

20945/07



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

RSRi  
538.44

Mer  
p-1  
2007

**TUGAS AKHIR - SF 1380**

**PREPARASI FLUIDA MAGNET BERBASIS FERIT  
DENGAN DOPING Ni DAN Zn**

**YULIAN MERDIANA**  
NRP 1102 100 034

Dosen Pembimbing  
**Dr. Darminto, M.Sc**

**JURUSAN FISIKA**

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2007

<b>PERPUSTAKAAN ITS</b>	
<b>Tgl. Terima</b>	28 - 2 - 2007
<b>Terima Dari</b>	H
<b>No. Agenda Prp.</b>	227406



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - SF 1380**

## **PREPARATION OF FERRITES-BASED MAGNETIC FLUID WITH Ni AND Zn DOPING**

**YULIAN MERDIANA**  
**NRP 1102 100 034**

**Advisor**  
**Dr.Darminto, M.Sc**

**DEPARTMENT OF PHYSICS**  
**Fakulty of Mathematics and Natural Science**  
**Sepuluh Nopember Institute of Technology**  
**Surabaya 2007**

## LEMBAR PENGESAHAN

### **PREPARASI FLUIDA MAGNET BERBASIS FERIT DENGAN DOPING Ni DAN Zn**

### **TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
Pada  
Bidang Studi Bahan  
Program Studi Strata Satu Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**YULIAN MERDIANA  
Nrp. 1102 100 034**

**Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :**

**Dr. Darminto, M.Sc**



..... (Pembimbing)

**SURABAYA  
Februari, 2007**

## PREPARASI FLUIDA MAGNET BERBASIS FERIT DENGAN DOPING Ni DAN Zn

Nama : Yulian Merdiana  
NRP : 1102 100 034  
Jurusan : Fisika FMIPA-ITS  
Dosen Pembimbing : Dr.Darminto.M,Sc

### Abstrak

Ferit nanopartikel  $MO.Fe_2O_4$  dengan  $M = Fe, Ni, Zn$ , dipersiapkan untuk pembuatan ferrofluida dengan metode ko-presipitasi. Ferrofluida merupakan bahan magnet cair koloid yang terdiri dari partikel-partikel magnetik yang berukuran nano yang dilapisi oleh surfaktan. Karakterisasi bahan dilakukan dengan pengujian VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*), dan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Dianalisis pengaruh doping yang diberikan dan surfaktan yang digunakan terhadap sifat magnetik ferrofluida. Ferrofluida dengan  $M = Fe$  mempunyai sifat kemagnetan paling tinggi dengan nilai  $M_s = 52,851$  emu/gram,  $M_r = 15,279$  emu/gram dan  $H_c = 0,0410$  tesla. Penggunaan surfaktan tetrametil-amonium-hidroksida menghasilkan ferrofluida yang lebih kuat dibandingkan dengan penggunaan surfaktan asam oleik-cis.

Kata kunci: ferit, ferrofluida, ko-presipitasi, surfaktan

## PREPARATION OF FERRITES-BASED MAGNETIC FLUID WITH Ni AND Zn DOPING

Name : Yulian Merdiana  
NRP : 1102 100 034  
Department : Fisika FMIPA-ITS  
Advisor : Dr.Darminto.M,Sc

### Abstract

$MO.Fe_2O_4$  with  $M = Fe, Ni,$  and  $Zn$  ferrites nanoparticles for the preparation of ferrofluids have been synthesized by chemical co-precipitation method. Ferrofluids are colloidal suspensions of magnetic nanoparticles with surfactants used to avoid the nanoparticles from agglomeration. Characterizations using *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) and *Scanning Electron Microscope* (SEM) have been utilized. Magnetic properties of ferrofluids with different surfactants and doping effect are discussed. The ferrofluids which  $M = Fe$  has the highest magnetic properties with  $M_s = 52,851$  emu/g,  $M_r = 15,279$  emu/g dan  $H_c = 0,0410$  tesla. Ferrofluids with of tetrametyl amonium hydroxide surfactants generally have stronger magnetic responses than those with oleic-cis acid.

Keywords: ferrite, ferrofluids, co-precipitation, surfactant

## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan segala puji bagi Allah SWT, atas segala karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul :

### **“Preparasi Fluida Magnet Berbasis Ferit dengan Doping Ni dan Zn”**

Penyusunan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka menerapkan ilmu yang telah diperoleh. Dengan selesainya Tugas Akhir ini, maka penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak yang membantu:

1. Bapak Dr. Rer-nat. Triwikantoro selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA-ITS.
2. Bapak Dr. Darminto, M. Sc yang telah meluangkan waktu dan pikiran dalam membimbing penulis dengan sabar sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
3. Bapak Drs. Gatut Yudhoyono. MT selaku Dosen Wali dan seluruh dosen dan staf Jurusan Fisika.
4. Kedua Orang Tua, Bapak dan Ibu yang paling Ananda cintai atas segala kasih sayang, doa, dukungan serta kesabarannya. (*You're everything I've ever got in my life*)
5. Saudara-saudaraku angkatan 2002 Fisika dan untuk teman-temanku satu kos yang menjadi keluarga kedua bagi penulis selama menjalani kuliah, terima kasih atas dukungannya.

Penulis menyadari Tugas Akhir ini tidaklah sempurna, untuk itu diharapkan kritik dan saran agar lebih baik lagi di masa yang akan datang. Akhir kata penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat berguna dan memberikan tambahan pengetahuan bagi penulis sendiri maupun bagi para pembaca.

Terima Kasih.

Surabaya, 2007

Penulis

## DAFTAR ISI

Bab	Halaman
Halaman Judul .....	i
Lembar Pengesahan .....	v
Abstrak .....	vii
Kata Pengantar .....	xi
Daftar Isi .....	xiii
Daftar Gambar .....	xv
Daftar Tabel .....	xvii
<b>Bab I Pendahuluan .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Sistematika Penelitian.....	2
<b>Bab II Tinjauan Pustaka .....</b>	<b>3</b>
2.1 Ferofluida .....	3
2.2 Larutan Surfaktan .....	4
2.3 Metode Pengendapan atau Ko-presipitasi.....	7
2.4 Aplikasi Ferofluida.....	7
2.4.1 Speaker Audio .....	9
2.4.2 Peredam Getaran Mutakhir dari <i>Cadillac</i> .....	10
2.5 Sifat Magnetik .....	12
<b>Bab III Metodologi Penelitian .....</b>	<b>17</b>
3.1 Bahan dan Larutan .....	17
3.2 Peralatan .....	17
3.3 Preparasi Bahan .....	17
3.4 Prosedur Kerja .....	20
3.4.1 Sintesis Bahan.....	23
3.4.2 Pengukuran dengan VSM.....	24

<b>Bab IV Analisis Data dan Pembahasan .....</b>	<b>27</b>
4.1 Konsentrasi Ferofluida .....	27
4.2 Analisis VSM .....	29
4.3 Analisis SEM.....	37
<b>Bab V Kesimpulan dan Saran .....</b>	<b>39</b>
5.1 Kesimpulan .....	39
5.2 Saran .....	39
<b>Daftar Pustaka .....</b>	<b>41</b>
<b>Lampiran.....</b>	<b>-1-</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>		<b>Halaman</b>
Gambar 2.1	Ferofluida yang Dikenai Medan Magnet Kuat .....	4
Gambar 2.2	Senyawa Ionik Tetrametil-amonium-hidroksida Sebagai Surfaktan.....	5
Gambar 2.3	Susunan Rantai Hidrokarbon dari Asam oleik-cis .....	6
Gambar 2.4	Susunan Partikel Magnetik yang Dikelilingi Molekul Asam oleik-cis dalam Minyak Sebagai Medium .....	6
Gambar 2.5	Ilustrasi Ferofluida Secara Skematik .....	8
Gambar 2.6	Penggunaan Ferofluida pada <i>Audio Speaker</i> .....	9
Gambar 2.7	Struktur Ferofluida yang Terdapat Di sekitar <i>voice coil</i> pada <i>Audio Speaker</i> .....	10
Gambar 2.8	Shock Absorbers pada Kendaraan Bermotor .....	11
Gambar 2.9	Kurva <i>Loop Histeresis</i> .....	13
Gambar 2.10	Kurva Magnetisasi B-H pada Bahan Feromagnetik .....	14
Gambar 3.1	(a) Pengaduk Magnetik ( <i>Stirrer Magnetic</i> ) .....	19
	(b) Ruang asam .....	19
Gambar 3.2	Diagram Alir Skema Kerja dari Penelitian .....	22
Gambar 3.3	Ilustrasi Proses Pengadukan dengan Pengaduk Magnetik .....	23
Gambar 3.4	Seperangkat Peralatan VSM Tipe <i>Oxford VSM 1.2 H</i> .....	24
Gambar 4.1	Sensitifitas Ferofluida Terhadap Medan Magnet .....	28

Gambar 4.2	Grafik Kurva Histeresis Ferrofluida $\text{Fe}_3\text{O}_4$ dan Doping Ni-Zn dengan Larutan Surfaktan Asam oleik-cis.....	29
Gambar 4.3	Grafik Kurva Histeresis Ferrofluida $\text{Fe}_3\text{O}_4$ dan Doping Ni-Zn dengan Larutan Surfaktan Tetrametil-amonium-hidroksida.....	30
Gambar 4.4	Grafik Kurva Histeresis Serbuk Ferit $\text{Fe}_3\text{O}_4$ dan Doping Ni-Zn .....	30
Gambar 4.5	Grafik Kurva Histeresis Ferrofluida $\text{Fe}_3\text{O}_4$ dengan Variasi Surfaktan yang Berbeda (Asam Oleik-cis dan Tetrametil-amonium-hidroksida) .....	34
Gambar 4.6	Grafik Kurva Histeresis Ferrofluida $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ dengan Variasi Surfaktan yang Berbeda (Asam Oleik-cis dan Tetrametil-amonium-hidroksida) .....	34
Gambar 4.7	Grafik Kurva Histeresis Ferrofluida $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$ dengan Variasi Surfaktan yang Berbeda (Asam Oleik-cis dan Tetrametil-amonium-hidroksida) .....	35
Gambar 4.8	Grafik Kurva Histeresis Ferrofluida $\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ dengan Variasi Surfaktan yang Berbeda (Asam Oleik-cis dan Tetrametil-amonium-hidroksida).....	35
Gambar 4.9	Hasil Foto SEM Pelapisan Ferrofluida pada Polipropilen (Surfaktan Asam oleik-cis).....	37
Gambar 4.10	Hasil Foto SEM Pelapisan Ferrofluida pada Polipropilen (Surfaktan Tetrametil-amonium-hidroksida).....	38

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>		<b>Halaman</b>
Tabel 2.1	Distribusi Ion dan Momen Standar per Molekul .....	15
Tabel 3.1	Komposisi Bahan Paduan.....	18
Tabel 4.1	Hasil Pengukuran Endapan Ferit per volume Surfaktan .....	27
Tabel 4.2	Hasil Magnetisasi Ferrofluida pada Setiap Doping yang Diberikan .....	33

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Teknologi nano mempunyai jangkauan kajian yang luas dan interdisipliner dalam penelitian dan pengembangan yang sangat cepat pada beberapa tahun terakhir. Teknologi ini bukan hanya memungkinkan para peneliti untuk memahami hubungan antara sifat-sifat makroskopik dan struktur molekul, bahkan berkembang di bidang bioteknologi yang berhubungan dengan bidang biologi terutama tanaman dan hewan (H.C Warad dan J. Dutta, 2004). Namun dalam beberapa tahun ini salah satu yang menarik dibicarakan adalah pembentukan ferit nanokristalin. Ferit merupakan bahan magnetik yang mempunyai sifat kemagnetan yang dapat dikendalikan melalui doping dan mempunyai sifat yang keras, rapuh, tahan terhadap panas dan zat kimia, serta mempunyai hambatan jenis listrik yang tinggi (Costa, 2003).

Dalam aplikasinya ferit dapat digunakan secara luas, termasuk penggunaan yang mutakhir sebagai bahan pembuatan fluida magnet. Fluida magnet atau lebih populer disebut ferrofluida adalah larutan koloid stabil yang terdiri dari ferit yang mempunyai ukuran partikel nano ( $\sim 10$  nm) yang dilapisi oleh larutan surfaktan untuk mencegah terjadinya aglomerasi atau penggumpalan antar partikel magnetik akibat gaya Van der Waals dan gaya magnet (Rosensweig, R 1985). Penelitian mengenai fluida magnet sangat menarik, karena jenis fluida ini mempunyai kekuatan magnetik yang tidak seragam dan membuka peluang dalam perancangan aplikasi baru yaitu sebagai pendingin dengan daya tinggi pada trafo listrik yang secara magnetis dikendalikan oleh *thermosyphon* (Arulmurugan, R dkk, 2006). Dengan kekuatan medan magnet yang dikombinasi dengan viskositas (kekentalan) cairan yang dimilikinya, fluida magnet juga dapat digunakan sebagai penutup, pengatur dan separasi darah. Dalam pembuatan fluida magnet dan partikel magnetik yang baik

digunakan metode ko-presipitasi atau pengendapan dengan menggunakan perbandingan stoikiometri. Pada penelitian ini akan dipelajari lebih lanjut mengenai sintesis dan karakteristik fluida magnet berbasis ferit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) serta perubahan sifat kemagnetannya akibat doping yang diberikan.

