

32224/4/08



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember



R.S.Fi  
538.44

Mun

p-1

2008

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	11 - 2 - 2008
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	220813

TUGAS AKHIR - SF 1380

## PEMBUATAN FEROGEL BERBASIS PARTIKEL NANO FERIT $\text{Fe}_3\text{O}_4$

MUNAJI  
NRP 1103 100 017

Dosen Pembimbing  
Dr. Darminto, M.Sc

JURUSAN FISIKA  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2008



**ITS**

Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - SF 1380

## FABRICATION OF NANO PARTICLES FERRITES $\text{Fe}_3\text{O}_4$ - BASED FERROGEL

MUNAJI  
NRP 1103 100 017

Advisor  
Dr. Darminto, M.Sc

DEPARTMENT OF PHYSICS  
Faculty of Mathematics and Sciences  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2008

# LEMBAR PENGESAHAN

## PEMBUATAN FEROGEL BERBASIS PARTIKEL NANO FERIT $\text{Fe}_3\text{O}_4$

### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
pada  
Program Studi S-1 Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**MUNAJI**

NRP. 1103 100 017

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. Darminto, M. Sc. (Pembimbing I)



SURABAYA, JANUARI 2008

# PEMBUATAN FEROGEL BERBASIS PARTIKEL NANO FERIT $Fe_3O_4$

**Nama Mahasiswa** : Munaji  
**NRP** : 1103 100 017  
**Jurusan** : Fisika FMIPA – ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Darminto, M. Sc.

## Abstrak

*Telah berhasil dibuat ferogel dengan menggunakan partikel ferit ( $Fe_3O_4$ ) berukuran nanometer yang diperoleh dari bahan dasar pasir besi. Ferogel dibuat dengan mencampur partikel ferit berukuran nanometer ke dalam polivinil-alkohol (PVA) yang dicampur air sebagai media pengikat silang. Parameter yang diteliti adalah pengaruh komposisi PVA : air dan konsentrasi ferit. Komposisi PVA : air dibuat bervariasi yaitu 13 : 100; 18 : 100; 23 : 100; 28 : 100; dan 33 : 100. Konsentrasi ferit bervariasi dari 2,5% - 10% berat. Selanjutnya diamati sifat magneto – elastik ferogel dengan mengamati pemuluran dan penyimpangan ferogel terhadap medan magnet. Diukur pula modulus elastisitas (Young) nya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi PVA – air yang tepat untuk membuat ferogel adalah 23 : 100. Ferogel menunjukkan pemuluran dan penyimpangan dalam pengaruh medan magnet dan kembali ke bentuk semula ketika medan magnet diiadakan. Kemagnetan, pemuluran dan penyimpangan ferogel tergantung pada konsentrasi  $Fe_3O_4$ , sedangkan komposisi PVA : air berpengaruh pada modulus elastisitas ferogel.*

**Kata kunci:**  $Fe_3O_4$ , Magneto – elastik, PVA, ferogel

# FABRICATION OF NANO PARTICLES FERRITES $\text{Fe}_3\text{O}_4$ - BASED FERROGEL

**Name** : Munaji  
**NRP** : 1103 100 017  
**Department** : Physics FMIPA – ITS  
**Advisor** : Dr. Darminto, M.Sc.

## Abstract

*Ferrogels have been fabricated using nano sized magnetic particles ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) synthesized from natural iron sands. Ferrogels were prepared by mixing ferrite nanoparticles and polyvinyl alcohol (PVA) in water as crosslink agent. Effect of ratio PVA : water : ferrite particles on magneto – elastic properties of ferrogel were studied. The compositional ratio of PVA : water were 13 : 100; 18 : 100; 23 : 100; 28 : 100; and 33 : 100, while the concentration of ferrite nanoparticles ranged from 2,5 to 10 wt%. Magneto – elastic properties of ferrogel were investigated over their elongation and deflection in the presence of magnetic field and also the Young's modulus. The results showed that composition of PVA – water 23 : 100 is the best for ferrogels with respect to their elongation and deflexion in magnetic field. When the magnetic field is absent, ferrogel goes back to its original shape. Magnetism, elongation, and deflection of ferrogel depend strongly on the ferrite's concentration, whereas elastic modulus depend strongly on the composition of PVA – water.*

**Keywords** :  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , Magneto – elastic, PVA, ferrogel

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini dengan judul **PEMBUATAN FEROGEL BERBASIS PARTIKEL NANO FERIT  $Fe_3O_4$** .

