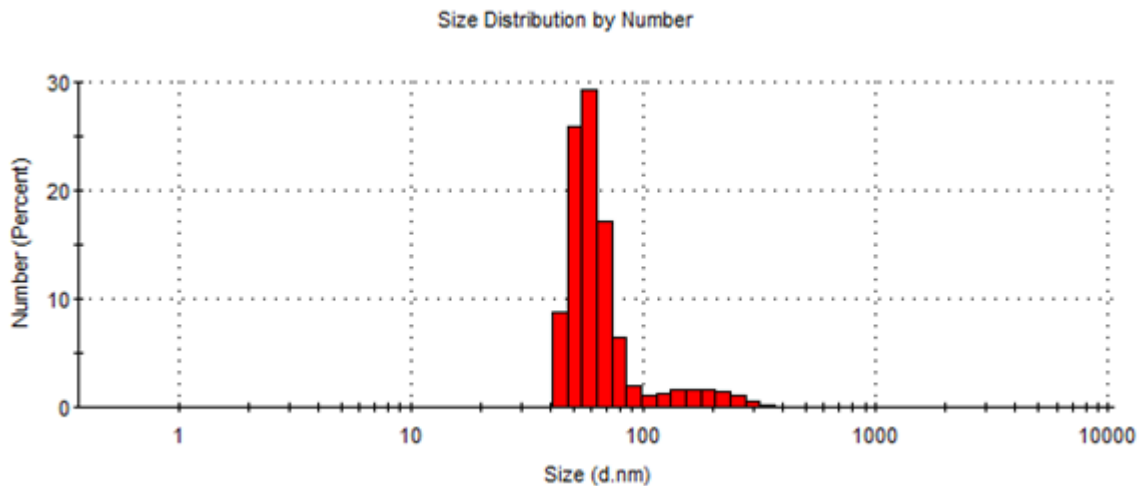


**Tabel 4.3** Perbandingan ukuran *SPIONs* berdasarkan SEM

Sampel Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Ukuran partikel (nm)
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	49.93
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> + asam glutamat	121.887
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> + <i>polyethylene glycol</i>	431.01
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> + asam oleat	112.897

#### 4.4 Hasil Pengujian *Particle Size Analyzer* (PSA)

*Particle Size Analyzer* (PSA) merupakan salah satu alat ukur untuk mengukur seberapa besar ukuran diameter partikel suatu sampel. Pengujian PSA dilakukan di Laboratorium Zat Padat, Departemen Fisika ITS. Sampel serbuk Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> beserta penambahan variasi surfaktan yang telah dihasilkan kemudian dijadikan *liquid* untuk dilakukan uji PSA sehingga diperoleh distribusi dari ukuran partikelnya.



**Gambar 4.6** Hasil PSA Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

Dari **Gambar 4.6** didapatkan grafik histogram *size distribution by number* dari sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Grafik tersebut menunjukkan rata-rata distribusi ukuran dari partikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> sebesar 60.156 nm. Adapun rata-rata hasil pengukuran partikel magnet Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan penambahan variasi surfaktan yang lain dapat dilihat dari **Tabel 4.2**

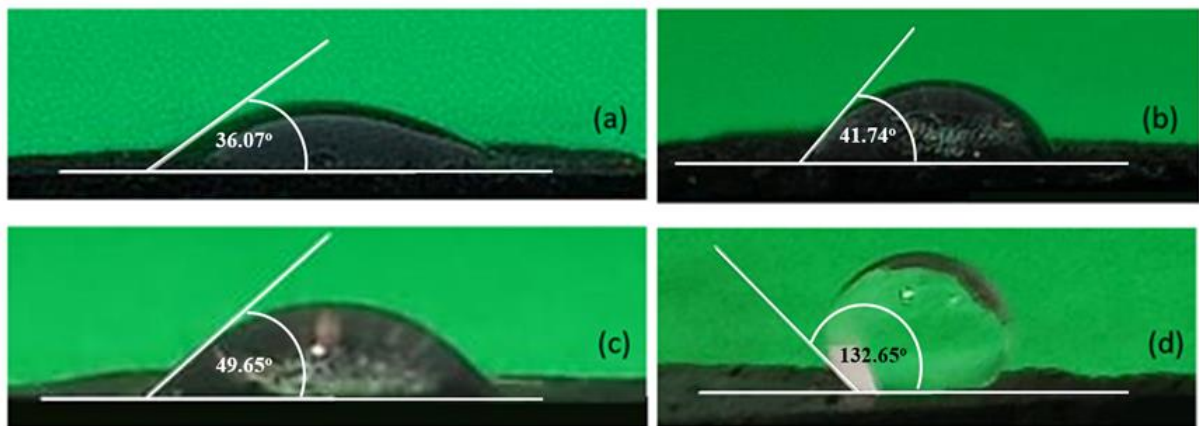
**Tabel 4.4** Hasil PSA

Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>		GA		OA		PEG	
Intensitas (%)	Size (d.nm)	Intensitas (%)	Size (d.nm)	Intensitas (%)	Size (d.nm)	Intensitas (%)	Size (d.nm)
29.3	58.77	25.7	164.2	27.7	43.82	29	955.4
25.9	50.75	23.8	141.8	26.7	50.75	28.3	1106
17.2	68.06	16.9	164.2	15.6	58.77	16.9	825
8.7	44.382	12	122.4	14.3	37.84	16.4	1281
6.4	78.82	6.6	220.2	7	68.06	4.8	1484
<b>60.1564</b>		<b>162.56</b>		<b>51.848</b>		<b>1130.28</b>	

Dari hasil pengujian PSA pada **Tabel 4.4** menunjukkan ukuran partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang cukup besar jika dibandingkan dengan ukuran partikel pada saat diuji dengan uji XRD, hal tersebut kemungkinan disebabkan rendahnya tingkat dispersitas serbuk nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  di dalam media *aquades* yang digunakan sebagai pembuatan koloid, sehingga pada saat dilakukan pengujian PSA partikel yang dihasilkan menjadi cukup besar.

#### 4.5 Hasil Pengujian Hidrofobisitas

Pengujian hidrofobisitas dilakukan untuk mengetahui sudut kontak yang dihasilkan ketika sampel uji ditetaskan oleh air. Hidrofobisitas suatu permukaan material dapat dihitung dengan menggunakan sudut kontak, dimana yang diukur yakni garis sudut antara tetesan air dengan permukaan sampel. Hasil pengujian hidrofobisitas pada seluruh sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ditunjukkan pada **gambar 4.7**



**Gambar 4.7** Hasil pengujian hidrofobisitas

Pada Sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  tanpa pemberian surfaktan menunjukkan sudut kontak  $36,07^\circ$  dimana menunjukkan partikel hidrofilik karena sudut yang dibentuk  $<90^\circ$ , pada sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan penambahan surfaktn asam glutamat menunjukkan sudut kontak  $41,74^\circ$  partikel hidrofilik karena memiliki sudut  $<90^\circ$ , pada  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan penambahan surfaktn *polyethylene glycol 6000* menunjukkan sudut  $49,65^\circ$  partikel disebut hidrofilik karena sudut kontak yang dihasilkan  $<90^\circ$ , dan sedangkan sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan penambahan surfaktn asam oleat menunjukkan sudut  $132,56^\circ$ , partikel dapat disebut hidrofobik karena sudut kontak yang terbentuk  $>90^\circ$ . Sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan penambahan surfaktan asam oleat menunjukkan material hidrofobik, hal tersebut karena asam oleat merupakan bagian dari asam lemak bersifat non polar dan saat hidrofobik surfaktan disebut *oil-soluble surfactant*.

#### 4.6 Hasil Pengujian Surface Tension

Pengujian *surface tension* dilakukan di Balai Laboratorium Bea dan Cukai (BLBC) Surabaya. Pengujian *surface tension* bertujuan untuk mengukur tegangan maksimal dari suatu permukaan cair kemudian ditarik hingga tidak ada lagi kontak antara alat uji dengan permukaan cairan sampel yang diukur. Sampel serbuk  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang diuji berada dalam kondisi terdispersi dalam air. Adapun hasil pengujian *surface tension* dapat dilihat pada **Tabel 4.5** sebagai berikut:

**Tabel 4.5** Hasil pengujian *surface tension*

Sampel	1	2	3	4	5	Rata-Rata IFT (mN/m)
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	70.1	70	69.9	69.9	69.9	69.96
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> + Asam glutamat	71.2	71.2	71.2	71.2	71.2	71.2
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> + PEG 6000	61.9	61.6	61.3	61.1	60.8	61.34
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> + Asam oleat	60.1	59.9	59.8	59.7	59.7	59.84

Berdasarkan data hasil pengujian pada **Tabel 4.5**, terlihat bahwasanya dengan penambahan surfaktan asam oleat menunjukkan penurunan nilai *interfacial tension* (IFT) atau tegangan permukaan sebesar 59.84 mN/m jika dibandingkan dengan sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> tanpa penambahan surfaktan dan memiliki nilai IFT (*interfacial tension*) yang terendah jika dibandingkan dengan ketiga sampel yang lain. Hal tersebut sejalan dengan pengujian hidrofobisitas yang sebelumnya dilakukan, dimana permukaan yang memiliki tegangan permukaan yang rendah memiliki sifat hidrofobik.

Dari hasil pengujian *surface tension* tersebut didapatkan bahwa surfaktan berpengaruh terhadap penurunan nilai tegangan permukaan (*interfacial tension*), hal ini sejalan dengan (Nisya et al., 2017) bahwasanya surfaktan merupakan senyawa yang mampu menurunkan tegangan permukaan suatu material. Penambahan surfaktan ke dalam sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dapat menurunkan tegangan permukaan (*interfacial tension*) karena memiliki gugus hidrofobik dan hidrofilik, yang mana kedua gugus tersebut bersifat polar dan nonpolar sehingga membuat air dan minyak dapat bercampur dengan baik. Apabila mencapai konsentrasi tertentu, tegangan permukaan yang dihasilkan akan konstan walaupun konsentrasi penambahan surfaktan pada Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ditingkatkan (Oppusunggu et al., 2015).

#### 4.7 Hasil Pengujian *Vibration Sample Magnetometer* (VSM)

Pengujian *Vibration Sample Magnetometer* (VSM) ini dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Lanjut I Fisika, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Puspitek, Serpong. Pengujian *Vibration Sample Magnetometer* dianalisis dengan menggunakan VSM250 dengan *output* yang dihasilkan, yakni kurva *hysteresis* dan kurva magnetisasi. Sifat magnetik dari partikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan menggunakan metode kopresipitasi dianalisa menggunakan VSM pada temperatur ruang (25°C) sehingga menghasilkan kurva histeresis seperti pada **Gambar 4.8**. Sementara itu, data kuantitatif hasil magnetisasi dari sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> tanpa penambahan surfaktan dan dengan variasi penambahan surfaktan dapat dilihat pada **Tabel 4.6** sebagai berikut:

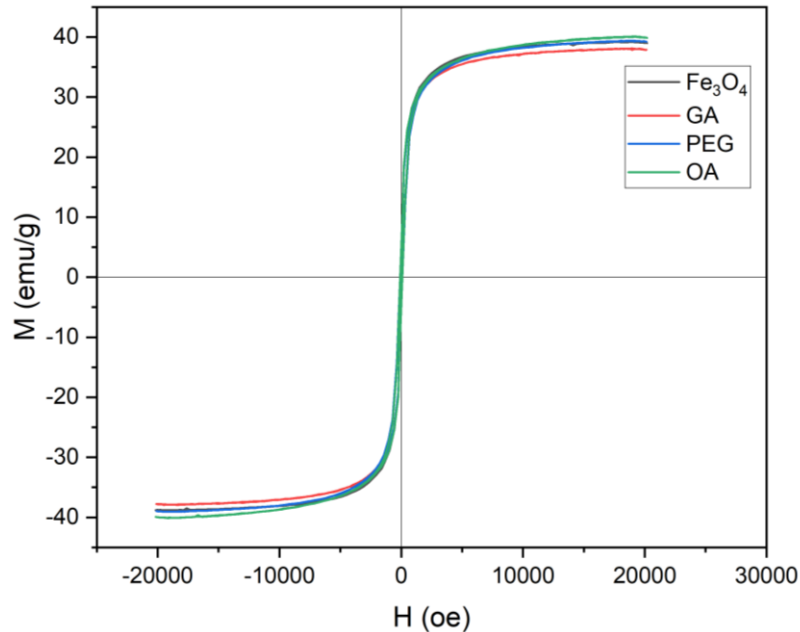
**Tabel 4.6** Hasil Magnetisasi

Sampel Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	$M_s$ (emu/gram)	H (Oe)
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	39.31	0.020190
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> + asam glutamat	38.10	0.020137
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> + <i>polyethylene glycol</i>	39.40	0.020141
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> + asam oleat	40.08	0.020203

Pada **Gambar 4.8** dapat dilihat bahwa sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan penambahan surfaktan asam glutamat, *polyethylene glycol*, dan asam oleat menunjukkan sifat superparamagnetik



yang dapat dilihat dari bentuk kurva magnetisasi. Nilai magnetisasi saturasi yang dihasilkan dari grafik di atas berbeda beda, hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu ukuran partikel, derajat kristalinitas, dan kehadiran fasa yang menunjukkan bahwa nilai saturasi magnetik ( $M_s$ ) berbanding terbalik dengan ukuran partikelnya.