## 1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sintesis ferit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan  $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanokristalin (dengan variasi  $x = 0 ; 0,5 ; 1$ ) dengan metode ko-presipitasi yang dipersiapkan untuk pembuatan ferrofluida dan karakterisasi sifat magnetnya.

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini berbahan dasar Fe (besi) dengan kemurnian 99,5% , Ni (nikel) 99,9% , dan Zn (seng) 99,9%.
2. Metode yang digunakan dalam preparasi fluida magnet adalah dengan metode ko-presipitasi.
3. Larutan surfaktan yang digunakan 2 jenis, yaitu asam oleik-cis dan tetrametil-amonium-hidroksida.

## 1.4 Sistematika Penelitian

Penulisan laporan ini terdiri atas : Bab I merupakan pendahuluan yang berisi latar belakang, tujuan penelitian, permasalahan, dan sistematika penulisan. Bab II berisi tinjauan pustaka merupakan studi literatur yang dapat digunakan sebagai bahan acuan dalam pelaksanaan penelitian. Bab III memaparkan metodologi penelitian mengenai preparasi bahan, perlakuan pada bahan serta karakterisasi bahan. Bab IV berisi tampilan data dan pembahasan. Bab V menyajikan kesimpulan dan saran yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

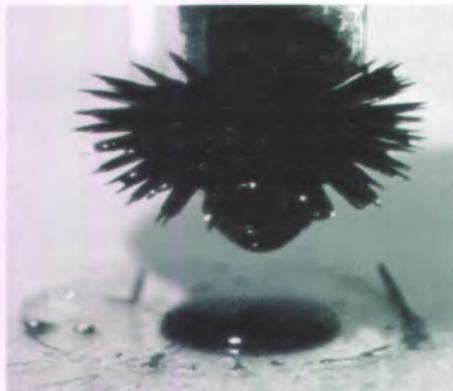
### 2.1 Ferrofluida

Fluida magnet adalah larutan koloid dari partikel magnetik stabil berukuran nano. Nanopartikel dilapisi dengan surfaktan bertujuan untuk mencegah aglomerasi atau penggumpalan akibat kuatnya ikatan Van der Waals antar partikel (Rosensweig, 1985). Fluida magnet yang terpengaruh medan magnet luar memungkinkan penempatan larutan yang lebih terkendali berdasarkan penggunaan sebuah medan magnet. Ferit nanopartikel  $Fe_3O_4$  dapat dibuat dengan menggabungkan Fe (II) dan Fe (III) dalam bahan pelarut. Setiap partikel dijaga pada ukuran kecil dan saling terpisah (tidak terjadi aglomerasi). Larutan surfaktan digunakan untuk mencegah penggumpalan antar partikel berukuran nano. Fluida magnet yang berbasis ferit dinamakan ferrofluida (J. Breitzer dan G.Lisensky, 1999). Ferrofluida juga mempunyai aplikasi yang bervariasi, yaitu sebagai penyegel dan separasi darah. Selain itu ferrofluida juga digunakan sebagai komponen mekanik pada miniatur pendingin, pompa dan chip gabungan sistem-analisis-total-mikro ( $\mu$ -TAS) dalam biologi dan kimia (Park G S, 1999).

Fluida magnet berbasis besi (Fe) yang populer disebut *ferrofluid* merupakan jenis material yang unik. Ferrofluida juga larutan koloid yang stabil dengan sub-domain magnetik nano partikel dalam cairan pembawa. Ukuran partikel dari ferrofluida ini kira-kira  $100\text{\AA}$  atau sekitar  $\sim 10$  nm, yang terlapis dengan larutan pendispersi dan penstabilisasi yaitu surfaktan berfungsi untuk mencegah adanya aglomerasi ketika dikenai medan magnet yang sangat kuat. Gambar 2.1 menunjukkan ferrofluida yang dikenai medan magnet yang cukup kuat, sehingga dapat membentuk *spike* (berbentuk seperti duri-duri) mengikuti bentuk medan magnet ([www.ferrotec/ferrofluid.com](http://www.ferrotec/ferrofluid.com)). Ferrofluida terdiri



dari partikel kecil *magnetite* polar yang mengelilingi surfaktan dan terikat pada partikel non polar.



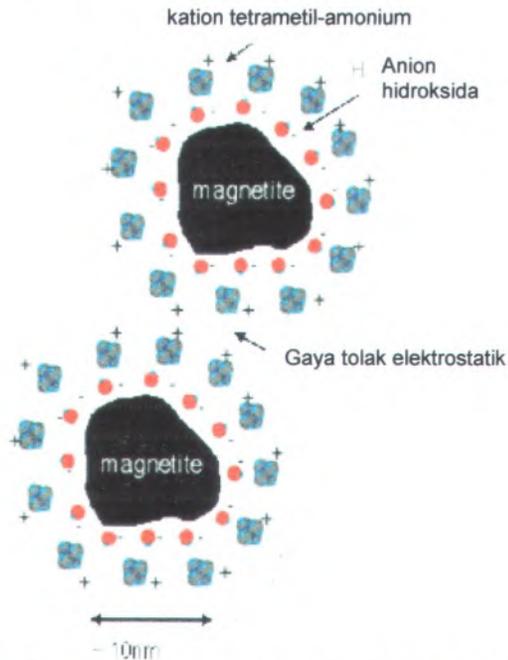
Gambar 2.1. *Ferofluida yang dikenai medan magnet kuat*  
([www.ferrotec.com](http://www.ferrotec.com))

## 2.2 Larutan Surfaktan

Dalam pembuatan fluida magnet peran surfaktan sangat penting. Surfaktan berasal dari kata *Surface Active Agent* yang berarti bahwa larutan ini dapat berperan aktif pada antar permukaan, yaitu pada fase padat dengan cair, cair dengan cair, atau bahkan cair dengan gas, dimana kehadirannya dapat mengubah sifat dari suatu permukaan tersebut. Molekul-molekul surfaktan dapat berkumpul terpisah pada antar permukaan. Karena molekul ini mempunyai dua ujung yang mempunyai sifat berbeda, satu ujung mempunyai kemampuan untuk menarik dan ujung yang lain mempunyai kemampuan untuk menolak (*hidrophilic* dan *hidrophobic*) molekul lain (Blackie dan Son Ltd, 1992).

Terdapat dua jenis surfaktan yang dapat menghasilkan gaya tolak elektrostatis dan gaya tolak sterik. Gaya tolak elektrostatis dimiliki oleh tetrametil-amonium-hidroksida [ $N(CH_3)_4OH$ ]. Jenis surfaktan ini mempunyai anion hidroksida

yang akan berikatan pada permukaan partikel *magnetite*, membentuk lapisan bermuatan negatif pada permukaannya. Kation tetrametil-ammonium akan ditarik oleh lapisan yang bermuatan negatif membentuk lapisan positif. Ketika partikel *magnetite* mendekati satu sama lain, gaya tolak antara lapisan positif yang terbentuk pada masing-masing permukaan membuat partikel saling terpisah diilustrasikan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Senyawa ionik tetrametil-amonium-hidroksida sebagai surfaktan (Berger dkk, 1999)

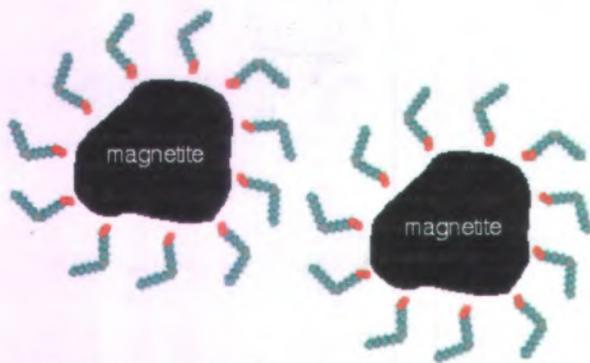
Surfaktan yang mempunyai gaya tolak sterik dimiliki oleh asam-oleik-cis (*cis-oleic acid*:  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ ) dapat digunakan untuk ferrofluida berbasis minyak. Surfaktan ini memiliki rantai

hidrokarbon panjang dengan ujung-ujung yang polar ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Susunan rantai hidrokarbon dari asam-oleik-cis ([http://en.wikipedia.org/wiki/Oleic\\_acid](http://en.wikipedia.org/wiki/Oleic_acid))

Ujung yang satu mengikat permukaan dari partikel *magnetite*, sehingga surfaktan melapisi permukaan partikel. Ujung yang lain (ekor) rantai surfaktan membentuk lapisan tolakan satu sama lain dan mencegah partikel saling mendekat diilustrasikan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Susunan partikel *magnetite* yang dikelilingi molekul asam oleik-cis dalam minyak sebagai medium (Berger dkk, 1999)

### 2.3 Metode Pengendapan atau Ko-presipitasi

Dalam pembuatan ferrofluida didahului dengan sintesis ferit. Dalam pembuatan ferit, cara-cara dan kondisi yang digunakan akan mempengaruhi sifat-sifat produk akhir yang diperoleh. Dalam metode basah garam-garam yang diperlukan sebagai bahan dasar dilarutkan bersama-sama dalam pelarut, misalnya air (Takada, 1970). Di dalam larutan ini serbuk besi diaduk sampai homogen ditambahkan larutan pengendap sedemikian rupa, sehingga endapan yang didapat mempunyai homogenitas yang tinggi. Endapan kemudian dikalsinasi pada suhu 600-1000°C untuk diubah menjadi bubuk ferit (Kumar, 1995).

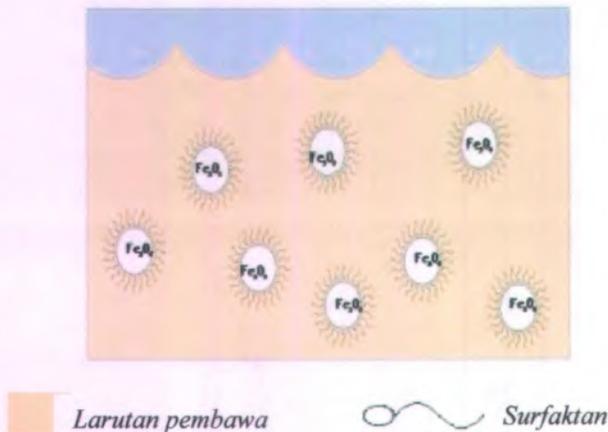
Senyawa-senyawa karbonat dapat digunakan sebagai pengendap. Biasanya digunakan pengendap NaOH hanya kerugiannya kation-kation  $\text{Na}^+$  dapat diabsorpsi oleh endapan hidroksida, sedangkan pencucian untuk membebaskan endapan dari kation-kation ini sangat sulit dilakukan. Pengotoran seperti ini akan menurunkan mutu ferit yang dibuat. Penggunaan  $\text{NH}_4\text{OH}$  lebih menguntungkan, karena sisa  $\text{NH}_4\text{OH}$  yang mengotori endapan dapat dihilangkan dengan jalan memanaskan endapan pada suhu tinggi (Day, 1989). Dalam penelitian ini digunakan pelarut HCl (asam klorida) dan larutan pengendap  $\text{NH}_4\text{OH}$  (ammonium hidroksida), serta pengeringan pada suhu rendah ( $< 100^\circ\text{C}$ ).

### 2.4 Aplikasi Ferrofluida

Ferrofluida merupakan larutan koloid yang stabil dengan sub-domain magnetik berukuran nano partikel (10 nm) dalam cairan pembawa. Kestabilan suhu dan koloid adalah penting untuk beberapa aplikasi di mana hal tersebut dipengaruhi oleh pemilihan surfaktan yang tepat. Ferrofluida yang baik adalah mengandung 5% volume padatan magnetik, 10% volume surfaktan dan 85% volume larutan pembawa. Ferrofluida secara skematik ditunjukkan pada Gambar 2.5. Berdasarkan gambar 2.5

dapat diamati bahwa terdapat besi (III) oksida yang dikelilingi atau terlapisi oleh surfaktan di dalam larutan pembawa disebut *base oil*.

Tanpa ada medan magnet, momen magnetik dari partikel terdistribusi secara acak dan fluida tidak termagnetisasi, sebaliknya ketika medan magnet diberikan pada ferrofluida mengakibatkan partikel berorientasi hampir di sepanjang garis medan. Magnetisasi pada ferrofluida akan segera berubah jika medan magnet juga berubah, sehingga momen magnet bergerak secara cepat dan acak. Fluida magnet yang homogen akan bergerak ke daerah yang mempunyai fluks magnet tinggi.



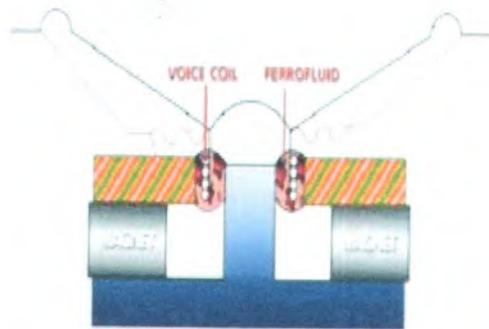
Gambar 2.5. Ilustrasi ferrofluida secara skematik  
([www.ferrotec.com.sg/about.asp](http://www.ferrotec.com.sg/about.asp))

Ferrofluida dapat diatur dan diposisikan secara tepat oleh medan magnet luar. Kemampuan magnetisasi pada ferrofluida adalah sesuai dengan gradien medan magnet luar dan besarnya nilai magnetisasi dari fluida itu sendiri. Kekuatan magnet dari ferrofluida dapat disesuaikan dengan mengubah magnetisasi salah satu dari daerah fluida atau medan eksternalnya. Berdasarkan sifat

tersebut, ferrofluida dapat digunakan sebagai bahan dalam beberapa komponen listrik, salah satunya adalah *audio speaker*.

### 2.4.1 Speaker Audio

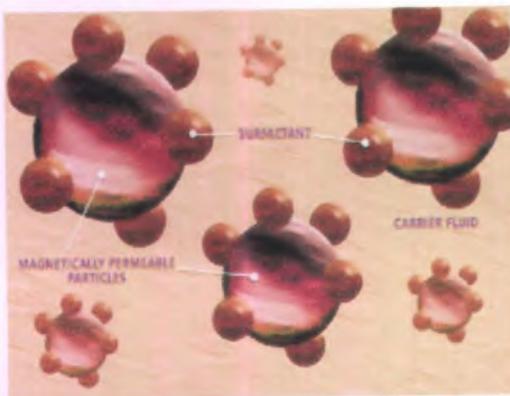
Aplikasi ferrofluida dalam *audio speaker* telah digunakan secara luas sejak 25 tahun yang lalu. Beberapa keuntungan menggunakan ferrofluida adalah peningkatan kualitas suara yang dihasilkan, kehalusan kurva frekuensi dan dapat mengurangi distorsi. Ferrofluida ditempatkan pada celah udara dan terisi penuh di antara tiang koil dan lempeng koil. Ferrofluida hanya membutuhkan medan magnet permanen yang kuat agar tetap konsisten pada tempatnya ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Penggunaan ferrofluida pada Audio Speaker  
([www.ferrotec.com.sg/about.asp](http://www.ferrotec.com.sg/about.asp))

Ada dua sifat yang harus diperhatikan dalam menentukan fluida magnet yang tepat untuk setiap aplikasi, yaitu nilai viskositas (kekentalan) dan harga magnetisasinya. Viskositas yang tinggi pada ferrofluida akan menghasilkan kekuatan rekat yang besar pada perubahan massa. Fluida dengan nilai magnetisasinya dipilih untuk memastikan daya penyimpanannya

pada celah udara (*air gap*). Semua ferrofluida yang tanpa bergantung viskositas akan memberikan perpindahan panas yang sama dari *voice coil* ke struktur magnetnya ([www.ferrotec.com.sg/about.asp](http://www.ferrotec.com.sg/about.asp))

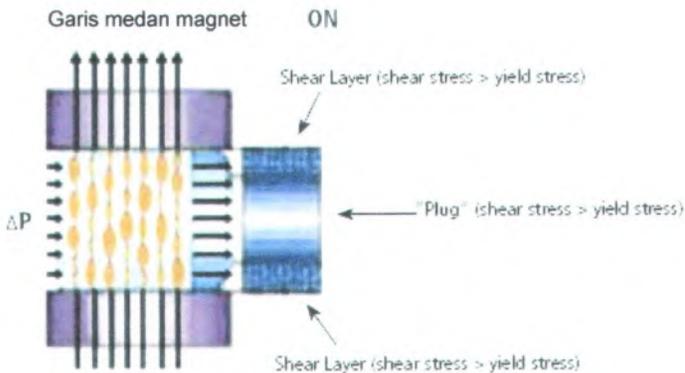


Gambar 2.7. Struktur ferrofluida yang terdapat di sekitar *voice coil* pada *Audio Speaker*  
[www.ferrotec.com.sg/about.asp](http://www.ferrotec.com.sg/about.asp)

#### 2.4.2 Peredam Getaran Mutakhir dari *Cadillac*

*Cadillac* adalah sebuah mobil yang didesain khusus dengan inovasi pintar yang disebut *Magnetic-Rheological (M-R) Shock Absorbers* yang dapat merespon dengan cepat sebuah arus termodulasi dengan hanya mengkonsumsi arus beberapa ampere dari sistem 12-volt yang terpasang. Cairan di dalam peredam getaran ini terdiri dari 40% serbuk besi dan sisanya adalah fluida pelumas, di mana cairan ini tidak lain adalah ferrofluida. Fluida pelumas ini mempunyai kekentalan yang tetap, jika arus tidak dinyalakan. Ketika arus dinyalakan (maksimum 5 ampere untuk setiap *shockbreaker*), sebuah koil elektromagnet di dalam piston akan terisi energi dan membuat fluida di sekitarnya mengental, karena serbuk besi yang ada pada fluida bereaksi terhadap medan

magnet yang dihasilkan koil. Kemudian mengalir keluar dari lubang-lubang piston dan fluida yang sebelum mengental masuk ke dalam piston sehingga viskositas dari fluida tersebut meningkat. Hal ini membuat peredam getaran atau *sokbreker* menjadi lebih kaku. Ukuran kekakuan ini sangat bervariasi tergantung kepada besar kecilnya arus yang dialirkan. Respon fluida terhadap elektromagnet yang dihasilkan terjadi hanya dalam waktu 1/1000 detik.



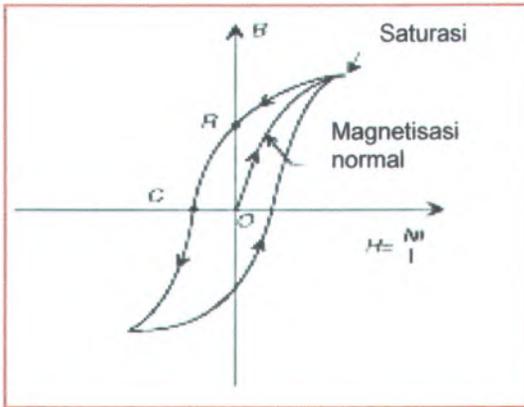
Gambar 2.8. *Shock Absorbers pada kendaraan bermotor* (www.strem.com)

Efek penting yang muncul pada reaksi pengentalan atau peningkatan viskositas ferrofluida adalah tercapainya kontrol yang lebih besar pada *chasis* mobil. Medan magnet arus lemah pada piston M-R mampu membuat partikel-partikel serbuk metal bergerak dan berderet teratur sehingga fluida cukup kental untuk meredam getaran. Konsep yang mendasari teknologi ini sangatlah praktis, walaupun sebenarnya proses untuk menemukan suspensi ini sangatlah rumit, karena memerlukan kecanggihan alat-alat elektronik dan ilmu rekayasa yang tidak sedikit untuk

menemukan ukuran kekuatan medan magnet yang paling sesuai, ukuran lubang pada piston dan berapa banyak serbuk metal yang harus diisi. Dengan mengatur viskositas ferofluida yang digunakan sebagai *shock absorbers*, mobil *Cadillac* mampu memberikan perjalanan yang nyaman, *smooth* (lembut), dan dapat mengatur sendiri suasana yang diinginkan pengguna mobil, seperti suasana santai, kecepatan tinggi (*sporty*), tanpa harus berganti mobil ([www.strem.com](http://www.strem.com)).

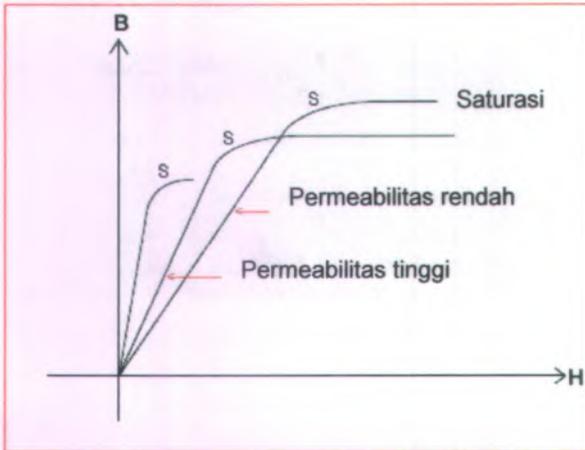
## 2.5 Sifat Magnetik

Sifat magnet suatu bahan dapat ditentukan dengan kurva histeresis  $B-H$  ditunjukkan pada Gambar 2.9. Induksi magnetik ( $B$ ) dalam bahan magnet sangat tergantung pada medan magnet ( $H$ ) dan jenis bahan. Fenomena histeresis banyak dijumpai pada bahan feromagnetik. Jika medan magnet eksternal diberikan pada bahan feromagnetik, maka bahan tersebut akan termagnetisasi. Hubungan antara kuat medan magnet ( $H$ ) dengan densitas induksi magnetik ( $B$ ) tidak linear. Jika kuat medan magnet ( $H$ ) mengalami peningkatan, maka induksi magnet juga akan meningkat, namun pada suatu kondisi tertentu induksi magnet akan tetap dan kondisi ini dinamakan *saturasi* ([www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)). Ketika medan magnet menurun sampai nol keluar dari kurva magnetisasi sebenarnya menunjukkan kemampuan magnetisasi bahan ketika diberikan medan luar dan densitas fluks magnetik sisa disebut dengan induksi remanen ( $B_r$ ) ditunjukkan dengan huruf  $R$  (Gambar 2.9). Penurunan induksi magnet sampai nol dengan arah membalik pada medan magnet negatif disebut medan koersifitas  $H_c$  (William F. Smith, 1996). Semakin besar nilai  $B_r$  suatu bahan, sifat kemagnetannya juga semakin besar, demikian juga dengan nilai  $H_c$  yang menunjukkan sifat kemagnetan suatu bahan.



Gambar 2.9. Kurva loop-histeresis (coilws.com)

Permeabilitas bahan magnetik adalah kemampuan suatu bahan untuk meningkatkan densitas fluks magnet. Permeabilitas dan densitas fluks magnet yang tinggi diakibatkan karena kuat magnetisasi. Jika magnetisasi terus meningkat maka bahan magnet akan mengalami saturasi, ditunjukkan dengan huruf  $S$  pada Gambar.2.10. Jika saturasi terjadi, maka peningkatan  $H$  tidak akan menambah besarnya fluks magnetik atau tidak mempengaruhi induksi magnet (coilws.com).



Gambar 2.10. Kurva magnetisasi B-H pada bahan feromagnetik (coilws.com)

Ferit pada umumnya mempunyai rumusan kimia  $MO-Fe_2O_3$  yang mempunyai struktur spinel, dimana M adalah ion logam divalen seperti Mg, Mn, Fe, Ni, Zn, Co, atau Cu. Magnetit atau  $Fe_3O_4$  merupakan jenis ferit yang mempunyai struktur kristal spinel dengan sel unit kubik yang terdiri dari 32 ion oksigen, dimana celah-celahnya ditempati oleh ion  $Fe^{2+}$  dan ion  $Fe^{3+}$ . Delapan ion  $Fe^{3+}$  dalam tiap sel berada pada site tetrahedral (A), karena berlokasi di tengah sebuah tetrahedron yang keempat sudutnya ditempati ion. Sisanya delapan ion  $Fe^{3+}$  dan delapan ion  $Fe^{2+}$  berada pada site oktahedral (B), karena ion-ion oksigen di sekitarnya menempati sudut-sudut sebuah oktahedron yang sudut-sudutnya ditempati oleh delapan atom oksigen.