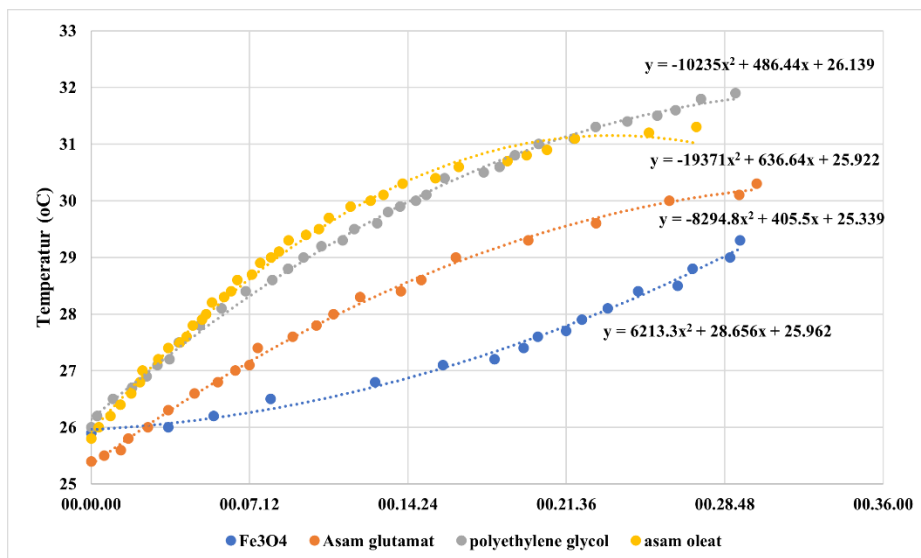


**Gambar 4.8** Hasil pengujian VSM

Berdasarkan data pengujian VSM, apabila dikorelasikan dengan ukuran partikel  $Fe_3O_4$  hasil perhitungan dengan formula *Debye Scherrer* pada **Tabel 4.1**, maka dapat dikatakan bahwa semakin besar ukuran partikel  $Fe_3O_4$  berdampak pada turunnya nilai saturasi magnetiknya ( $M_s$ ). Dari pengujian VSM semua sampel  $Fe_3O_4$  tanpa penambahan surfaktan dan sampel  $Fe_3O_4$  dengan penambahan surfaktan memiliki sifat superparamagnetik, karena membentuk kurva S dan koersivitas ( $H_c$ ) mendekati 0. Partikel magnetik yang memiliki ukuran di bawah 100 nm akan berubah menjadi karakteristik *single domain* dan memiliki sifat superparamagnetik, dan dalam kurva pada **Gambar 4.8** kurva magnetisasi tersebut tidak menunjukkan adanya magnet sisa (*remanence*) yang biasa dimiliki oleh material feromagnetik atau ferimagnetik.

#### 4.8 Hasil Pengujian Medan Magnet

Hasil pengujian ini ditunjukkan oleh grafik hubungan temperatur sebagai fungsi waktu. Pada pengujian ini sampel adalah 0,882 g partikel nano  $Fe_3O_4$  yang diletakkan dalam tabung reaksi kaca. Selanjutnya sampel diletakkan di tengah kumparan sebagai sumber medan magnet. Medan magnet yang berhasil ditimbulkan adalah sebesar 3A. Untuk mengetahui perubahan temperatur yang diakibatkan panas, maka ditempatkan termokopel pada sampel. Hasil pengujian ini diperoleh bahwa temperatur berhasil meningkat secara signifikan dari  $25,8^{\circ}C - 31,5^{\circ}C$  selama 30 menit.



**Gambar 4.9** Pengaruh medan magnet terhadap temperatur

Setelah dilakukan pengujian dan mendapatkan grafik kenaikan temperatur terhadap waktu akibat adanya arus listrik yang diberikan, maka dilakukan pengukuran nilai *specific absorption rate* (SAR) dengan menggunakan persamaan 2.1. Berdasarkan persamaan tersebut didapatkan nilai SAR dari sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> memiliki nilai sebesar 0.155 W/g. Adapun nilai SAR dapat dilihat dalam **Tabel 4.7**

**Tabel 4.7** Nilai *specific absorption rate*

Jenis Sampel	Nilai SAR (W/g)
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0.15500
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> + asam glutamat	0.085126412
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> + <i>polyethylene glycol</i>	0.093468
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> + asam oleat	0.06272

Nilai SAR yang dihasilkan dari sampel yang telah diuji masih perlu dilakukan kajian ulang, hal tersebut dikarenakan nilai SAR yang diperlukan untuk aplikasi *hyperthermia therapy* sebesar 150 W/g – 400 W/g. Peningkatan temperatur hasil penelitian apabila dihubungkan dengan kemungkinan untuk terapi hipertermia memiliki kemungkinan yang sangat kecil. Hal tersebut dikarenakan temperatur yang digunakan untuk aplikasi hipertermia sebesar 41°C – 45°C (Latorre-Estevés & Rinaldi, 2014). Dari penelitian yang telah dilakukan masih banyak parameter yang harus diperhatikan apabila nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> akan diaplikasikan sebagai terapi hipertermia. Struktur kristal magnetit yang dihasilkan pada penelitian ini sudah memenuhi standar <10 nm, yakni struktur kubik dan memiliki ukuran kristal sebesar 8.978 – 9.714 nm. Ukuran partikel yang dihasilkan pada penelitian ini masih perlu dikaji ulang, hal tersebut dikarenakan masih terdapat partikel yang teraglomerasi sehingga ukuran yang terbentuk pada pengujian SEM dan PSA cenderung besar. Perlakuan sonikasi dapat dilakukan untuk mengurangi terjadinya aglomerasi pada partikel. Hal tersebut sejalan dengan penelitian, bahwasanya efek dari sonikasi secara signifikan mampu mengurangi terjadinya proses aglomerasi. Sifat magnet pada penelitian ini menunjukkan bahwa semua sampel tanpa atau dengan penambahan surfaktan memiliki sifat superparamagnetik yang

dibuktikan dengan kurva membentuk S, nilai *coercivity* 0.020137-0.020203 oe dimana nilai tersebut mendekati 0 dan menunjukkan bahwasannya dalam partikel tersebut tidak terdapat magnet sisa. Namun, nilai magnetisasi dari nanopartikel  $Fe_3O_4$  dianggap kurang, karena nilai magnetisasi kurang dari 60 emu/g. Nilai magnetisasi tinggi berakitan dengan respon magnet dengan medan magnet eksternal yang diberikan, semakin tinggi nilai magnetisasi maka respon terhadap medan maknet eksternal semakin bagus. *Ferrofluid* pada penelitian ini memiliki sifat terdispersi yang paling baik, yakni pada variasi surfaktan asam glutamat ditunjukkan dengan nilai *surface tension* yang tinggi, dengan tingginya nilai *surface tension* maka partikel memiliki sifat terdispersi yang baik dan berpotensi apabila diaplikasikan dalam bidang biomedis. Dari pengujian medan magnet didapatkan bahwasannya pada penelitian ini, sampel memiliki potensi jika akan diaplikasikan sebagai alternatif pengobatan terapi hipertermia, hal tersebut ditunjukkan dengan respon material ketika diberikan medan magnet eksternal menunjukkan kenaikan temperatur yang signikfikan. Namun begitu, masih perlu dilakukan kajian ulang untuk material mencapai temperatur dan nilai SAR sesuai dengan standar aplikasi terapi hipertermia.

**Tabel 4.8** Perbandingan untuk aplikasi

Parameter	Standar	$Fe_3O_4$	$Fe_3O_4 + GA$	$Fe_3O_4 + PEG$	$Fe_3O_4 + OA$
Ukuran partikel (nm)	<20	9.7142	8.9781	9.3867	9.1790
Struktur kristal	Kubik	Kubik	Kubik	Kubik	Kubik
Bentuk patikel	Bulatan	Bulatan	Bulatan	Bulatan	Bulatan
Sifat magnet	Super paramagnet	Super paramagnet	Super paramagnet	Super paramagnet	Super paramagnet
Nilai Magnetisasi (emu/g)	66	39.31	38.10	39.40	40.08
Temperatur (°C)	41 – 45	29.3	30.3	31.9	31.3
Nilai SAR (W/g)	150-400	0.15500	0.085126	0.093468	0.06272

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

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

1. Penambahan surfaktan asam glutamat, *polyethylene glycol* 6000, dan asam oleat pada nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  berdasarkan uji XRD tidak menggeser puncak difraksi yang artinya kehadiran surfaktan secara signifikan tidak mempengaruhi struktur kristal, namun pada uji FTIR penambahan surfaktan memunculkan gugus fungsi baru pada nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  selain gugus fungsi OH dan Fe-O. Pada uji SEM dengan penambahan surfaktan secara konstan memperbesar ukuran partikel dari nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .
2. Semua nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  menunjukkan sifat superparamagnetik terbukti dengan terbentuknya kurva magnetisasi pada pengujian VSM (*Vibration Sample Magnetometer*) yang tidak menunjukkan adanya magnet sisa (*remanence*), dan membentuk kurva S dengan nilai magnetisasi antara 38.10-40.08 emu/g.
3. Nanopartikel di dalam cairan pembawa terbukti sesuai dengan surfaktan yang digunakan, pada pengujian hidrofobitas nanopartikel dengan surfaktan asam oleat bersifat hidrofobik dengan sudut kontak  $132.65^\circ$  dan memiliki sifat hidrofilik dengan sudut kontak  $36.07^\circ$ - $49.65^\circ$  pada surfaktan asam oleat dan asam glutamat. Dengan uji *surface tension* didapatkan penambahan surfaktan asam oleat terbukti menurunkan tegangan permukaan dan memiliki nilai sebesar 59.84 mN/m.
4. *Ferro fluid* memiliki potensi untuk aplikasi terapi hipertermia, terbukti mampu menghasilkan energi panas sebesar  $29.3$ - $31.9^\circ\text{C}$  pada saat dikenai medan magnet eksternal dengan grafik temperatur terhadap waktu terus mengalami kenaikan pada saat diberikan arus listrik. Dari kenaikan temperatur didapatkan nilai SAR sampel sebesar  $0.0627 - 0.155 \text{ W/g}$

### 5.2 Saran

Adapaun saran yang perlu diperhatikan untuk penelitian selanjutnya antara lain sebagai berikut:

1. Dilakukan pengujian *Transmission Electron Microscope* (TEM) untuk mencitrakan detail struktur sampel dalam resolusi yang lebih tinggi.
2. Dilakukan proses sonikasi pada saat sintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sehingga partikel yang dihasilkan berukuran lebih kecil dan dapat meningkatkan sifat kemagnetan sehingga sesuai untuk aplikasi terapi hipertermia