Tabel 2.1. Distribusi Ion dan momen standar per molekul

No	Rumus	Tetrahedral site A	Oktahedral Site B	Total Momen Magnetik
1	$\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}^{3+}$ 5 ←	$\text{Fe}^{2+}$ $\text{Fe}^{3+}$ 4   5 →   →	4
2	$\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}^{3+}$ 5 ←	$\text{Ni}^{2+}$ $\text{Fe}^{3+}$ 2   5 →   →	2
3	$0.5\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}^{3+}$ 2,5 ←	$\text{Ni}^{2+}$ $\text{Fe}^{3+}$ 1   2,5 →   →	1
	$0.5\text{ZnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Zn}^{2+}$ 0  2,5	$\text{Fe}^{3+}$ $\text{Fe}^{3+}$ 2,5   2,5 ←   →  3,5	
4	$\text{ZnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Zn}^{2+}$ 0	$\text{Fe}^{3+}$ $\text{Fe}^{3+}$ 5   5 ←   →	0

Ferit  $\text{MO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  mempunyai struktur spinel, dengan  $\text{M}^{2+}$  di dalam bagian A dan  $\text{Fe}^{3+}$  di bagian B disebut struktur spinel normal. Zinc ferit mempunyai struktur spinel dan nonmagnetik (paramagnetik). Banyak ferit lain mempunyai struktur spinel invers, yang mana ion-ion divalen pada bagian B dan ion-ion trivalen secara seimbang terbagi antara bagian A dan B. Besi dan nikel mempunyai struktur invers dan mereka semua ferimagnetik.

Dari tabel 2.1 nampak magnetisasi saturasi bahan ferit pada 0°K dapat dihitung dengan mengetahui momen masing-masing ion, distribusi ion antara lokasi A (tetrahedral) dan lokasi B (oktahedral) serta interaksi pertukaran antara lokasi A dan lokasi B adalah negatif. Interaksi AB selalu lebih kuat sehingga semua momen A adalah paralel dan momen B adalah anti paralel. Distribusi ion-ion divalen di A dan di B dapat berubah dengan perlakuan panas, sebagai contoh pada bahan dari suhu tinggi atau didinginkan pelan-pelan. Akhirnya perlu dicatat bahwa ferit perlu disiapkan berisi 2 jenis ion divalen yang berbeda, contohnya (Ni, Zn)O-FeO<sub>3</sub> ini disebut ferit gabungan walau sebenarnya ini adalah larutan padat dari NiO.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan ZnO.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Hampir semua ferit kubik digunakan secara komersial sebagai ferit gabungan.

Pada NiO.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mempunyai struktur invers dengan semua ion Ni<sup>2+</sup> dalam lokasi B dan ion Fe<sup>3+</sup> terbagi antara posisi A (tetrahedral) dan posisi B (oktahedral), ion Fe<sup>3+</sup> digantikan total oleh ion Ni<sup>2+</sup> penyamarataan ini dapat dianggap bahwa titik jenuh kemagnetan 2 μ<sub>B</sub> pada ferit invers merupakan momen ion divalen. Pada campuran ferit yang mempunyai total momen 50 % mol ferit Zn dan 50 % mol Ni, ion Zn<sup>2+</sup> dengan momen nol berada pada posisi A akan melemahkan momen pada posisi A dan ion Fe<sup>3+</sup> dari ferit Zn membentuk momen paralel pada posisi B karena kuatnya interaksi AB. Pada ZnO.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mempunyai struktur normal dan ion Zn<sup>2+</sup> dengan momen nol mengisi posisi A, di sini tidak terjadi interaksi AB akan tetapi terjadi interaksi BB. Pada posisi B, ion Fe<sup>3+</sup> membentuk momen anti paralel. Substitusi ion Zn<sup>2+</sup> terhadap ion Fe<sup>2+</sup>, pada posisi A akan mempengaruhi jumlah Fe<sup>2+</sup> seiring dengan meningkatnya substitusi ion Zn<sup>2+</sup> (Cullity, B.D, 1972).

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Bahan dan Larutan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

1. Bahan Dasar
  - a. Ni dan Zn dengan kemurnian (99,9%)
  - b. Fe dengan kemurnian (99,5%)
2. Larutan
  - a. Asam klorida (HCl)
  - b. Amonium hidroksida (NH<sub>4</sub>OH)
  - c. Aqua DM
  - d. Larutan surfaktan (tetrametil-amonium-hidroksida dan asam oleik -cis)

### 3.2 Peralatan

Penelitian ini menggunakan peralatan sebagai berikut :

1. Pengaduk magnetik (*Magnetic Stirrer*)
2. Batang magnet (*Magnetic Bar*)
3. Peralatan VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*) dan SEM (*Scanning Electron Microscope*)
4. Pengaduk kaca
5. Gelas ukur
6. Beker glass
7. Kertas saring

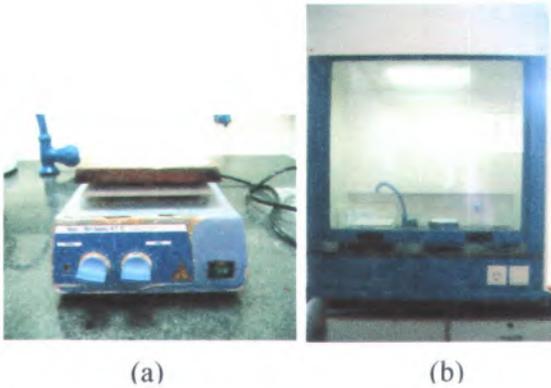
### 3.3 Preparasi Bahan

Sebelum melangkah pada prosedur kerja akan dijelaskan terlebih dahulu mengenai bahan-bahan dan alat-alat yang digunakan. Bahan yang digunakan pada penelitian ini semuanya adalah bahan murni. Mulai dari Fe dengan kemurnian tinggi yaitu 99,5 %, begitu juga untuk Zn dan Ni dengan kemurnian tinggi yaitu 99 %. Larutan yang digunakan untuk proses pelarutan adalah larutan HCl pekat dengan molaritas 12,063 M diencerkan

terlebih dahulu dengan perhitungan kimia, sedangkan untuk proses pengendapan digunakan larutan  $\text{NH}_4\text{OH}$  pekat dengan molaritas 6,5 M. Larutan surfaktan untuk membuat fluida magnet yaitu asam oleik-cis dan tetrametil ammonium hidroksida. Pelarutan dengan pengaduk magnet dilakukan di ruang asam. Persiapan sampel terlebih dulu dilakukan dengan perhitungan massa bahan yang diperlukan dan volume larutan yang akan digunakan dalam pembuatan ferit, yang secara rinci ditunjukkan pada Tabel 3.1

*Tabel 3.1 Komposisi Bahan Paduan*

No	Spinel	Serbuk	Massa (gram)	Volume (ml)	
				HCl	NH4OH
1	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	Fe	5,04	20	37
2	$\text{NiFe}_2\text{O}_4$	Ni	1,345	15	6,5
		Fe	2,554		
3	$\text{Ni}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$	Ni	13,275	30	55
		Zn	14,625		
		Fe	2,52		
4	$\text{ZnFe}_2\text{O}_4$	Zn	1,417	14,5	27
		Fe	2,442		



(a)

(b)

Gambar 3.1. (a) pengaduk magnetik (stirrer magnetic)  
(b) ruang asam

Reaksi persiapan bahan :

1)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Reaksi pelarutan dengan HCl :

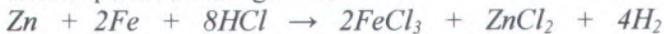


Reaksi penambahan  $\text{NH}_4\text{OH}$  :



2)  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$

Reaksi pelarutan dengan HCl :

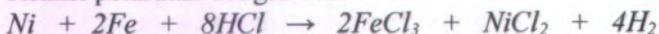


Reaksi penambahan  $\text{NH}_4\text{OH}$  :

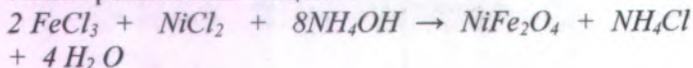


3)  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ 

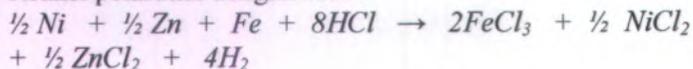
Reaksi pelarutan dengan HCl :



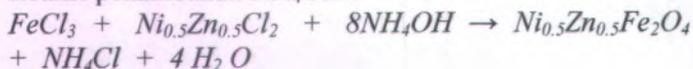
Reaksi penambahan  $\text{NH}_4\text{OH}$  :

4)  $\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ 

Reaksi pelarutan dengan HCl :



Reaksi penambahan  $\text{NH}_4\text{OH}$  :



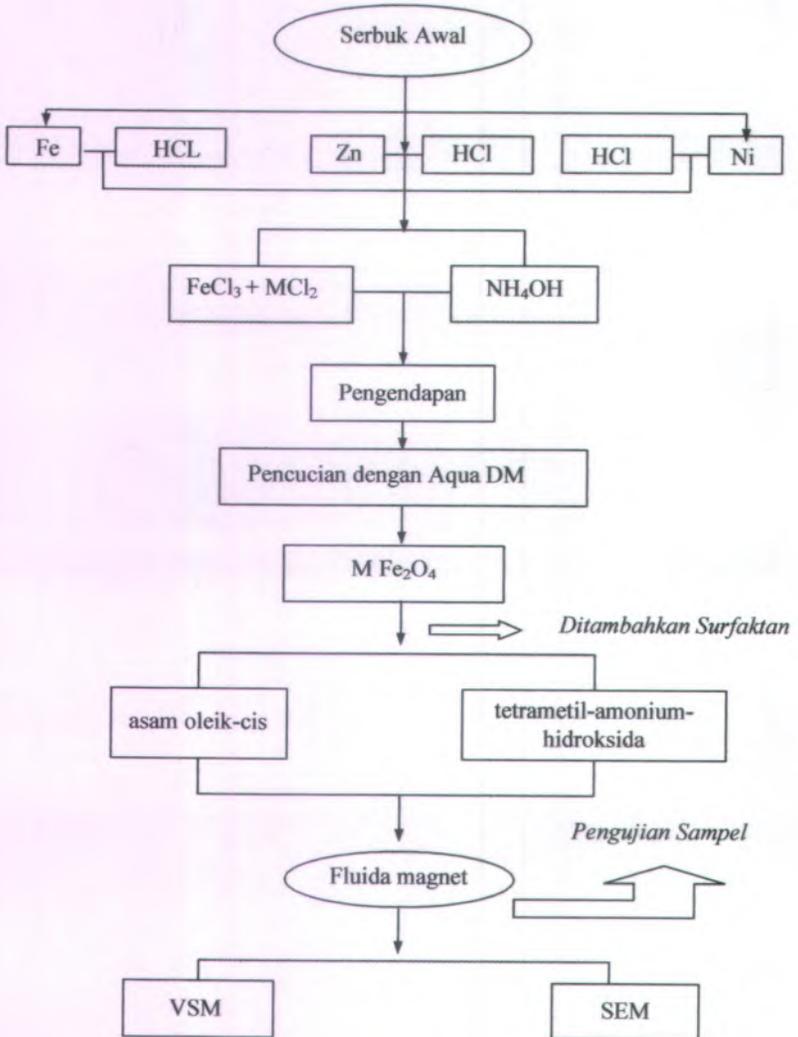
### 3.4 Prosedur Kerja

Untuk lebih jelasnya arah dari penelitian ini diperlukan suatu tahapan kerja, yaitu : persiapan sampel, karakterisasi sampel dengan melakukan uji SEM dan VSM. Pembuatan sampel dilakukan dengan metode ko-presipitasi sebagai berikut :

1. Menimbang bahan dasar Ni, Zn dan Fe yang akan dilarutkan (dengan perbandingan sesuai stoikiometrinya).
2. Bahan yang telah ditimbang dilarutkan pada larutan HCl dengan menggunakan pengaduk magnetik sampai terbentuk fase  $\text{FeCl}_3$ .
3. Larutan  $\text{NH}_4\text{OH}$  ditambahkan sedikit demi sedikit untuk pengendapan.
4. Larutan yang diendapkan, selanjutnya disaring pada kertas saring dan dicuci dengan menggunakan aqua DM hingga didapatkan residu ferit yang sempurna (terbebas dari pengotor).

5. Endapan ferit yang dihasilkan kemudian diberi larutan surfaktan untuk pemisahan partikel-partikel dalam ferit, dan diaduk sampai merata sehingga terbentuk ferrofluida.
6. Setelah terbentuk ferrofluida atau fluida magnet dengan ukuran partikel magnetik  $\sim 10$  nm, dilakukan pengujian sensitifitas terhadap medan magnet luar (Gambar 4.1) dan karakterisasi sifat magnet dengan uji VSM dan mengetahui ukuran partikel magnetik dengan uji SEM.

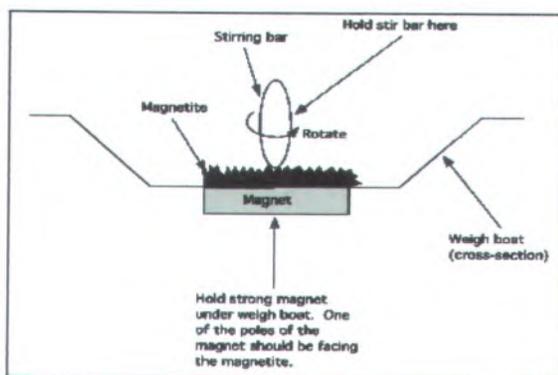
Langkah-langkah kerja di atas tertuang dalam diagram alir Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram alir skema kerja dari penelitian

### 3.4.1 Sintesis Bahan

Pada sintesis ferit digunakan larutan HCl pekat untuk melarutkan bahan dasar serbuk. Kelebihan menggunakan HCl, karena dapat bereaksi cepat dengan serbuk bahan (dalam penelitian ini adalah besi, nikel dan seng) tanpa pemanasan lagi. Proses pelarutan dilakukan di ruang asam pada *stirring* magnet selama 30 menit sampai 1 jam dengan mengatur kecepatan putaran *stirrer* pada tombol sebelah kiri gambar pengaduk magnetik (Gambar 3.1). Larutan diaduk sampai berwarna kuning pekat, dimana terbentuk fasa  $\text{FeCl}_3$ . Kemudian ditambahkan  $\text{NH}_4\text{OH}$  sedikit demi sedikit dengan mengurangi kecepatan putar *stirrer* untuk mencegah terjadinya reaksi cepat. Penambahan  $\text{NH}_4\text{OH}$  dihentikan setelah larutan berwarna hitam pekat dan kecepatan putar *stirrer* ditambah lagi agar pengadukan merata. Setelah pengadukan, larutan disaring pada kertas saring dan dicuci dengan aqua DM sampai beberapa kali untuk mendapatkan endapan ferit murni sesuai yang diinginkan. Endapan ferit yang dihasilkan dibagi menjadi dua bagian untuk persiapan pembuatan fluida magnet, yaitu dengan diberikan larutan surfaktan tetrametil-amonium-hidroksida dan asam oleik-cis.



Gambar 3.3 Ilustrasi proses pengadukan dengan pengaduk magnetik

### 3.4.2 Pengukuran dengan VSM

*Vibrating Sample Magnetometer (VSM)* merupakan salah satu alat ukur magnetisasi yang bekerja berdasarkan metoda induksi, yaitu magnetisasi diukur dari sinyal yang ditimbulkan/diinduksikan oleh cuplikan yang bergetar dalam lingkungan medan magnet pada sepasang kumparan. Seperangkat peralatan VSM ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Seperangkat peralatan VSM tipe Oxford VSM1.2H

Metoda pengukuran dengan alat VSM yaitu mula-mula sampel yang akan diukur magnetisasinya dipasang pada ujung bawah batang kaku yang bergetar secara vertikal dalam lingkungan medan magnet luar  $H$ . Jika sampel termagnetisasi secara permanen atau sebagai respon dari adanya medan luar, maka getaran ini akan mengakibatkan perubahan garis gaya magnetik. Perubahan ini akan menimbulkan/menginduksikan sinyal tegangan AC pada kumparan pengambil (*pick-up coil* atau *sense coil*) yang ditempatkan secara tepat dalam sistem medan magnet ini. Selanjutnya sinyal AC ini akan dibaca oleh rangkaian *pre-amp* dan *Lock-in amplifier*. Frekuensi dari *Lock-in amplifier* diset sama dengan frekuensi getaran sinyal referensi dari pengontrol getaran cuplikan. *Lock-in amplifier* ini akan membaca sinyal tegangan dari kumparan yang sefasa dengan sinyal

referensi. Kumparan pengambil biasanya dirangkai berpasangan dengan kondisi arah lilitan yang berlawanan. Hal ini untuk menghindari terbacanya sinyal yang berasal selain sampel, misalnya akibat adanya perubahan medan magnet luar itu sendiri. Selanjutnya medan magnet yang diberikan, suhu sampel, sudut dan interval waktu pengukuran dapat divariasikan melalui kendali komputer. Komputer akan merekam data tegangan kumparan sebagai fungsi medan magnet luar, suhu, sudut dan waktu.

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Konsentrasi Ferrofluida

Berdasarkan tujuan penelitian, sintesis ferit nanopartikel dilakukan dengan metode ko-presipitasi yang dipersiapkan untuk pembuatan ferrofluida dimana surfaktan yang digunakan adalah asam oleik-cis dan tetrametil-amonium-hidroksida. Kedua surfaktan ini memiliki sifat yang berbeda dan perbedaan kedua sifat surfaktan ini dapat mempengaruhi sifat kemagnetan ferrofluida yang dibuat. Selain surfaktan, pemberian doping Ni dan Zn juga mempengaruhi sifat magnet dari ferit. Sebelum pemberian surfaktan sampel yang masih berupa endapan ferit ditimbang massanya menggunakan timbangan magnetik seperti pada prosedur kerja, sehingga didapatkan data perbandingan massa endapan ferit dan volume surfaktan dari ferrofluida ditampilkan dalam Tabel 4.1.

*Tabel 4.1 Hasil pengukuran massa endapan ferit per volume surfaktan (konsentrasi ferrofluida)*

No	Bahan	Perbandingan massa / volume	
		AOc	TMH
1	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	1,536 gram/ml	2,690 gram/ml
2	$\text{NiFe}_2\text{O}_4$	0,645 gram/ml	4,280 gram/ml
3	$\text{ZnFe}_2\text{O}_4$	0,300 gram/ml	1,746 gram/ml
4	$\text{Ni}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$	1,618 gram/ml	5,000 gram/ml

\*\* TMH = tetrametil-amonium-hidroksida  
 AOc = asam oleik-cis

Berdasarkan Tabel 4.1 terdapat perbedaan konsentrasi pada ferrofluida dengan menggunakan surfaktan asam oleik-cis dan tetrametil-amonium hidroksida. Bahan ferrofluida dengan menggunakan surfaktan asam oleik-cis memiliki konsentrasi lebih kecil daripada tetrametil-amonium-hidroksida. Hal ini terjadi karena asam oleik-cis memiliki struktur rantai molekul yang panjang (Gambar 2.4) menyebabkan jarak antar partikel magnetik lebih lebar, sehingga surfaktan yang dibutuhkan ferit juga banyak untuk pemisahan partikel-partikel magnetik agar tidak terjadi aglomerasi. Sebaliknya dengan ferrofluida yang menggunakan tetrametil-amonium-hidroksida, surfaktan ini mampu mengikat banyak partikel magnetik, karena rantai molekulnya yang pendek.

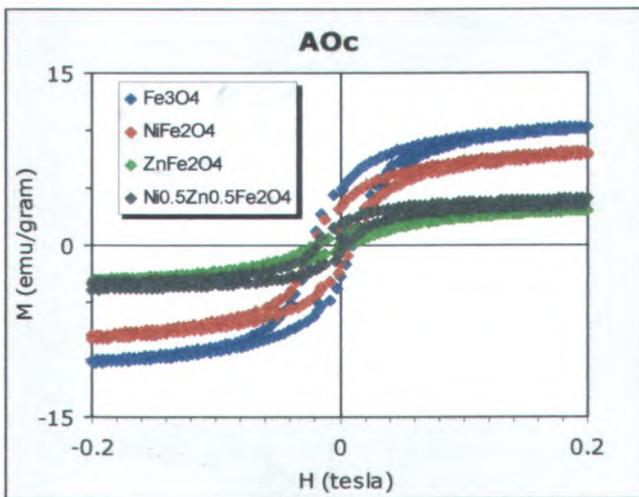
Dengan konsentrasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.1, ferrofluida diuji sensitifitasnya terhadap medan magnet luar untuk mengetahui seberapa kuat sifat kemagnetannya. Uji tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1. Pada gambar tersebut memperlihatkan ferrofluida yang didekatkan pada magnet permanen yang mempunyai medan magnet sebesar 1000 Gauss, dan tampak bahwa ferrofluida dapat tertarik pada magnet tersebut.



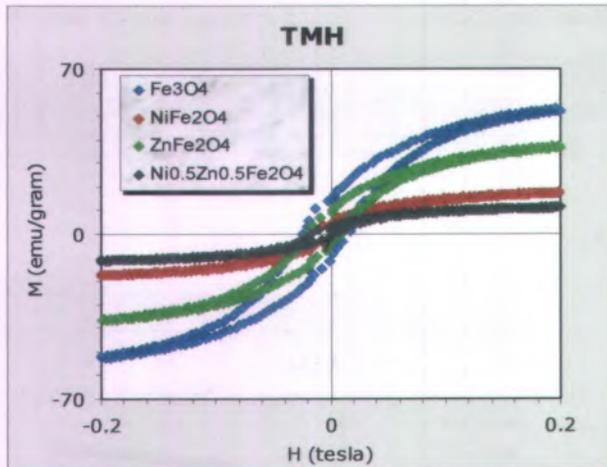
*Gambar 4.1 Sensitifitas ferrofluida terhadap medan magnet*

## 4.2 Analisis VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*)

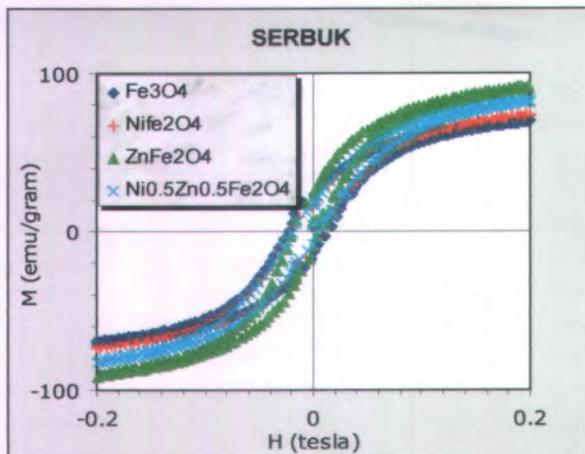
Karakterisasi ferrofluida dilakukan dengan uji VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*) yang digunakan untuk mengetahui kemagnetan dari suatu bahan. Sifat kemagnetan dari ferrofluida akibat pemberian doping Ni-Zn dan pemberian surfaktan asam oleik-cis dan tetrametil-amonium-hidroksida ditunjukkan dalam kurva histeresis (Gambar 4.2-4.8).



Gambar 4.2. Grafik kurva histeresis ferrofluida  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan doping Ni-Zn dengan larutan surfaktan asam oleik-cis.



Gambar 4.3. Grafik kurva histeresis ferofluida  $Fe_3O_4$  dan doping Ni-Zn dengan larutan surfaktan tetrametil-amonium-hidroksida.



Gambar 4.4. Grafik kurva histeresis serbuk ferit  $Fe_3O_4$  dan doping Ni-Zn (Ulfa.C, 2006)

Gambar 4.2 dan 4.3 menunjukkan kurva histeresis dari ferofluida dengan penggunaan surfaktan asam oleik-cis dan tetrametil-amonium hidroksida. Dengan konsentrasi ferofluida sebesar 5 gram/ml dan pemberian surfaktan yang sama, menunjukkan sifat kemagnetan yang berbeda-beda untuk setiap doping yang diberikan. Ferofluida  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  memiliki saturasi lebih besar daripada ferofluida dengan doping Ni dan Zn, baik pada pemberian surfaktan asam oleik-cis maupun tetrametil-amonium-hidroksida. Hal ini menunjukkan bahwa ferofluida dengan doping Fe memiliki sifat kemagnetan lebih besar, karena  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  memiliki momen magnetik paling besar dibandingkan dengan  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  dan  $\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  yang urutannya secara teoritis ditunjukkan pada Tabel 2.1. Semua bahan mempunyai momen magnetik, jika ditempatkan dalam medan magnetik. Momen magnetik per satuan volume dikenal sebagai magnetisasi. Karena besarnya momen magnetik mempengaruhi magnetisasi ( $M$ ) dari suatu bahan, semakin besar momen magnet maka nilai magnetisasi juga besar, dan pengaruh terhadap medan magnet luar semakin kuat. Selain magnetisasi jenuh ( $M_s$ ), sifat kemagnetan suatu bahan juga ditentukan oleh magnetisasi remanensi ( $M_r$ ) dan koersifitas medan ( $H_c$ ) yang nilainya untuk setiap doping yang diberikan ditunjukkan dalam Tabel 4.2. Sesuai dengan besar momen magnetik yang dimiliki oleh ferit, ferofluida dengan doping Ni seharusnya memiliki nilai magnetisasi jenuh ( $M_s$ ) lebih besar daripada dengan doping Zn, tetapi pada Gambar 4.3 kurva histeresis untuk ferofluida dengan penggunaan tetrametil-amonium-hidroksida sebagai surfaktan, pendopingan Zn memiliki  $M_s$  lebih besar. Lemahnya sifat kemagnetan pada Ni disebabkan karena terdapatnya fasa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sehingga sifat magnet ferofluida menjadi lemah, dan terjadinya penggumpalan partikel magnetik akibat terlalu lama dibiarkan kering saat pencucian menyebabkan terjadinya pertumbuhan ukuran partikel magnetik sehingga respon terhadap medan magnet luar menjadi lemah dan nilai  $M_s$  juga menurun. Sedangkan kuatnya sifat magnet dari ferofluida dengan doping Zn disebabkan karena untuk

mendapatkan rasio satu molar untuk Zn pada sintesis ferit  $ZnFe_2O_4$  sangat sulit, karena sedikit saja terdapat salah pengukuran massa dari Zn dan Fe pada stoikiometri akan menimbulkan perubahan sifat magnetik dari ferofluida tersebut. Dalam penelitian ini juga disintesis ferit dengan doping campuran Ni dan Zn dengan surfaktan tetrametil-amonium hidroksida yaitu  $Ni_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ , dan ferit ini menghasilkan sifat kemagnetan paling rendah dengan  $M_s = 11,364$  emu/gram;  $M_r = 3,149$  emu/gram;  $H_c = 0,0184$  tesla (Tabel 4.2). Hasil tersebut secara teori juga menyimpang, ferofluida  $Ni_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$  seharusnya memiliki magnetisasi lebih tinggi daripada ferofluida  $ZnFe_2O_4$  karena momen magnet yang dimiliki  $Ni_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$  lebih besar (Tabel 2.1). Perubahan jumlah momen magnet terjadi akibat distribusi ion (Tabel 2.1) yang tidak sesuai, sedikitnya domain yang terbentuk dan arah domain yang acak menyebabkan sensitifitas terhadap medan luar juga kurang, sehingga nilai magnetisasinya kecil.