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Akbarzadeh, A., Samiei, M., & Davaran, S. (2012). Magnetic nanoparticles: Preparation, physical properties, and applications in biomedicine. *Nanoscale Research Letters*, 7. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-7-144>
- Ali, A., Chiang, Y. W., & Santos, R. M. (2022). X-Ray Diffraction Techniques for Mineral Characterization: A Review for Engineers of the Fundamentals, Applications, and Research Directions. *Minerals*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/min12020205>
- Ali, A., Zafar, H., Zia, M., ul Haq, I., Phull, A. R., Ali, J. S., & Hussain, A. (2016). Synthesis, characterization, applications, and challenges of iron oxide nanoparticles. In *Nanotechnology, Science and Applications* (Vol. 9, pp. 49–67). Dove Medical Press Ltd. <https://doi.org/10.2147/NSA.S99986>
- Ansari, S. A. M. K., Ficiarà, E., Ruffinatti, F. A., Stura, I., Argenziano, M., Abollino, O., Cavalli, R., Guiot, C., & D'Agata, F. (2019). Magnetic iron oxide nanoparticles: Synthesis, characterization and functionalization for biomedical applications in the Central Nervous System. In *Materials* (Vol. 12, Issue 3). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ma12030465>
- Asab, G., Zereffa, E. A., & Abdo Seghne, T. (2020). Synthesis of Silica-Coated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles by Microemulsion Method: Characterization and Evaluation of Antimicrobial Activity. *International Journal of Biomaterials*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/4783612>
- Assadi, Y. (2012). 2.10 – Dispersive Liquid–Liquid Microextraction. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381373-2.10051-1>
- Bukit, N., Frida, E., Simamora, P., & Sinaga, T. (2015). *Synthesis Of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles Of Iron Sand Coprecipitation Method With Polyethylene Glycol 6000*. 7(7). [www.iiste.org](http://www.iiste.org)
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. gabriela, & Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. In *Critical Reviews in Analytical Chemistry* (Vol. 45, Issue 4, pp. 289–299). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>
- Buzea, C., Pacheco, I. I., & Robbie, K. (2007). Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity. *Biointerphases*, 2(4), MR17–MR71. <https://doi.org/10.1116/1.2815690>
- Diajukan Untuk Meme, S., & Studi Fisika Fakultas Sains Dan Teknologi, P. (n.d.). *ANALISIS SIFAT SUPERHIDROFOBİK-SUPEROLEOFILİK PADA MODIFIKASI MATERIAL SPONS POLYURETHANE SEBAGAI PEMISAH MINYAK DAN AIR SECARA SELEKTIF*.
- Ene, V. L., Neacsu, I. A., Oprea, O., Surdu, V. A., Trusca, R. D., Ficai, A., & Andronescu, E. (2020). Single step synthesis of glutamic/tartaric acid-stabilised Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles for targeted delivery systems. *Revista de Chimie*, 71(2), 230–238. <https://doi.org/10.37358/RC.20.2.7920>
- Gabelica, I., Ćurković, L., Mandić, V., Panžić, I., Ljubas, D., & Zadro, K. (2021). Rapid microwave-assisted synthesis of fe<sub>3</sub>o<sub>4</sub>/sio<sub>2</sub>/tio<sub>2</sub> core-2-layer-shell nanocomposite for photocatalytic degradation of ciprofloxacin. *Catalysts*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/catal11101136>
- Ghazanfari, M. R., Kashefi, M., Shams, S. F., & Jaafari, M. R. (2016). Perspective of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles Role in Biomedical Applications. In *Biochemistry Research International* (Vol. 2016). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2016/7840161>

- Hao, R., Liu, H., & Wang, S. (2020a). Preparation and Parameters Measurement of Magnetic Fluid. *Journal of Physics: Conference Series*, 1637(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1637/1/012016>
- Hao, R., Liu, H., & Wang, S. (2020b). Preparation and Parameters Measurement of Magnetic Fluid. *Journal of Physics: Conference Series*, 1637(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1637/1/012016>
- Hoffschmidt, B., Alexopoulos, S., Götsche, J., Sauerborn, M., & Kaufhold, O. (2012). High concentration solar collectors. In *Comprehensive Renewable Energy* (Vol. 3, pp. 165–209). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-087872-0.00306-1>
- Khoramian, S., Saeidifar, M., Zamanian, A., & Saboury, A. A. (2019). Synthesis and characterization of biocompatible ferrofluid based on magnetite nanoparticles and its effect on immunoglobulin G as an immune protein. *Journal of Molecular Liquids*, 273, 326–338. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.10.045>
- Kumar, C. S. S. R., & Mohammad, F. (2011). Magnetic nanomaterials for hyperthermia-based therapy and controlled drug delivery. In *Advanced Drug Delivery Reviews* (Vol. 63, Issue 9, pp. 789–808). <https://doi.org/10.1016/j.addr.2011.03.008>
- Lakay, E. M. (2009). *Superparamagnetic iron-oxide based nanoparticles for the separation and recovery of precious metals from solution*.
- Larumbe, S., Gómez-Polo, C., Pérez-Landazábal, J. I., & Pastor, J. M. (2012). Effect of a SiO<sub>2</sub> coating on the magnetic properties of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles. *Journal of Physics. Condensed Matter: An Institute of Physics Journal*, 24(26), 266007. <https://doi.org/10.1088/0953-8984/24/26/266007>
- Latorre, M., & Rinaldi, ; Carlos. (2009). *Applications of Magnetic Nanoparticles in Medicine: Magnetic Fluid Hyperthermia*.
- Latorre-Esteves, M., & Rinaldi, C. (2014). *Applications of Magnetic Nanoparticles in Medicine: Magnetic Fluid Hyperthermia Magnetic nano particle assembly View project Magnetic nanoparticle capturing for osteoarthritis detection View project*. <https://www.researchgate.net/publication/26774943>
- Laurent, S., Henoumont, C., Stanicki, D., Boutry, S., Lipani, E., Belaid, S., Muller, R. N., Luce, , & Elst, V. (n.d.). *SPRINGER BRIEFS IN APPLIED SCIENCES AND TECHNOLOGY □ NANOTHERANOSTICS MRI Contrast Agents From Molecules to Particles*. <http://www.springer.com/series/13040>
- Lee, X. J., Lim, H. N., Gowthaman, N. S. K., Rahman, M. B. A., Che Abdullah, C. A., & Muthoosamy, K. (2020). In-situ surface functionalization of superparamagnetic reduced graphene oxide – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanocomposite via Ganoderma lucidum extract for targeted cancer therapy application. *Applied Surface Science*, 512. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.145738>
- Lemine, O. M. (2018). Magnetic Hyperthermia Therapy Using Hybrid Magnetic Nanostructures. In *Hybrid Nanostructures for Cancer Theranostics* (pp. 1–10). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813906-6.00007-X>
- Li, H., Yang, S., Hui, D., & Hong, R. (2020). Progress in magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanomaterials in magnetic resonance imaging. In *Nanotechnology Reviews* (Vol. 9, Issue 1, pp. 1265–1283). De Gruyter Open Ltd. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2020-0095>
- Li, X.-M., Xu, G., Liu, Y., & He, T. (2011). *Magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles: Synthesis and Application in Water Treatment* (Vol. 1).
- Marcus, M., Karni, M., Baranes, K., Levy, I., Alon, N., Margel, S., & Shefi, O. (2016). Iron oxide nanoparticles for neuronal cell applications: Uptake study and magnetic manipulations. *Journal of Nanobiotechnology*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s12951-016-0190-0>



- Mufid, A., & Mochammad Zainuri, S. (n.d.). *SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF COMPOSITE LITHIUM PHOSPHATE FERRO / GRAFITE WITH VARIOUS OF WEIGHT FRACTION GRAFITE BY SOLID STATE METHODS* MAGISTER PROGRAM STUDY ON MATERIAL SCIENCES DEPARTMENT OF PHYSICS FACULTY OF MATHEMATIC AND NATURAL SCIENCES INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2016.
- Nalle, F. C., Wahid, R., Wulandari, I. O., & Sabarudin, A. (2019). Synthesis and characterization of magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles using oleic acid as stabilizing agent. *Rasayan Journal of Chemistry*, 12(1), 14–21. <https://doi.org/10.31788/RJC.2019.1214082>
- Natarajan, S., Harini, K., Gajula, G. P., Sarmiento, B., Neves-Petersen, M. T., & Thiagarajan, V. (2019). Multifunctional magnetic iron oxide nanoparticles: diverse synthetic approaches, surface modifications, cytotoxicity towards biomedical and industrial applications. *BMC Materials*, 1(1). <https://doi.org/10.1186/s42833-019-0002-6>
- Nee Koo, K., Fauzi Ismail, A., Hafiz Dzarfan Othman, M., Rahman, M. A., & Zhong Sheng, T. (2019). Preparation and characterization of superparamagnetic magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) nanoparticles: A short review. In / *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences* (Vol. 15, Issue 1).
- Nenohai, A. J. W. T., Sunaryono, S., Taufiq, A., & Mufti, N. (2021). Synthesis of magnetic fluid based on local iron sand using natural surfactants and their potential as hyperthermia therapy. *AIP Conference Proceedings*, 2353. <https://doi.org/10.1063/5.0052541>
- Nisya, F. N., Prijono, D., & Nurkania, A. (2017). Application of diethanolamide surfactant derived from palm oil to improve the performance of biopesticide from neem oil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 65(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/65/1/012005>
- Oehlsen, O., Cervantes-Ramírez, S. I., Cervantes-Avilés, P., & Medina-Velo, I. A. (2022). Approaches on Ferrofluid Synthesis and Applications: Current Status and Future Perspectives. *ACS Omega*, 7(4), 3134–3150. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c05631>
- Oppusunggu, J. R., Rutliana Siregar, V., & Masyithah, Z. (2015). PENGARUH JENIS PELARUT DAN TEMPERATUR REAKSI PADA SINTESIS SURFAKTAN DARI ASAM OLEAT DAN n-METIL GLUKAMINA DENGAN KATALIS KIMIA. In *Jurnal Teknik Kimia USU* (Vol. 4, Issue 1).  
*Pambudi, Uji FTIR.* (n.d.).
- Petcharoen, K., & Sirivat, A. (2012). Synthesis and characterization of magnetite nanoparticles via the chemical co-precipitation method. *Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology*, 177(5), 421–427. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2012.01.003>
- Prasdiatika, R., & Susanto, S. (2017). PREPARASI DAN PENENTUAN JENIS OKSIDA BESI PADA MATERIAL MAGNETIK PASIR BESI LANSILOWO. *Jurnal Teknosains*, 6(1), 7. <https://doi.org/10.22146/teknosains.11385>
- Radoń, A., Drygała, A., Hawełek, Ł., & Łukowiec, D. (2017). Structure and optical properties of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles synthesized by co-precipitation method with different organic modifiers. *Materials Characterization*, 131, 148–156. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2017.06.034>
- Rajan, A., Sharma, M., & Sahu, N. K. (2020). Assessing magnetic and inductive thermal properties of various surfactants functionalised Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles for