Nilai koersifitas  $H_c$  ditunjukkan dengan besarnya medan yang dibutuhkan untuk membuat magnetisasi sama dengan nol. Semakin besar nilai  $H_c$  akan menunjukkan sifat kemagnetan yang semakin besar. Berdasarkan Tabel 4.2 menunjukkan bahwa ferofluida  $Fe_3O_4$  dengan surfaktan tetrametil-amonium-hidroksida, sifat kemagnetannya paling besar karena memiliki  $H_c$  paling tinggi dan sebaliknya ferofluida  $ZnFe_2O_4$ , sifat kemagnetannya rendah,  $H_c$  paling rendah. Selain koersifitas, magnetisasi remanensi  $M_r$  dapat mempengaruhi kemagnetan dari ferofluida, dimana magnetisasi tersisa ketika medan luar  $H$  telah dihilangkan. Hal ini menunjukkan kemampuan magnetisasi bahan, ketika diberikan medan luar. Semakin besar nilai  $M_r$  dari suatu bahan maka sifat kemagnetannya juga semakin besar (Kurniawan, D. 2006).

Perubahan sifat magnetik  $M_s$ ,  $H_c$  dan  $M_r$  disebabkan oleh pengaruh stoikiometri, dan penempatan ion-ion pada *site* yang benar. Disamping itu, adanya pergerakan yang acak dari *spin* partikel magnetik, distribusi yang acak dari ukuran partikel

yang menimbulkan efek *non-saturation* atau tidak menimbulkan magnetisasi, adanya deviasi dari distribusi kation normal, dan bisa disebabkan masih terdapatnya air pada ferrofluida. (R. Arulmurugan dkk, 2006).

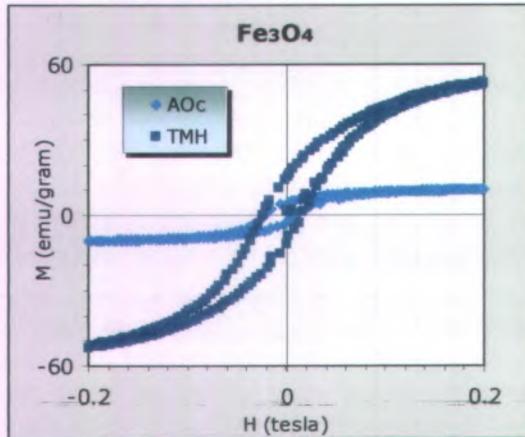
Lebar kurva histeresis dapat digunakan untuk menentukan apakah ferrofluida bersifat *soft magnetic* atau *hard magnetic*. Semakin lebar kurva histeresis, semakin bersifat *hard magnetic* atau magnet keras. Sebaliknya jika semakin kecil lebar kurva maka bahan semakin bersifat *soft magnetic* atau magnet lunak. Bahan magnet lunak lebih mudah dimagnetisasi. Sifat utama dari magnet lunak adalah memiliki permeabilitas tinggi, saturasi magnetisasi yang tinggi, dan medan koersifitas rendah (William F. Smith, 1996). Berdasarkan sifat dari bahan tersebut, hampir semua ferrofluida yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki sifat *soft magnetic*, karena mempunyai nilai koersifitas yang rendah dan saturasi yang tinggi (Tabel 4.2).

Tabel 4.2. Hasil magnetisasi ferrofluida pada setiap doping yang diberikan

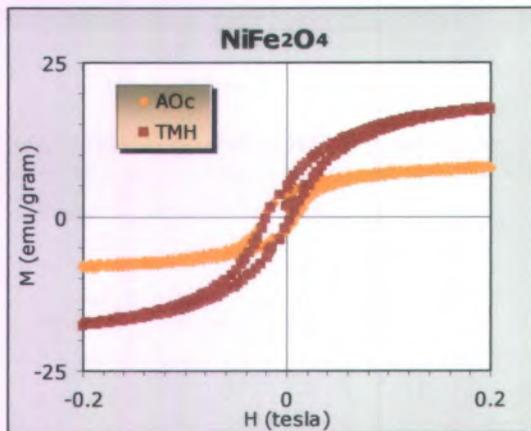
Bahan	$M_s$ (emu/gram)		$M_r$ (emu/gram)		$H_c$ (tesla)	
	AOc	TMH	AOc	TMH	AOc	TMH
$Fe_3O_4$	10.114	52.851	5.517	15.279	0.0331	0.0410
$NiFe_2O_4$	8.205	17.343	4.005	5.89	0.0300	0.0225
$ZnFe_2O_4$	3.006	36.371	0.188	11.412	0.0209	0.0281
$Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$	4.044	11.295	2.069	3.642	0.0194	0.0174

Dalam sintesis ferrofluida peran surfaktan juga berpengaruh pada sifat magnet fluida itu sendiri. Hal ini dapat

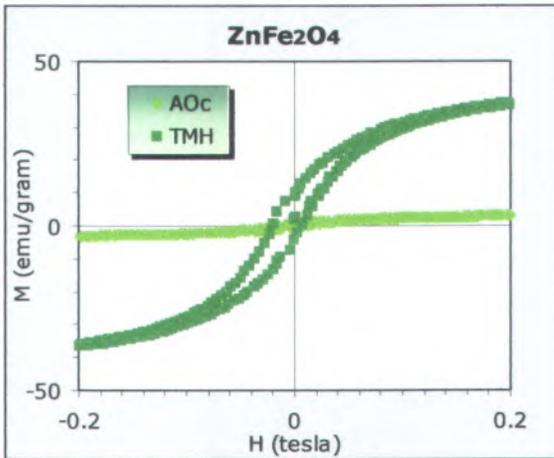
dilihat pada kurva histeresis (Gambar 4.5-4.8) yang juga didapatkan dari hasil pengujian VSM.



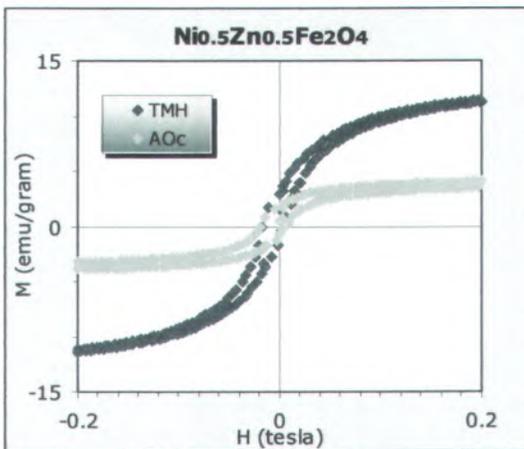
Gambar 4.5. Grafik kurva histeresis ferrofluida  $Fe_3O_4$  dengan variasi larutan surfaktan yang berbeda (asam oleik-cis; tetrametil-amonium-hidroksida)



Gambar 4.6. Grafik kurva histeresis ferrofluida  $NiFe_2O_4$  dengan variasi larutan surfaktan yang berbeda (asam oleik-cis; tetrametil-amonium-hidroksida)



Gambar 4.7. Grafik kurva histerisis ferofluida ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dengan variasi larutan surfaktan yang berbeda (asam oleik-cis; tetrametil-amonium-hidroksida).



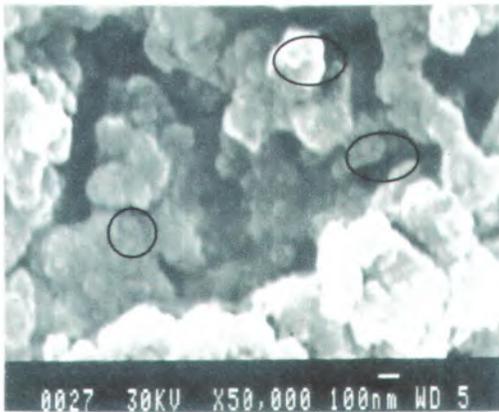
Gambar 4.8. Grafik kurva histerisis ferofluida Ni<sub>0.5</sub>Zn<sub>0.5</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dengan variasi larutan surfaktan yang berbeda (asam oleik-cis; tetrametil-amonium-hidroksida).

Berdasarkan (Gambar 4.5 - 4.8) ferrofluida yang menggunakan tetrametil-amonium-hidroksida sebagai surfaktan mempunyai sifat magnet lebih kuat daripada ferrofluida menggunakan asam oleik-cis. Hasil ini dipengaruhi oleh sifat dari larutan polar itu sendiri, dimana asam oleik-cis mempunyai rantai karbon lebih panjang mengakibatkan jarak antar partikel magnetik juga lebih besar sehingga jumlah partikel magnetik yang terikat surfaktan lebih sedikit menyebabkan respon yang diberikan terhadap gangguan medan magnet pada VSM juga kecil. Selain itu asam oleik-cis bersifat *sterik* yang hanya berperan sebagai larutan pemisah karena molekul ini mempunyai dua ujung yang mempunyai sifat berbeda, satu ujung mempunyai kemampuan untuk menarik dan ujung yang lain mempunyai kemampuan untuk menolak

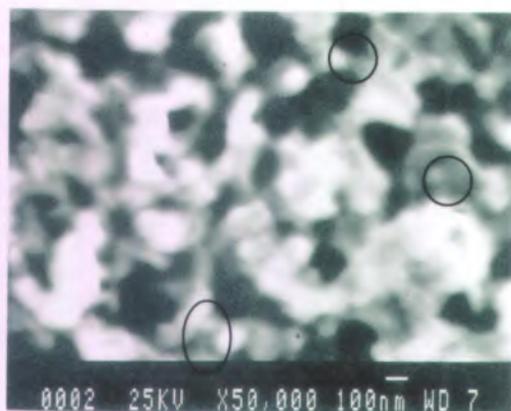
Ferrofluida dengan surfaktan tetrametil-amonium-hidroksida memiliki magnetisasi ( $M_s$ ) lebih besar daripada ferrofluida menggunakan surfaktan asam oleik-cis. Tetrametil-amonium-hidroksida memiliki rantai molekul lebih pendek sehingga mempunyai kemampuan mengikat partikel magnetik lebih banyak pada konsentrasi yang sama untuk setiap doping yang diberikan. Gaya tolak elektrostatis yang dimiliki tetrametil-amonium-hidroksida, memberikan ikatan yang kuat antara ion OH dengan ion-ion positif pada partikel magnetik. Oleh karena itu apabila diberi medan magnet luar menghasilkan sifat magnet yang lebih kuat. Faktor aglomerasi atau penggabungan partikel-partikel ferit dapat mempengaruhi sifat kemagnetan dari suatu bahan magnet, karena ikatan yang terjadi lebih sedikit dan ketika diberi medan luar akan menghasilkan sifat magnetik yang lebih lemah. Untuk serbuk ferit mempunyai sifat kemagnetan lebih tinggi daripada ferrofluida hal ini ditunjukkan oleh kurva histeresis hasil dari penelitian sebelumnya (Gambar 4.4). Hal ini dipengaruhi kemampuan pemisahan antar partikel magnetik oleh larutan surfaktan yang digunakan.

### 4.3 Analisis SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Dengan analisis SEM didapatkan ukuran partikel ferit pada ferrofluida. Hasil analisis SEM ini didapatkan dari penelitian sebelumnya yaitu pelapisan ferrofluida pada polipropilen untuk masing-masing surfaktan (asam oleik-cis dan tetrametilamonium-hidroksida) ditunjukkan pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10.



*Gambar 4.9 Hasil foto SEM pelapisan ferrofluida pada polipropilen (surfaktan asam oleik-cis)*



*Gambar 4.10 Hasil foto SEM pelapisan ferofluida pada polipropilen (surfaktan tetrametil-amonium-hidroksida)*

Berdasarkan Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 dapat diperkirakan ukuran partikel  $\leq 100$  nm ditunjukkan oleh butir-butir kecil terang yang sebagian ditandai dengan lingkaran hitam. Terdapat perbedaan ukuran butir pada kedua ferofluida tersebut, yang mana ferofluida dengan penggunaan surfaktan asam oleik-cis memperlihatkan butir-butir partikelnya lebih besar dibandingkan dengan penggunaan surfaktan tetrametil-amonium-hidroksida, kemampuan pemisahan partikel oleh asam oleik-cis yang kurang baik, sehingga menyebabkan banyak terjadi aglomerasi antar partikel.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian, pengamatan serta perhitungan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode ko-presipitasi dapat digunakan untuk mendapatkan endapan ferit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{Ni}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  yang dipersiapkan untuk pembuatan ferrofluida.
2. Pemberian doping Fe, Ni dan Zn pada penelitian ini memberikan sifat magnet yang berbeda-beda berdasarkan besar magnetisasinya :
  - a) ferrofluida dengan larutan surfaktan tetrametil-amonium-hidroksida sifat kemagnetannya  $\text{Fe}_3\text{O}_4 > \text{ZnFe}_2\text{O}_4 > \text{NiFe}_2\text{O}_4 > \text{Ni}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ .
  - b) ferrofluida dengan larutan surfaktan asam oleik  $\text{Fe}_3\text{O}_4 > \text{NiFe}_2\text{O}_4 > \text{Ni}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4 > \text{ZnFe}_2\text{O}_4$
3. Ferrofluida yang mempunyai sifat kemagnetan paling tinggi pada penelitian ini adalah ferrofluida  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , dengan  $M_s = 52,851$  emu/gram,  $M_r = 15,279$  emu/gram dan  $H_c = 0,0410$  tesla.
4. Penggunaan surfaktan tetrametil-amonium-hidroksida dapat menghasilkan ferrofluida dengan sifat kemagnetan tinggi

### 5.2 Saran

Pengembangan penelitian ini perlu dilakukan lebih lanjut tentang sifat ferrofluida dengan doping ion divalen yang lain, penggunaan surfaktan yang berbeda yang memungkinkan,

pengaruh temperatur pada ferrofluida terhadap sifat kemagnetannya, komposisi lapisan yang terbentuk pada permukaan partikel, serta ukuran lebih lanjut nano partikel menggunakan TEM (*Transmission Electron Microscope*).

## DAFTAR PUSTAKA

- Arulmurugan, R dkk, (2006), "*Mn-Zn ferrite nanoparticles for ferrofluid prepararion: Study on thermal-magnetic properties*", Journal of Magnetism and Magnetic Materials **298**, 83–94
- Berger dkk, (1999), "*Preparation And Properties of Aqueous Ferrofluid*" Journal Of Chemical Education, **76**, 943-8.
- Blackie dan Son Ltd, (1992), "*Surfactant Agregation*", Chapman and Hall, New York
- Breitzer, Jonathan dan Lisensky, George, (1999), "*Synthesis of Aqueous Ferrofluid*", Journal Chemistry Education **76**, 943-948
- Costaa A.C.F.M. dkk, (2003), "*Synthesis, microstructure and magnetic properties of Ni-Zn ferrites*", Journal of Magnetism and Magnetic Materials **256**, 174–182
- Cullity, B. D. (1972) *Introduction to Magnetic Materials*, Addison–Wesley Series in Metalurgi and Materials, University of Notre Dame.
- Day, Jr, R. A dan Underwood, A.L.(1989) "*Analisis Kimia Kuantitatif*", Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Dutta, J dan Warad, H. C (2004), "*Nanotechnology for agriculture and Food System*", Journal of Nanotechnology



F, Smith, William, (1996), "*Principles of Materials Science and Engineering-Third Edition*", Penerbit McGraw-Hill, Inc, United States of America.

Kumar, A. P. S. dkk. (1996), "*Low temperature synthesis of  $Ni_{0,8}Zn_{0,2}Fe_2O_4$  powder and its characterization*", Materials Letters **27**, 293-296.

Kurniawan, D. (2006), "*Sintesis Nanopartikel Ferrit  $MFe_2O_4$  ( $M=Fe, Ni, Zn, dan Mn$ ) dari Pasir Besi dan Karakterisasinya Sebagai Preparasi Fluida Magnet*", Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Park, G.S dan Park, S.H, (1999), IEEE Trans, Magn **35**, 4058.

Rosensweig, R (1985), "*Ferrohidrodinamics*", Cambridge University Press, Cambridge.

Setyobo, G, (2006), "*Karakterisasi Magnetik Ferit Spinel  $Fe_3O_4$  Dengan Penambahan Dopan Zn*", Tesis, Jurusan Fisika FMIPA ITS, Surabaya.

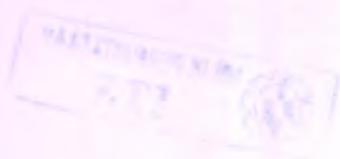
Takada dkk. (1970). "*Preparation of Ferrit by Wet Method in Ferrit*", Proceeding of the International Conference, Japan, 69

<http://www.ferrotec.com/products/ferrofluid>, (2006),

[http://en.wikipedia.org/wiki/Ferrite %28magnet%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Ferrite_%28magnet%29), (2006)

<http://www.strem.com>, (2006)

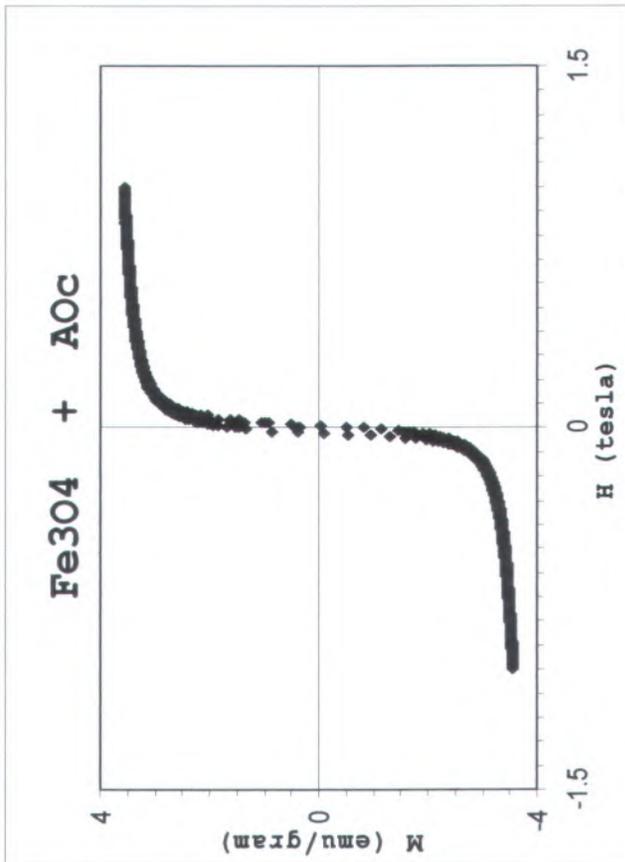
<http://www.coilws.com>, (2006)



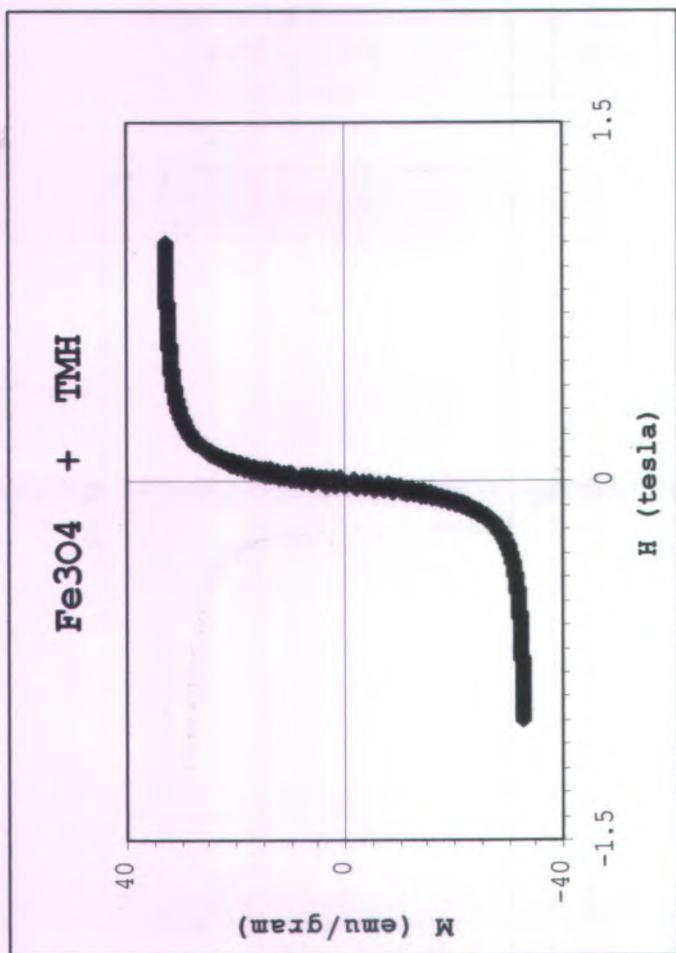
## LAMPIRAN

Grafik Kurva Histeresis Sebenarnya Hasil Pengukuran VSM

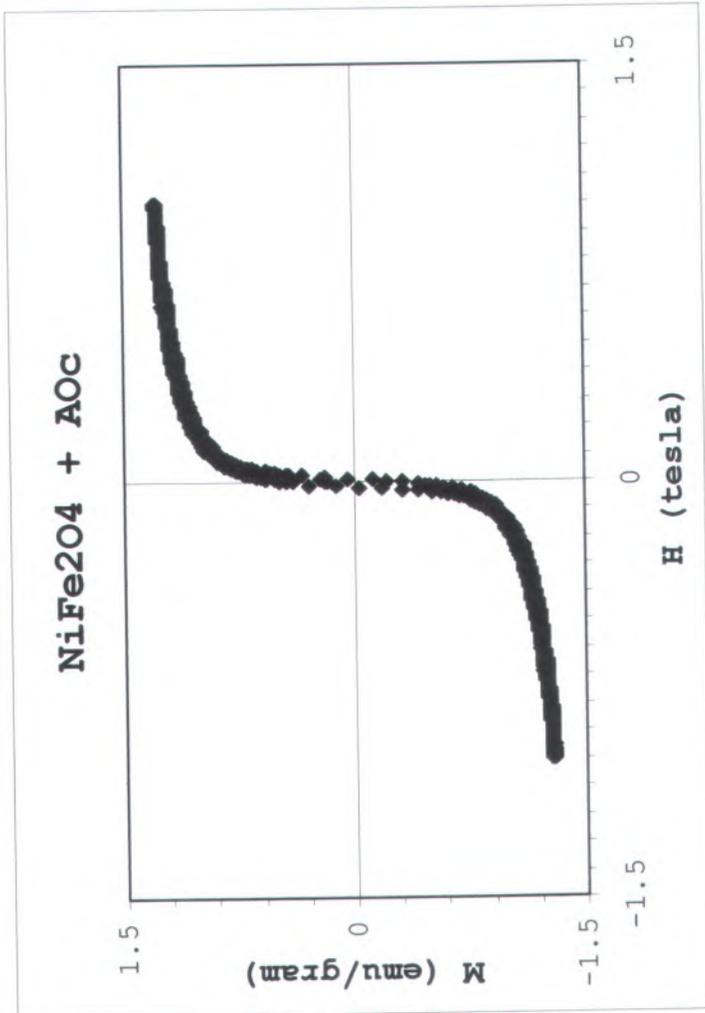
1. Ferofluida  $\text{Fe}_3\text{O}_4$   
(penggunaan asam oleic-cis sebagai surfaktan)  
Massa sampel yang diukur 0,0152 gram



2. Ferrofluida  $\text{Fe}_3\text{O}_4$   
(penggunaan tetrametil-amonium-hidroksida sebagai surfaktan)  
Massa sampel yang diukur 0,01 gram