- hyperthermia. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71703-6>
- Reeves, D. B., & Weaver, J. B. (2014). Approaches for modeling magnetic nanoparticle dynamics. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 42(1), 85–93. <https://doi.org/10.1615/CritRevBiomedEng.2014010845>
- Rosen, M. J. (n.d.). *SURFACTANTS AND INTERFACIAL PHENOMENA THIRD EDITION*. www.copyright.com.
- Sajid, M., Kalinowska, K., & Płotka-Wasyłka, J. (2021). Ferrofluids based analytical extractions and evaluation of their greenness. In *Journal of Molecular Liquids* (Vol. 339). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116901>
- SENTURK, F., CAKMAK, S., & GULER OZTURK, G. (2019). Synthesis and Characterization of Oleic Acid Coated Magnetic Nanoparticles for Hyperthermia Applications. *Natural and Applied Sciences Journal*, 2(2), 16–29. <https://doi.org/10.38061/idunas.657975>
- Shaterabadi, Z., Nabiyouni, G., & Soleymani, M. (2017). High impact of in situ dextran coating on biocompatibility, stability and magnetic properties of iron oxide nanoparticles. *Materials Science and Engineering C*, 75, 947–956. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.02.143>
- Shiri, M. S. Z., Henderson, W., & Mucalo, M. R. (2019). A review of the lesser-studied microemulsion-based synthesis methodologies used for preparing nanoparticle systems of the noble metals, Os, Re, Ir and Rh. In *Materials* (Vol. 12, Issue 12). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ma12121896>
- Silviyah, S., & Widodo, C. S. (n.d.). *PENGGUNAAN METODE FT-IR (Fourier Transform Infra Red) UNTUK MENGIDENTIFIKASI GUGUS FUNGSI PADA PROSES PEMBALURAN PENDERITA MIOMA*.
- Song, C., Sun, W., Xiao, Y., & Shi, X. (2019). Ultrasmall iron oxide nanoparticles: synthesis, surface modification, assembly, and biomedical applications. In *Drug Discovery Today* (Vol. 24, Issue 3, pp. 835–844). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2019.01.001>
- Sun, S., & Zeng, H. (2002). Size-controlled synthesis of magnetite nanoparticles. *Journal of the American Chemical Society*, 124(28), 8204–8205. <https://doi.org/10.1021/ja026501x>
- Takai, Z., Mustafa, M. K., Asman, S., Takai, Z. I., Mustafa, M. K., & Sekak, K. A. (2019). Preparation and Characterization of Magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) nanoparticles By Sol-Gel Method Synthesis imprinting polymers as a new synthetic material. View project FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF DIRECT RECYCLED ALUMINIUM / COPPER / CULLET METAL COMPOSITE View project Preparation and Characterization of Magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) nanoparticles By Sol-Gel Method. In *International Journal of Nanoelectronics and Materials* (Vol. 12, Issue 1). <https://www.researchgate.net/publication/330511880>
- Tommy Hasan Abadi, M., & Mufti, N. (n.d.). *SEMINAR NASIONAL FISIKA DAN PEMBELAJARANNYA 2017 SPECIFIC ABSORPTION RATE (SAR) PADA PARTIKEL NANO FE 3 O 4 DALAM MEDAN MAGNET AC*.
- Urian, Y. A., Atoche-Medrano, J. J., Quispe, L. T., León Félix, L., & Coaquira, J. A. H. (2021). Study of the surface properties and particle-particle interactions in oleic acid-coated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 525. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2020.167686>
- Wang, Y. M., Cao, X., Liu, G. H., Hong, R. Y., Chen, Y. M., Chen, X. F., Li, H. Z., Xu, B., & Wei, D. G. (2011). Synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> magnetic fluid used for magnetic

- resonance imaging and hyperthermia. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 323(23), 2953–2959. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2011.05.060>
- Wu, W., Wu, Z., Yu, T., Jiang, C., & Kim, W. S. (2015). Recent progress on magnetic iron oxide nanoparticles: Synthesis, surface functional strategies and biomedical applications. In *Science and Technology of Advanced Materials* (Vol. 16, Issue 2). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1468-6996/16/2/023501>
- Yao, Y., Zhou, Y., Liu, L., Xu, Y., Chen, Q., Wang, Y., Wu, S., Deng, Y., Zhang, J., & Shao, A. (2020). Nanoparticle-Based Drug Delivery in Cancer Therapy and Its Role in Overcoming Drug Resistance. In *Frontiers in Molecular Biosciences* (Vol. 7). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmolb.2020.00193>
- Zamay, G. S., Zamay, T. N., Lukyanenko, K. A., & Kichkailo, A. S. (2020). Aptamers increase biocompatibility and reduce the toxicity of magnetic nanoparticles used in biomedicine. In *Biomedicines* (Vol. 8, Issue 3). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/biomedicines8030059>

LAPORAN TUGAS AKHIR  
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

---



## LAMPIRAN

### Lampiran 1 : Hasil Pengujian XRD

#### Name and formula

Reference code:	01-089-0688
Mineral name:	Magnetite, syn
Compound name:	Iron Oxide
Common name:	Triiron tetraoxide
ICSD name:	Iron Oxide
Empirical formula:	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Chemical formula:	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>

#### Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
Space group:	Fd-3m
Space group number:	227
a (Å):	8,4045
b (Å):	8,4045
c (Å):	8,4045
Alpha (°):	90,0000
Beta (°):	90,0000
Gamma (°):	90,0000
Calculated density (g/cm <sup>3</sup> ):	5,18
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	593,66
Z:	8,00
RIR:	4,94

#### Subfiles and quality

Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic Corrosion ICSD Pattern Inorganic Mineral
Quality:	Calculated (C)

#### Comments

ICSD collection code:	082234
Creation Date:	01/01/1970
Modification Date:	01/01/1970
ICSD Collection Code:	082234
Temperature of Data Collection:	REM TEM 25 C
Calculated Pattern Original Remarks:	REM NDP. Magnetic structure also determined. Rietveld

Test from ICSD: profile refinement applied  
 Additional Patterns: At least one TF missing  
 See PDF 01-082-1533, 01-089-0691, 01-089-2355, 01-089-3854 and 01-089-4319. On the crystallographic and magnetic structures of nearly stoichiometric iron monoxide. e d a (FD3-MZ). A3X4.

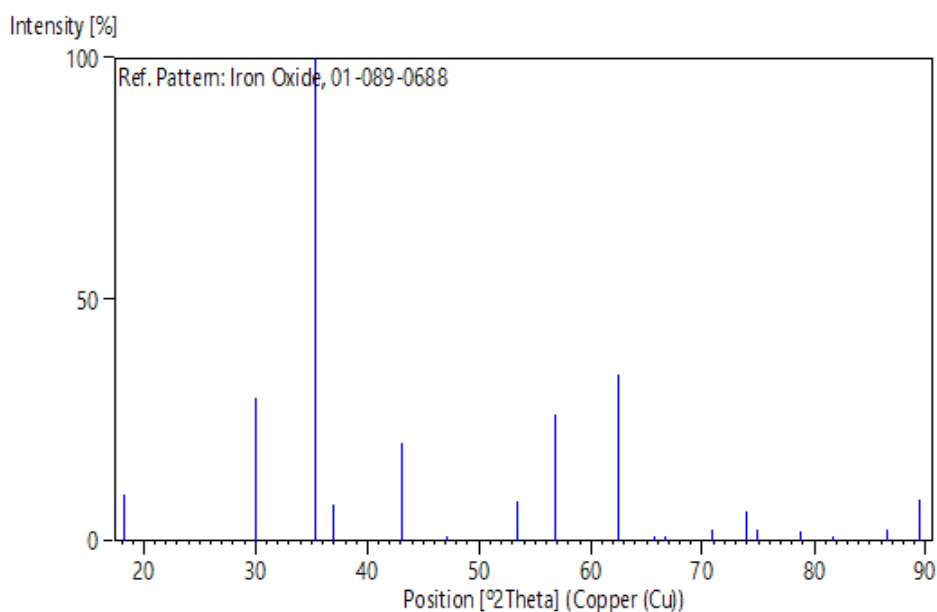
## References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*  
 Structure: Fjellvag, H., Gronvold, F., Stolen, S., Hauback, B., *J. Solid State Chem.*, **124**, 52, (1996)

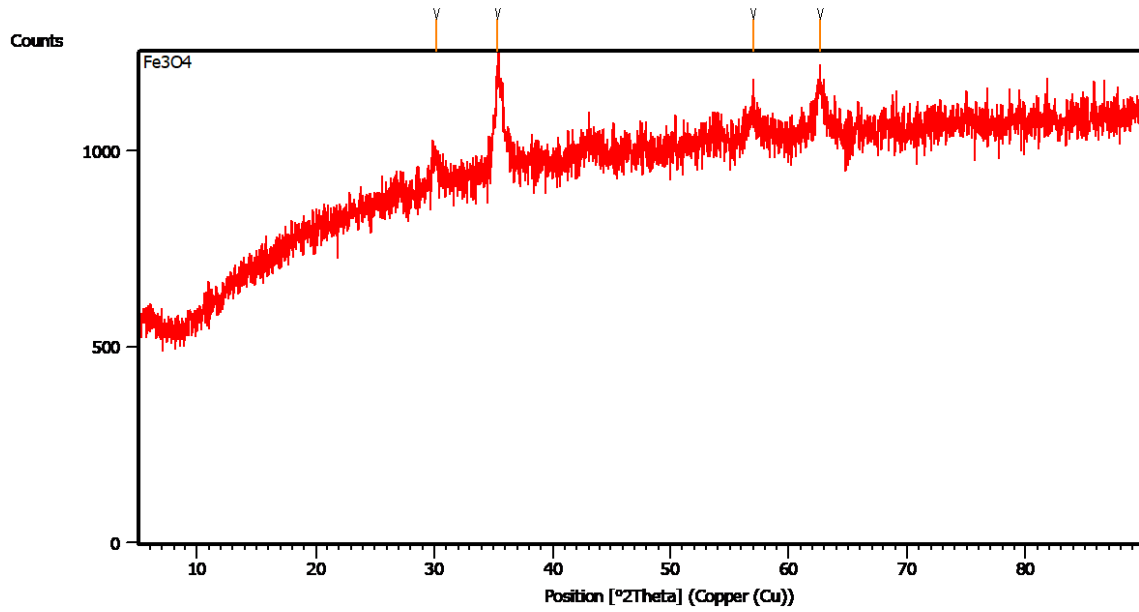
## Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	1	1	4,85234	18,268	9,6
2	2	2	0	2,97144	30,049	29,6
3	3	1	1	2,53405	35,394	100,0
4	2	2	2	2,42617	37,023	7,6
5	4	0	0	2,10113	43,014	20,3
6	3	3	1	1,92812	47,095	0,6
7	4	2	2	1,71556	53,360	8,1
8	5	1	1	1,61745	56,881	26,0
9	4	4	0	1,48572	62,459	34,3
10	5	3	1	1,42062	65,671	0,8
11	4	4	2	1,40075	66,723	0,1
12	6	2	0	1,32887	70,854	2,5
13	5	3	3	1,28167	73,885	6,1
14	6	2	2	1,26703	74,884	2,5
15	4	4	4	1,21309	78,838	2,0
16	5	5	1	1,17687	81,768	0,3
17	6	4	2	1,12310	86,608	2,3
18	7	3	1	1,09417	89,498	8,4

## Stick Pattern

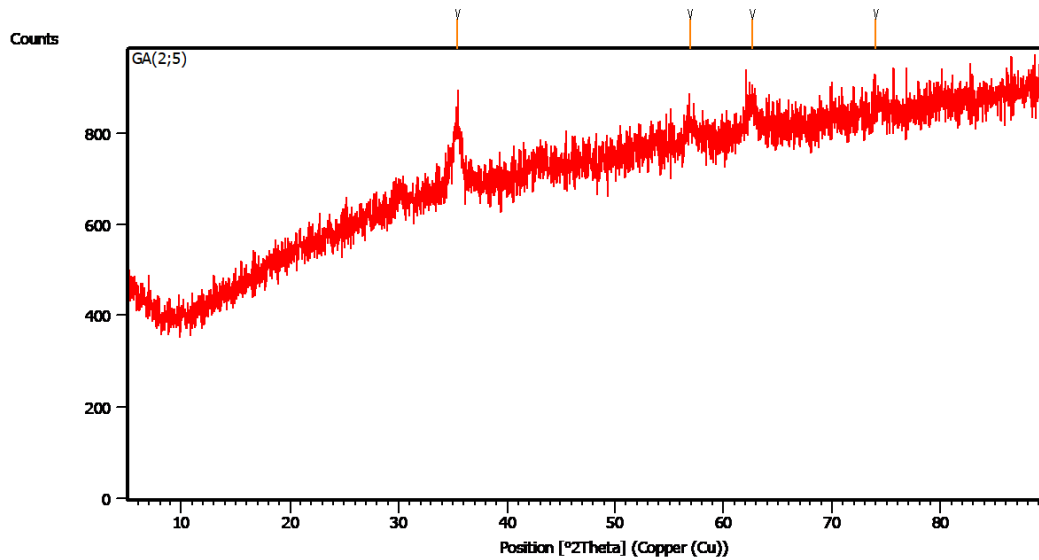


### A. Sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>



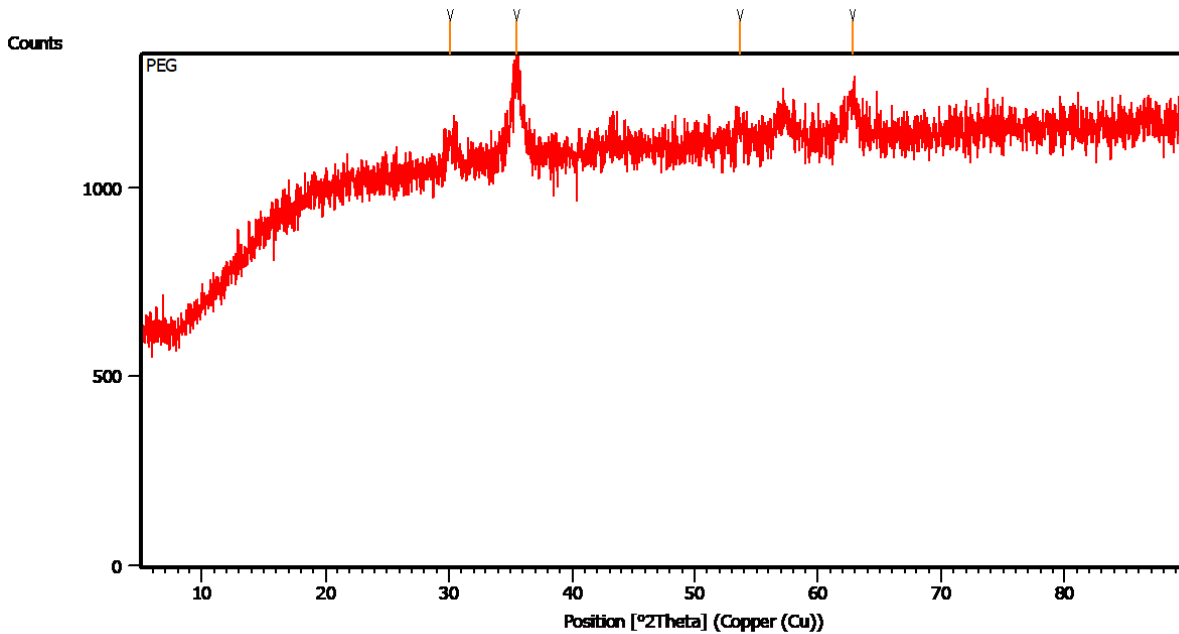
Pos. [ $^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
30.1657	68.82	0.4015	2.96269	29.61
35.3594	232.44	0.2676	2.53852	100.00
56.9566	76.84	0.4015	1.61681	33.06
62.6285	107.99	0.5353	1.48334	46.46

### B. Sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> + Asam glutamat (2:5)



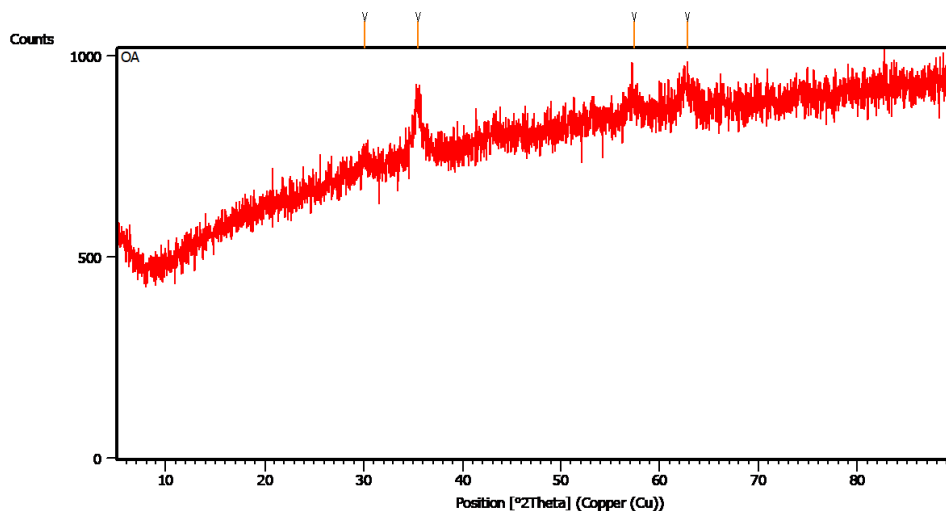
Pos. [ $^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
35.4040	140.26	0.5353	2.53542	100.00
56.9005	36.82	0.8029	1.61827	26.25
62.6703	54.77	0.6691	1.48245	39.05
74.0173	26.82	0.9368	1.28076	19.12

### C. Sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> + Polyethylen Glycol 6000



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
30.1211	70.17	0.6691	2.96697	33.25
35.4959	211.03	0.5353	2.52907	100.00
53.6952	42.32	0.8029	1.70705	20.06
62.7984	84.51	0.5353	1.47973	40.04

### D. Sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> + Asam oleat

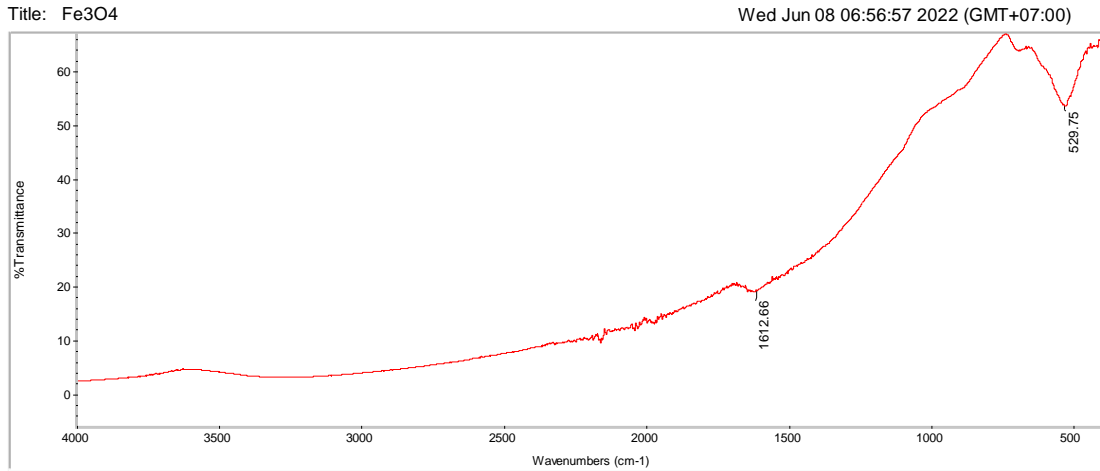


Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
30.1253	34.95	0.8029	2.96657	28.29
35.4669	123.55	0.5353	2.53107	100.00
57.4071	97.26	0.0900	1.60386	78.73
62.8043	106.34	0.0900	1.47838	86.07



## Lampiran 2 : Hasil Pengujian FTIR

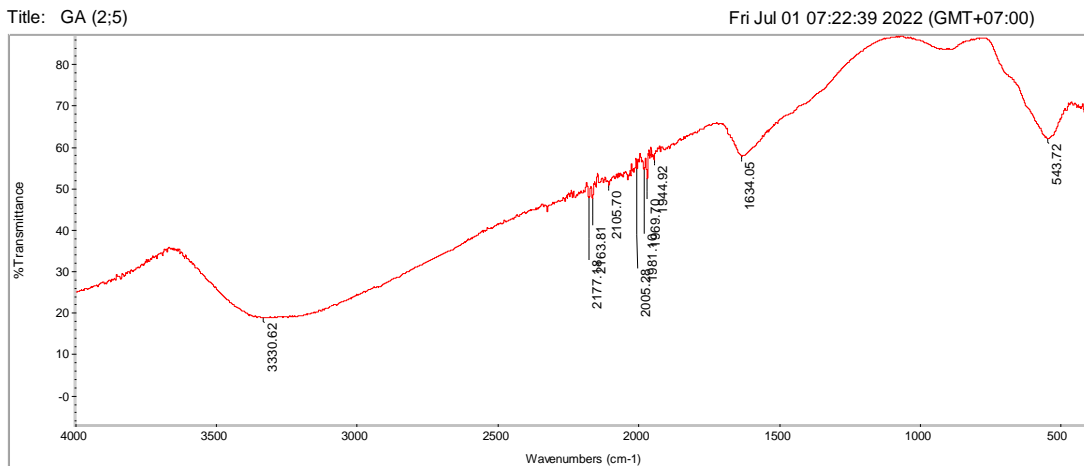
### A. Sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>



Collection time: Wed Jun 08 06:53:44 2022 (GMT+07:00) Spectrum: Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>  
 Wed Jun 08 06:56:41 2022 (GMT+07:00) Region: 3495.26-455.13  
 FIND PEAKS: Search type: Correlation

Position	Intensity	Index	Match	Compound name	Library
529.75	53.437	181	19.91	PHENFORMIN HCL IN KBR	Georgia State Crime Lab Sample Library
		1242	16.42	Dicyandiamide; Cyanoguanidine	HR Hummel Polymer and Additives
		5749	15.72	Dicyandiamide, 99%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
		174	15.29	CHLOROQUINE PO4 IN KBR	Georgia State Crime Lab Sample Library
		18391	14.14	Potassium hexacyanoruthenate(II)	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
		5757	14.12	Butyl isocyanide, 97%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
		19	14.03	LSD TARTRATE IN KBR	Georgia State Crime Lab Sample Library
		13	13.57	D-2-BROMO-LSD IN KBR	Georgia State Crime Lab Sample Library
		5798	12.42	Chloromethyl thiocyanate, 97%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
		17687	11.18	Bromopentacarbonyl bromide, 98%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II

### B. Sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> + Asam glutamat (2:5)



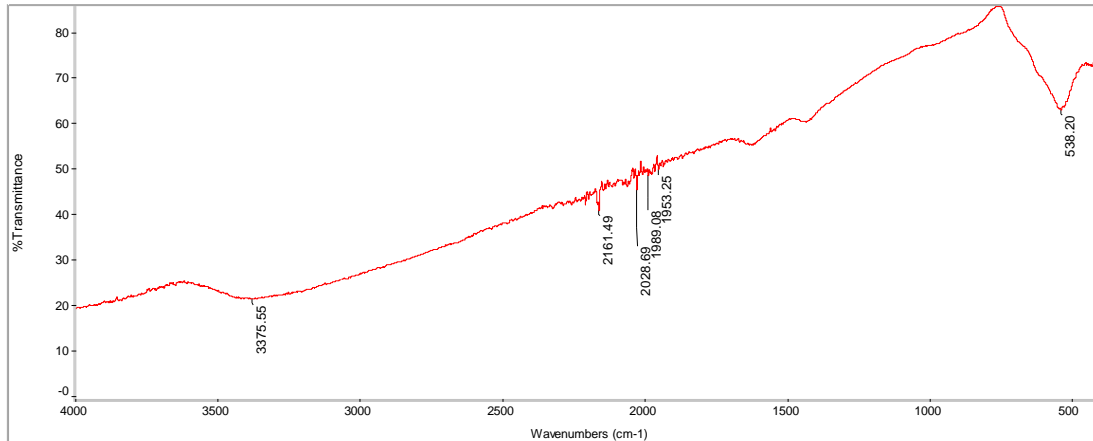
Collection time: Fri Jul 01 07:21:50 2022 (GMT+07:00) Spectrum: GA (2;5)  
 Fri Jul 01 07:22:27 2022 (GMT+07:00) Region: 3495.26-455.13  
 FIND PEAKS: Search type: Correlation

Position	Intensity	Index	Match	Compound name	Library
543.72	61.794	181	34.87	PHENFORMIN HCL IN KBR	Georgia State Crime Lab Sample Library
1634.05	57.513	113	24.05	OPIUM POWDER IN KBR	Georgia State Crime Lab Sample Library
1944.92	56.719	19	23.09	LSD TARTRATE IN KBR	Georgia State Crime Lab Sample Library
1969.70	52.134	18	21.34	ANTIPAIN DIHYDROCHLORIDE	Sigma Biological Sample Library
1981.10	54.312	19	20.81	BUTYRAMIDE	Aldrich Condensed Phase Sample Library
2005.28	54.475	150	19.35	HYDROXYUREA IN KBR	Georgia State Crime Lab Sample Library
2105.70	50.541	28	18.87	STREPTOMYCIN SULFATE	Sigma Biological Sample Library
2163.81	47.382	13	18.30	D-2-BROMO-LSD IN KBR	Georgia State Crime Lab Sample Library
2177.18	47.476	26	17.95	SERA HUMAN POOLED NORMAL	Sigma Biological Sample Library
3330.62	18.465	174	16.73	CHLOROQUINE PO4 IN KBR	Georgia State Crime Lab Sample Library