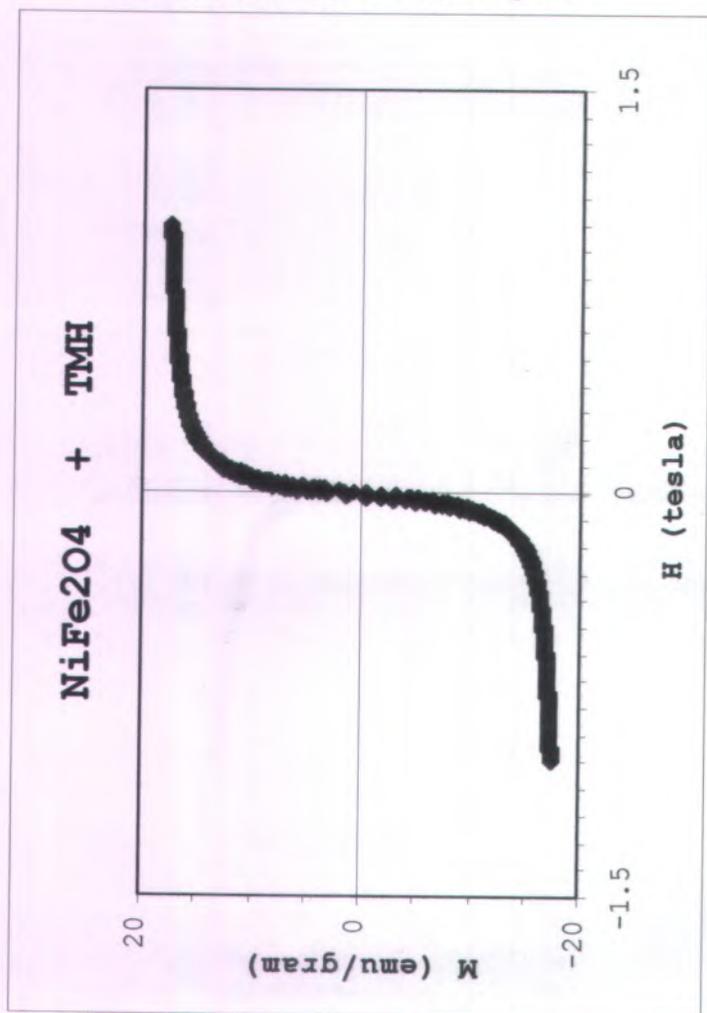


3. Ferofluida  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$   
(penggunaan asam oleic-cis sebagai surfaktan)  
Massa sampel yang diukur 0,0092 gram

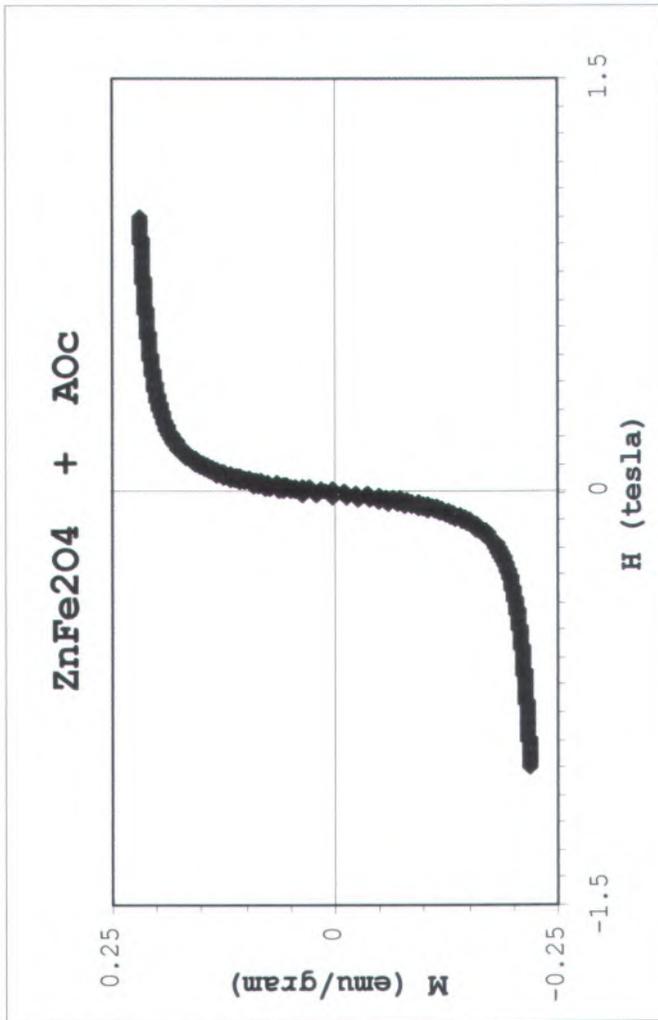


4. Ferofluida  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$   
(penggunaan tetrametil-amonium-hidroksida sebagai surfaktan)

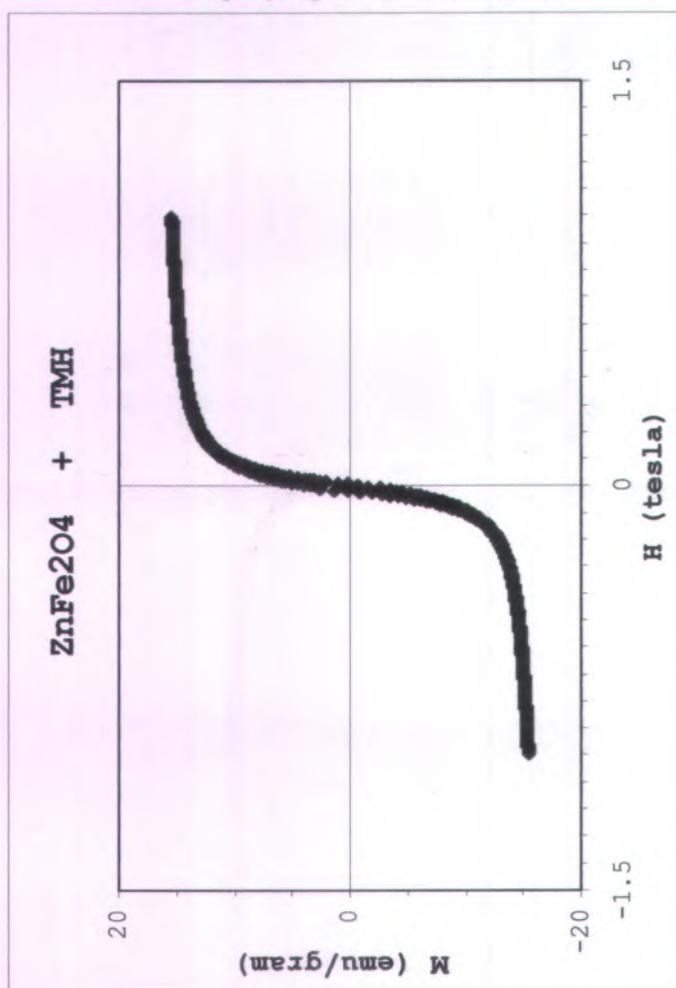
Massa sampel yang diukur 0,0123 gram



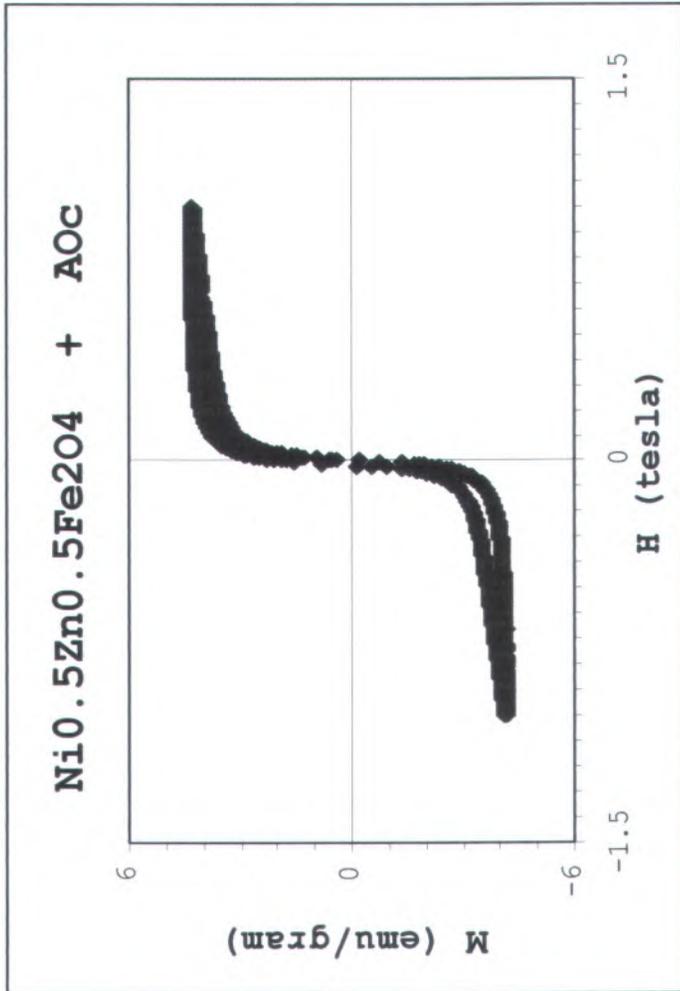
5. Ferrofluida  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$   
(penggunaan asam oleic-cis sebagai surfaktan)  
Massa sampel yang diukur 0,0098 gram



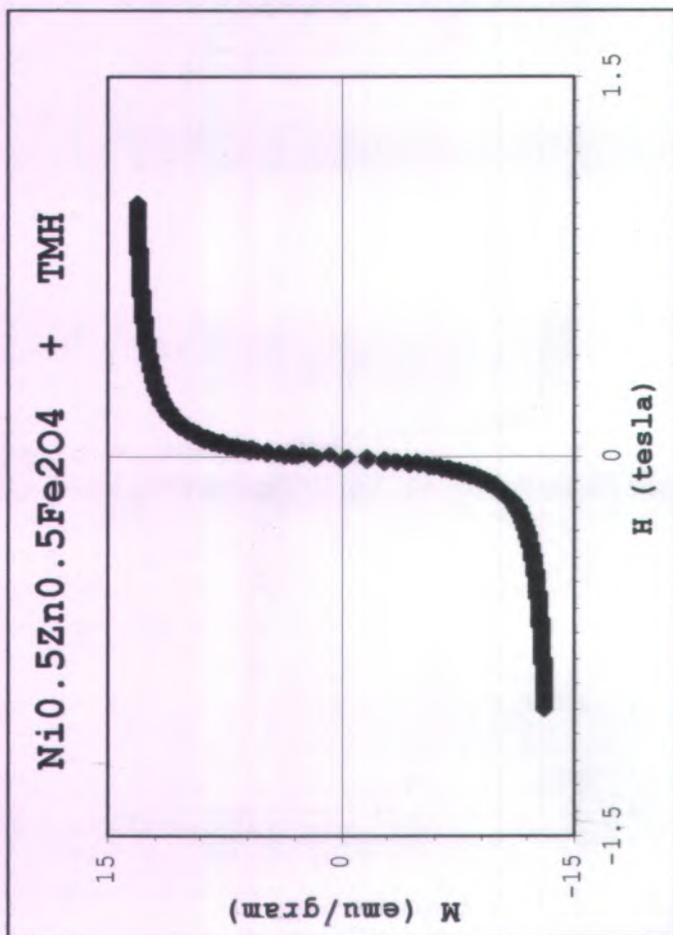
6. Ferofluida  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$   
(penggunaan asam tetrametil-amonium-hidroksida  
sebagai surfaktan)  
Massa sampel yang diukur 0,0142 gram



7. Ferofluida  $\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$   
(penggunaan asam oleik-cis sebagai surfaktan)  
Massa sampel yang diukur 0,0147 gram



8. Ferrofluida  $\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$   
(penggunaan asam tetrametil-amonium-hidroksida  
sebagai surfaktan)  
Massa sampel yang diukur 0,0174 gram



## BIODATA PENULIS



**Yulian Merdiana** dilahirkan di kota Madiun, Jawa Timur dari pasangan Sunaryo dan Sujinah pada 10 Maret 1983. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Pendidikan formal penulis diawali di Sekolah TK Perwanida Madiun yang dilanjutkan ke Sekolah Dasar Negeri Josenan 3 Madiun. Kemudian dilanjutkan di SLTP Negeri 2 Madiun, dan SLTA Negeri 3 Madiun.

Setelah menginjak kelas 2 SLTA penulis memutuskan untuk mengambil jurusan IPA. Setelah Lulus SLTA penulis turut serta mengikuti ketatnya persaingan Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru (SPMB) yang akhirnya diterima di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Jurusan Fisika F-MIPA pada tahun 2002 dengan Nrp 1102 100 034. Di jurusan Fisika penulis mengambil minat bidang Bahan dan menyelesaikan pengerjaan Tugas Akhir pada semester sembilan. Sebagai Mahasiswa Jurusan Fisika penulis sempat aktif menjadi Asisten Laboratorium Fisika Dasar, dan berbagai kegiatan yang diadakan di jurusan Fisika ini.