### C. Sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> + Polyethylene Glycol

Title: PEG

Fri Jul 01 07:11:59 2022 (GMT+07:00)



Collection time: Fri Jul 01 07:08:38 2022 (GMT+07:00)

Fri Jul 01 07:11:47 2022 (GMT+07:00)

FIND PEAKS:

Spectrum: PEG  
Region: 4000.00 400.00  
Absolute threshold: 64.676  
Sensitivity: 50  
Peak list:  
Position: 538.20 Intensity: 62.741  
Position: 1953.25 Intensity: 49.620  
Position: 1989.08 Intensity: 48.271  
Position: 2028.69 Intensity: 45.080  
Position: 2161.49 Intensity: 40.596  
Position: 3375.55 Intensity: 20.979

Spectrum: PEG  
Region: 3495.26-455.13  
Search type: Correlation

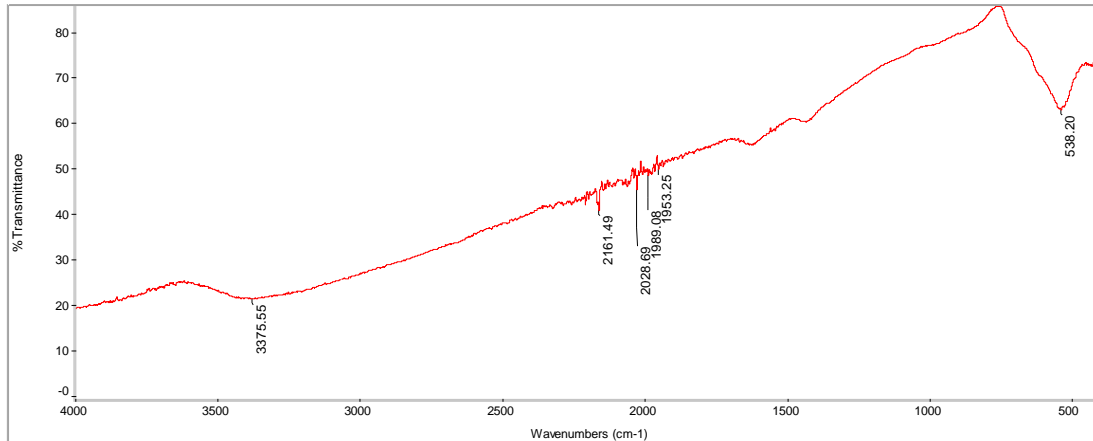
Hit List:

Index	Match	Compound name	Library
5795	18.66	Methyl thiocyanate, 99%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
5798	17.83	Chloromethyl thiocyanate, 97%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
1242	15.68	Dicyandiamide; Cyanoguanidine	HR Hummel Polymer and Additives
174	14.45	CHLOROQUINE PO4 IN KBR	Georgia State Crime Lab Sample Library
109	13.57	SUCROSE IN KBR	Georgia State Crime Lab Sample Library
506	13.53	Pentacyanoamine ferroate, ammonium disodium salt	HR Nicolet Sampler Library
113	12.87	OPIUM POWDER IN KBR	Georgia State Crime Lab Sample Library
109	12.75	DICHLOROMETHANE, 99+%, SPECTROPHOTOMETRIC GRADE	Aldrich Vapor Phase Sample Library
18433	12.17	Ammonium disodium aminopentacyanoferrate(II) hydrate, 90%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
5720	12.08	Ethyl isocyanacetate, 95%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II

### D. Sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> + Asam oleat

Title: PEG

Fri Jul 01 07:11:59 2022 (GMT+07:00)



Collection time: Fri Jul 01 07:08:38 2022 (GMT+07:00)

Fri Jul 01 07:11:47 2022 (GMT+07:00)

FIND PEAKS:

Spectrum: PEG  
Region: 4000.00 400.00  
Absolute threshold: 64.676  
Sensitivity: 50  
Peak list:  
Position: 538.20 Intensity: 62.741  
Position: 1953.25 Intensity: 49.620  
Position: 1989.08 Intensity: 48.271  
Position: 2028.69 Intensity: 45.080  
Position: 2161.49 Intensity: 40.596  
Position: 3375.55 Intensity: 20.979

Spectrum: PEG  
Region: 3495.26-455.13  
Search type: Correlation

Hit List:

Index	Match	Compound name	Library
5795	18.66	Methyl thiocyanate, 99%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
5798	17.83	Chloromethyl thiocyanate, 97%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
1242	15.68	Dicyandiamide; Cyanoguanidine	HR Hummel Polymer and Additives
174	14.45	CHLOROQUINE PO4 IN KBR	Georgia State Crime Lab Sample Library
109	13.57	SUCROSE IN KBR	Georgia State Crime Lab Sample Library
506	13.53	Pentacyanoamine ferroate, ammonium disodium salt	HR Nicolet Sampler Library
113	12.87	OPIUM POWDER IN KBR	Georgia State Crime Lab Sample Library
109	12.75	DICHLOROMETHANE, 99+%, SPECTROPHOTOMETRIC GRADE	Aldrich Vapor Phase Sample Library
18433	12.17	Ammonium disodium aminopentacyanoferrate(II) hydrate, 90%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
5720	12.08	Ethyl isocyanacetate, 95%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II

Lampiran 4 : Surface Tension

A. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

Instrument	K20					
Version	01.23					
Date	08. JUN 2022					
Time	10:46:02					
Id	1					
Method	Ring Method					
Parameters						
Correction	H&J					
Density (g/ml)	0.998					
Stage Speed (%)	25					
Reading limit	5					
St.-Dev. (mN/m)	0.10					
Values for SD.	5					
Acc. of Gravity (m/s <sup>2</sup> )	9.807					
No.	Time	Weight	IFT	Avg.	St.-Dev	Temp.
	s	g	mN/m	mN/m	mN/m	degC
1	73	0,9162	70,1			
2	115	0,9147	70,0			
3	159	0,9139	69,9			
4	202	0,9138	69,9			
5	245	0,9133	69,9	69,9	0,09	
Results						
IFT (mN/m)	69.9					
St.-Dev. (mN/m)	0.09					
Temp. (degC)	--					
End						

**B. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> + GA**

Instrument	K20					
Version	01.23					
Date	08. JUN 2022					
Time	10:52:57					
Id	1					
Method	Ring Method					
Parameters						
Correction	H&J					
Density (g/ml)	0.998					
Stage Speed (%)	25					
Reading limit	5					
St.-Dev. (mN/m)	0.10					
Values for SD.	5					
Acc. of Gravity (m/s <sup>2</sup> )	9.807					
No.	Time	Weight	IFT	Avg.	St.-Dev	Temp.
	s	g	mN/m	mN/m	mN/m	degC
1	73	0,9293	71,2			
2	115	0,9295	71,2			
3	157	0,9292	71,2			
4	199	0,9290	71,2			
5	241	0,9287	71,1	71,2	0,03	
Results						
IFT (mN/m)	71.2					
St.-Dev. (mN/m)	0.03					
Temp. (degC)	-.-					
End						

**Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> + PEG**

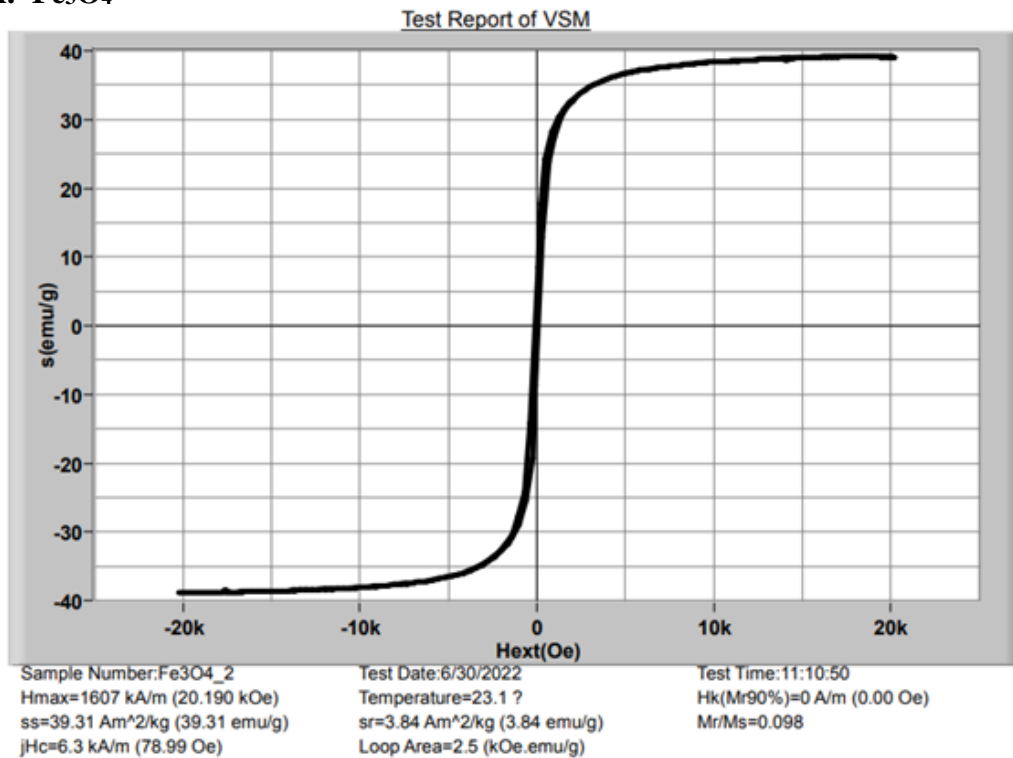
Instrument	K20					
Version	01.23					
Date	08. JUN 2022					
Time	11:21:08					
Id	1					
Method	Ring Method					
Parameters						
Correction	H&J					
Density (g/ml)	0.998					
Stage Speed (%)	25					
Reading limit	5					
St.-Dev. (mN/m)	0.10					
Values for SD.	5					
Acc. of Gravity (m/s <sup>2</sup> )	9.807					
No.	Time	Weight	IFT	Avg.	St.-Dev	Temp.
	s	g	mN/m	mN/m	mN/m	degC
1	72	0,8160	61,9			
2	113	0,8126	61,6			
3	155	0,8089	61,3			
4	197	0,8061	61,1			
5	240	0,8033	60,8	61,3	0,41	
Results						
IFT (mN/m)	61.3					
St.-Dev. (mN/m)	0.41					
Temp. (degC)	~					
End						

C. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> + OA

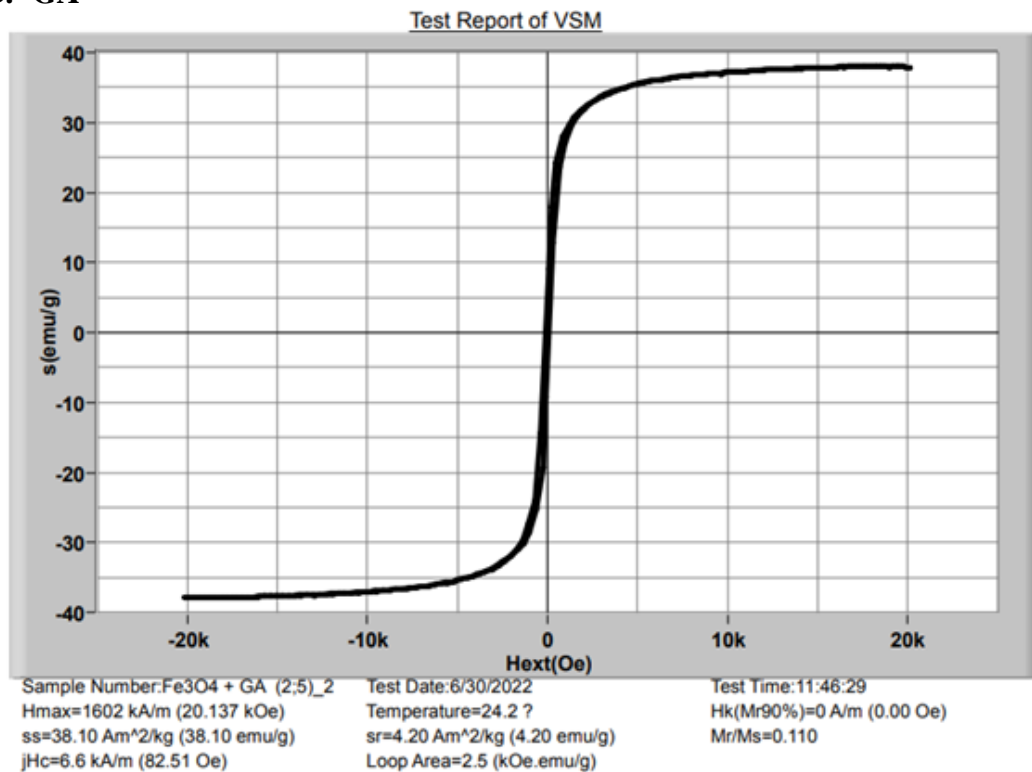
Instrument	K20					
Version	01.23					
Date	08. JUN 2022					
Time	11:14:22					
Id	1					
Method	Ring Method					
Parameters						
Correction	H&J					
Density (g/ml)	0.998					
Stage Speed (%)	25					
Reading limit	5					
St.-Dev. (mN/m)	0.10					
Values for SD.	5					
Acc. of Gravity (m/s <sup>2</sup> )	9.807					
No.	Time	Weight	IFT	Avg.	St.-Dev	Temp.
	s	g	mN/m	mN/m	mN/m	degC
1	72	0,7939	60,1			
2	114	0,7923	59,9			
3	156	0,7911	59,8			
4	198	0,7901	59,7			
5	239	0,7895	59,7	59,9	0.14	
Results						
IFT (mN/m)	59.9					
St.-Dev. (mN/m)	0.14					
Temp. (degC)	--					
End						

Lampiran 8 : Hasil Pengujian VSM

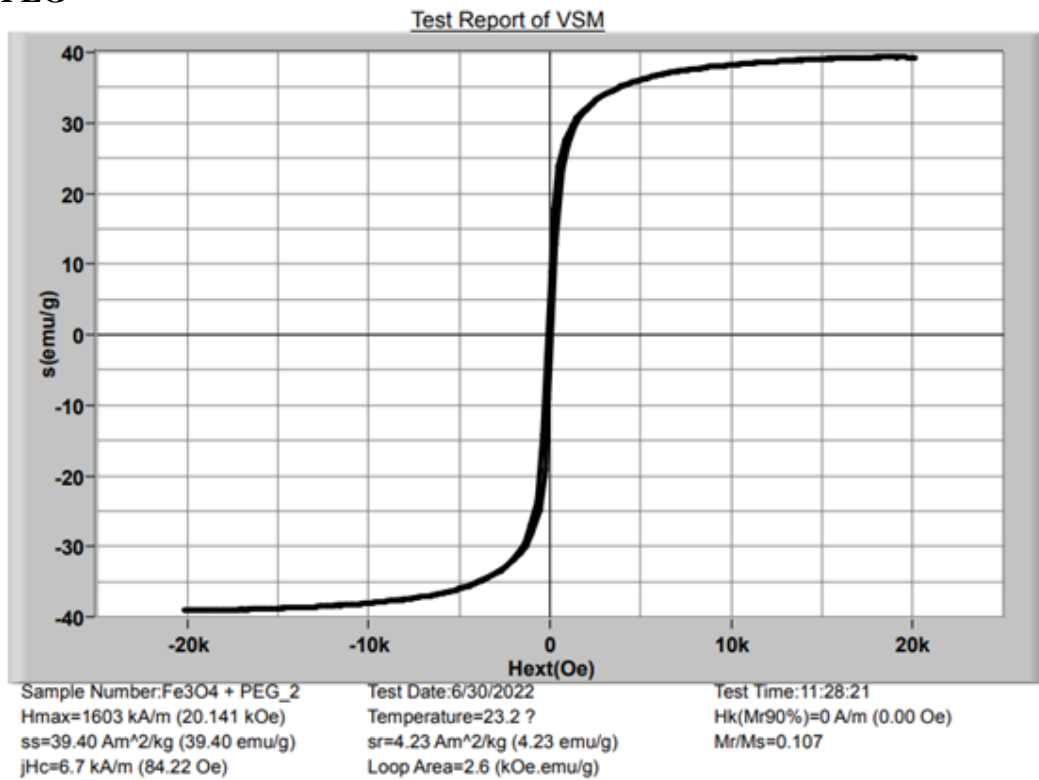
A. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>



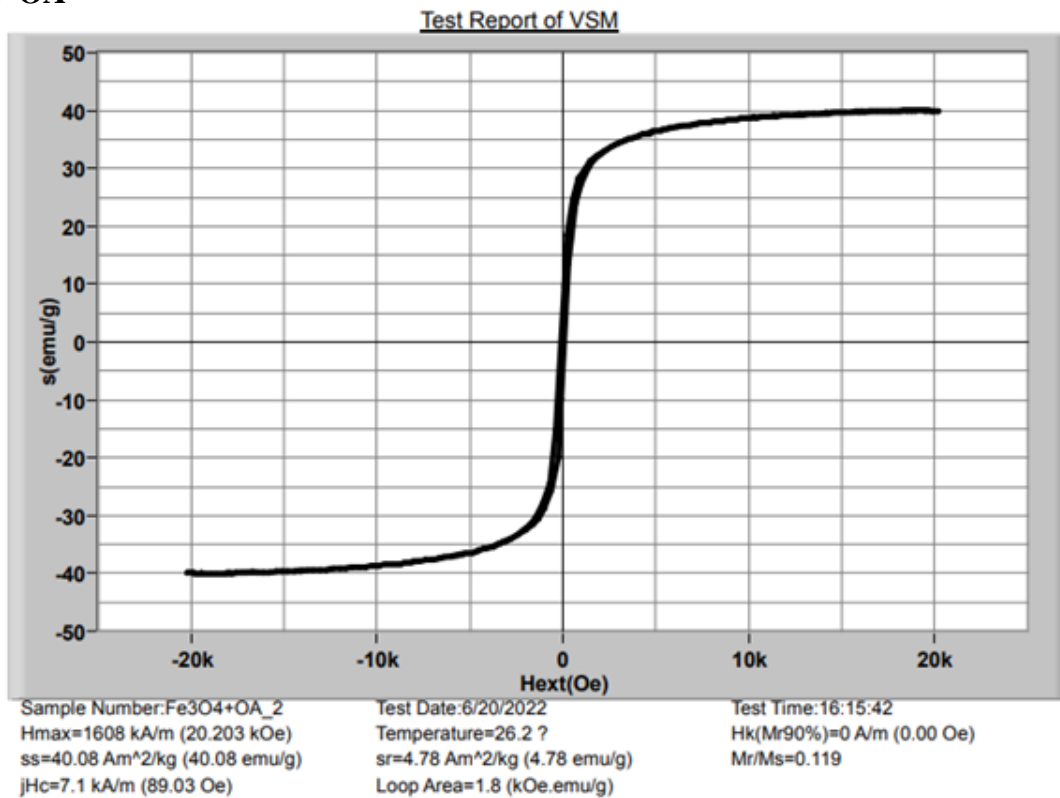
B. GA



### C. PEG

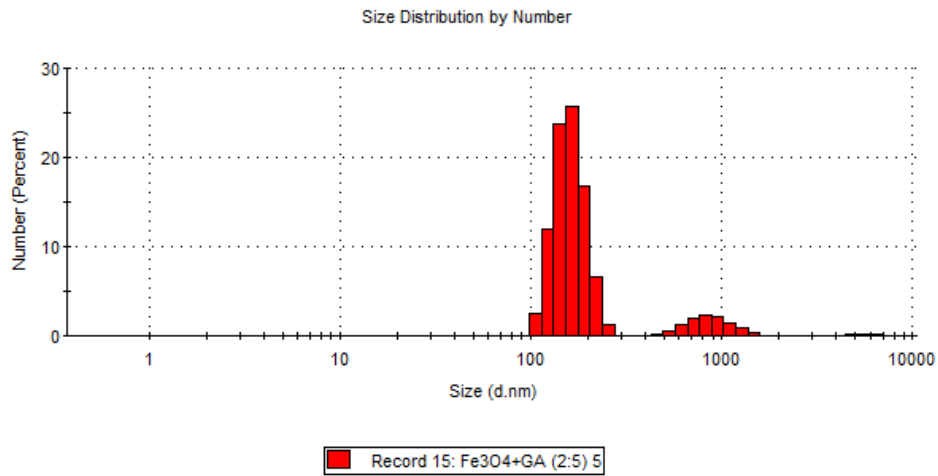


### D. OA

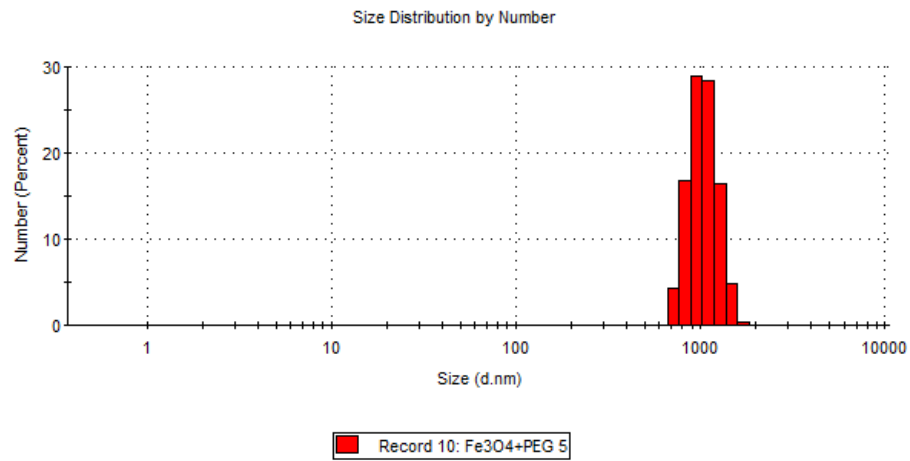




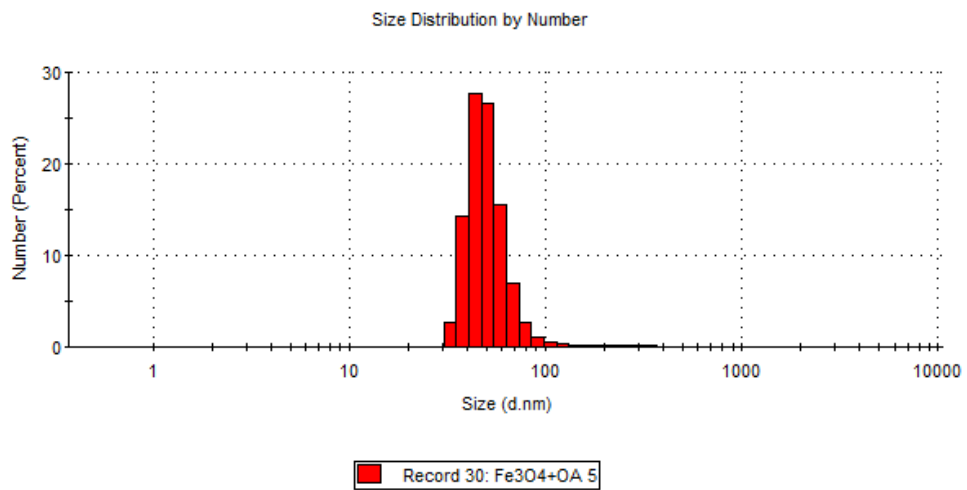
### Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> + Asam glutamat



### Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> + PEG



### Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> + Asam oleat



### Lampiran 8 : Hasil Pengujian Medan Magnet

Hasil pengujian medan magnet perbandingan antara waktu dengan kenaikan temperatur.

$$SAR = C_s \times \frac{\Delta T}{\Delta t} \times \frac{M_{solution}}{M_{nanopartikel}}$$

$C_{air}$  = 4.187  
 $C_{kerosin}$  = 2.01  
 $M_{sol}$  = 5 ml  
 $M_{mnps}$  = 0.882  
 $M_{sol}/ M_{mnps}$  = 5.681818

Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>					
Real Time	Jumlah s	Jumlah (menit)	Temperatur	T/t	SAR
00.00.00	0	0	25.8	0.000000	0.00000
00.03.31	214	3.34	26	0.000935	0.02215
00.05.34	120.1	2.01	26.2	0.001665	0.03946
00.08.10	154	2.34	26.5	0.001948	0.04616
00.12.55	284	4.44	26.8	0.001056	0.02503
00.16.00	180.5	3.05	27.1	0.001662	0.03938
00.18.20	137	2.17	27.2	0.000730	0.01730
00.19.40	42	0.42	27.4	0.004762	0.11284
00.20.18	74	1.14	27.6	0.002703	0.06404
00.21.35	77	1.17	27.7	0.001299	0.03077
00.22.18	41	0.41	27.9	0.004878	0.11559
00.23.29	70	1.1	28.1	0.002857	0.06770
00.24.52	83	1.23	28.4	0.003614	0.08565
00.26.40	107	1.47	28.5	0.000935	0.02215
00.27.20	4	0.4	28.8	0.075000	1.77721
00.29.02	101	1.41	29	0.001980	0.04692
00.29.30	58	0.58	29.3	0.005172	0.12257
rata" SAR					<b>0.15500</b>

<b>GA 2:5</b>					
<b>Full Time</b>	<b>Time</b>	<b>time (s)</b>	<b>Temp</b>	<b>T/t</b>	<b>SAR</b>
00.00.00	00.00.00	0	25.4	0	0
00.00.36	00.00.36	36	25.5	0.002778	0.065822625
00.01.21	00.00.45	45	25.6	0.002222	0.0526581
00.01.42	00.00.21	21	25.8	0.009524	0.225677573
00.02.35	00.00.53	53	26	0.003774	0.089419416
00.03.30	00.00.55	55	26.3	0.005455	0.129251701
00.04.42	00.01.12	72	26.6	0.004167	0.098733938
00.05.45	00.01.03	63	26.8	0.003175	0.075225858
00.06.33	00.00.48	48	27	0.004167	0.098733938
00.07.12	00.00.39	39	27.1	0.002564	0.060759346
00.07.35	00.00.23	23	27.4	0.013043	0.309080154
00.09.10	00.01.35	95	27.6	0.002105	0.049886621
00.10.14	00.01.14	74	27.8	0.002703	0.064043635
00.11.01	00.00.47	47	28	0.004255	0.10083466
00.12.14	00.01.13	73	28.3	0.00411	0.097381418
00.14.05	00.01.51	111	28.4	0.000901	0.021347878
00.15.00	00.00.55	55	28.6	0.003636	0.0861678
00.16.35	00.01.35	95	29	0.004211	0.099773243
00.19.52	00.03.17	197	29.3	0.001523	0.0360855
00.22.57	00.03.05	185	29.6	0.001622	0.038426181
00.26.17	00.03.20	200	30	0.002	0.04739229
00.29.27	00.03.10	190	30.1	0.000526	0.012471655
00.30.15	00.00.48	48	30.3	0.004167	0.098733938
<b>Rata-Rata SAR</b>					<b>0.0851264</b>

LAPORAN TUGAS AKHIR  
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



<b>PEG</b>					
<b>Time</b>	<b>Time</b>	<b>Time (s)</b>	<b>Temp</b>	<b>T/t</b>	<b>SAR</b>
00.00.00	00.00.00	0	26	0	0
00.00.16	00.00.16	16	26.2	0.0125	0.2962
00.01.00	00.00.44	44	26.5	0.00682	0.16156
00.01.52	00.00.52	52	26.7	0.00385	0.09114
00.02.32	00.00.30	30	26.9	0.00667	0.15797
00.03.01	00.00.29	29	27.1	0.0069	0.16342
00.03.34	00.00.33	33	27.2	0.00303	0.07181
00.03.59	00.00.25	25	27.5	0.012	0.28435
00.04.57	00.00.58	58	27.8	0.00517	0.12257
00.05.56	00.00.59	59	28.1	0.00508	0.12049
00.07.01	00.01.05	65	28.4	0.00462	0.10937
00.08.14	00.01.13	73	28.6	0.00274	0.06492
00.08.57	00.00.43	43	28.8	0.00465	0.11021
00.09.39	00.00.42	42	29	0.00476	0.11284
00.10.28	00.00.49	49	29.2	0.00408	0.09672
00.11.26	00.00.58	58	29.3	0.00172	0.04086
00.11.58	00.00.32	32	29.5	0.00625	0.1481
00.13.00	00.01.02	62	29.6	0.00161	0.03822
00.13.30	00.00.30	30	29.8	0.00667	0.15797
00.14.02	00.00.31	31	29.9	0.00323	0.07644
00.14.46	00.00.44	44	30	0.00227	0.05385
00.15.14	00.00.28	28	30.1	0.00357	0.08463
00.16.04	00.00.50	50	30.4	0.006	0.14218
00.17.51	00.01.47	107	30.5	0.00093	0.02215
00.18.34	00.00.43	43	30.6	0.00233	0.05511
00.19.16	00.00.42	42	30.8	0.00476	0.11284
00.20.20	00.01.04	64	31	0.00312	0.07405
00.21.56	00.01.36	96	31.1	0.00104	0.02468
00.22.56	00.01.00	60	31.3	0.00333	0.07899
00.24.22	00.01.26	86	31.4	0.00116	0.02755
00.25.44	00.01.22	82	31.5	0.00122	0.0289
00.26.34	00.00.50	50	31.6	0.002	0.04739
00.27.43	00.01.09	69	31.8	0.0029	0.06868
00.29.17	00.01.34	94	31.9	0.00106	0.02521
00.30.00	00.00.43	43	31.9	0	0
Rata-Rata SAR					0.09347

OA					
Full Time	Time	Time (s)	Temp	T/t	SAR
00.00.00	00.00.00	0	25.8	0	0
00.00.21	00.00.21	21	26	0.00952	0.10852
00.00.53	00.00.32	32	26.2	0.00625	0.07122
00.01.20	00.00.27	27	26.4	0.00741	0.0844
00.01.49	00.00.29	29	26.6	0.0069	0.07858
00.02.13	00.00.24	24	26.8	0.00833	0.09495
00.02.20	00.00.07	7	27	0.02857	0.32556
00.03.03	00.00.43	43	27.2	0.00465	0.053
00.03.30	00.00.27	27	27.4	0.00741	0.0844
00.04.02	00.00.31	31	27.5	0.00323	0.03676
00.04.20	00.00.18	18	27.6	0.00556	0.0633
00.04.37	00.00.17	17	27.8	0.01176	0.13405
00.05.02	00.00.25	25	27.9	0.004	0.04558
00.05.14	00.00.12	12	28	0.00833	0.09495
00.05.30	00.00.16	16	28.2	0.0125	0.14243
00.06.03	00.00.33	33	28.3	0.00303	0.03453
00.06.22	00.00.19	19	28.4	0.00526	0.05997
00.06.39	00.00.17	17	28.6	0.01176	0.13405
00.07.19	00.00.40	40	28.7	0.0025	0.02849
00.07.41	00.00.22	22	28.9	0.00909	0.10359
00.08.11	00.00.30	30	29	0.00333	0.03798
00.08.32	00.00.21	21	29.1	0.00476	0.05426
00.08.58	00.00.26	26	29.3	0.00769	0.08765
00.09.46	00.00.48	48	29.4	0.00208	0.02374
00.10.21	00.00.35	35	29.5	0.00286	0.03256
00.10.49	00.00.28	28	29.7	0.00714	0.08139
00.11.48	00.01.01	61	29.9	0.00328	0.03736
00.12.42	00.00.54	54	30	0.00185	0.0211
00.13.17	00.00.35	35	30.1	0.00286	0.03256
00.14.09	00.00.52	52	30.3	0.00385	0.04383
00.15.39	00.01.20	80	30.4	0.00125	0.01424
00.16.43	00.01.04	64	30.6	0.00313	0.03561
00.18.55	00.02.12	132	30.7	0.00076	0.00863
00.19.47	00.00.52	52	30.8	0.00192	0.02191
00.20.43	00.00.56	56	30.9	0.00179	0.02035
00.21.59	00.01.16	76	31.1	0.00263	0.02999
00.25.21	00.03.21	201	31.2	0.0005	0.00567
00.27.30	00.01.11	71	31.3	0.00141	0.01605
Rata-Rata SAR					<b>0.06272</b>



### UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pengerjaan laporan penelitian tugas akhir ini, penulis mendapat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dan membantu, diantaranya:

1. Kedua orang tua penulis yaitu Bapak Sumarno dan Ibu Muniroh dan Lintang Dian Abimanyu selaku adik yang selalu memberikan dukungan mental, material, dan doa kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
2. Ibu Hariyati Purwaningsih, S.Si.,M.Si dan Ibu Rindang Fajarin, S.Si.,M.Si selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
3. Seluruh Dosen dan Tendik Departemen Teknik Material dan Metalurgi yang memfasilitasi Pendidikan selama kuliah.
4. Putri Safa Ailsa selaku partner Tugas Akhir yang selalu membantu, menemani, dan memberi *support* dari awal keberjalanan penelitian hingga saat ini.
5. CMC Gen 1 (Intan, Dindra, Fransisca, Erika, dan Lehon) selaku 5 warga Surabaya + 1 Bogor yang selalu menemani jalan perkuliahan dari maba hingga laporan ini dibuat.
6. Rifaul, Lehon, Marel, Safa, Shofi, Elsa, dan Krisna yang selalu sabar untuk *running* bersama di Laboratorium kimia material.
7. T-Rex (Dihar, Rizma, Gemma, dan Baity) selaku teman hidup selama 3 tahun di SMA 1 Surabaya dan mengantarkan hingga masuk ITS, meskipun sekarang bertemu ketika momen bukber puasa.
8. Member foresthree (Arga, Aul, Lehon, Okta) yang selalu mengerjakan tugas dari kerja praktik hingga pembuatan tugas akhir di Foresthree.
9. Nadhifha Aprilia Z. selaku teman kecil satu-satunya yang penulis punya sejak SD hingga sekarang, senantiasa memberi *support* penulis dari awal hingga akhir.
10. Seluruh MT20 yang menemani dari maba hingga tahun akhir

Penulis tidak dapat mengungkapkan kata-kata selain terima kasih juga mohon maaf sebesar-besarnya atas kesalahan, kekurangan, dan kekhilafan selama hidup. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat khususnya di bidang penelitian material.





### BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Chrisna Juli Astuti. Lahir di Surabaya pada tanggal 05 Juli 2000. Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara Bertempat tinggal dan tumbuh besar di Surabaya, Jawa Timur. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SDN Tanah Kali Kedinding VII Surabaya pada tahun 2006-2012. SMPN 31 Surabaya pada tahun 2012-2015. SMA Negeri 1 Surabaya pada tahun 2015. Pada tahun 2018, penuli melanjutkan studi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama berkuliah, penulis pernah aktif dalam berbagai kegiatan organisasi, seperti menjadi Staff Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM HMMT FTI-ITS) pada tahun 2019-2020, Sekretaris ASRD HMMT FTIRS ITS pada tahun 2020-2021, serta aktif dalam kegiatan Silver Parade sebagai Koordinator Acara pada tahun 2021. Penulis juga berpartisipasi dalam program Studi Independen Kampus Merdeka di PT. Paragon Technology and Innovation selama 5 bulan, dan menjadi anggota kelompok PKM-Re terdani pada tahun 2021. Penulis dapat dihubungi melalui alamat surel [chrisnajuli.cj@gmail.com](mailto:chrisnajuli.cj@gmail.com)

LAPORAN TUGAS AKHIR  
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

---