Sholawat serta salam tetap tercurahkan kepada Revolusioner Akbar Nabi Besar Muhammad SAW. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam rangkaian kegiatan akademik tahap sarjana di Bidang Material Sains, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tuaku tercinta, Bapak Dikan dan Ibu Supi, atas curahan kasih sayangnya.
2. Bapak Dr. Darminto, M.Sc selaku dosen pembimbing dan dosen wali yang telah memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis.
3. Bapak Drs. Suminar Pratapa, M.Sc, Ph.D dan Ibu Sri Yani Purwaningsih, M.Si selaku dosen penguji yang telah memberi saran dan masukan dalam penyempurnaan laporan penulis.
4. Bapak Drs. Heny Faisal, M.S selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA ITS.
5. Seluruh dosen Fisika FMIPA ITS atas segala ilmu yang telah diberikan.
6. Seluruh staf dan karyawan Jurusan Fisika FMIPA ITS, khususnya Pak Ratno, Pak Waris, Pak Abas dan Pak Sukir atas segala bantuannya.
7. Bapak Ir. Yuwono, M.S beserta keluarga, Bapak Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc , Bapak Adi Purwandana, S.Si (LIPI) atas bantuan dan kesabarannya sehingga penulis bisa menyelesaikan studi dengan tenang.

8. Istriku tercinta, Endang Ruswinarsih atas kesabaran dan motivasi yang tiada henti telah diberikan.
9. Bapak dan ibu mertua yang saya hormati, dan saudara kandung serta iparku atas pengertiannya.
10. Teman-teman seperjuanganku di Lab. Bahan: Mas Anwar'02 dan Mas Hendro'01 yang sudah mendahului lulus.
11. Teman-temanku Galaxy Physics 2003
12. Teman-teman S2 Fisika : Pak Yono, Pak Taufiq dan Pak Malik AB atas bantuannya.
13. Teman-teman seperjuangan di kampus ITS : Yugo, Ambar, Mas Rahmat, Bintoro, Alfin atas ilmu yang telah dibagikan.
14. Semua pihak yang telah membantu dalam penulisan tugas akhir ini, mohon maaf kalau tidak disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan-kekurangan dalam Tugas Akhir ini, sehingga penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun. Semoga laporan ini bermanfaat bagi kita semua, atas perhatiannya penulis mengucapkan terima kasih.

Surabaya, Januari 2008

Penulis

## DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan.....	iii
Abstrak .....	v
Kata Pengantar .....	ix
Daftar Isi .....	xi
Daftar Gambar .....	xv
Daftar Tabel .....	xvii

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan .....	2
1.3 Perumusan Masalah .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Sistematika Laporan .....	2

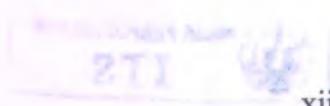
### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pasir Besi.....	5
2.2. Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).....	5
2.3. Metode Pengendapan (Kopresipitasi).....	7
2.4. Polivinil Alkohol (PVA).....	9
2.5. Bahan Komposit.....	10
2.6. Ferogel.....	11

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bahan.....	15
3.2. Peralatan.....	15
3.3. Prosedur Kerja	
3.3.1. Preparasi $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .....	15
3.3.2. Pembuatan Ferogel.....	16
3.3.3. Pengujian dengan Gaussmeter .....	18
3.3.4. Pengukuran Respon Magnetik Ferogel .....	19
3.3.5. Pengukuran Sifat Mekanik .....	21

<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Analisis Kandungan Pasir.....	23
4.2 Analisis Sintesis Bahan.....	24
4.3 Preparasi Ferogel.....	25
4.4 Analisis Kemagnetan dengan Gaussmeter.....	26
4.5 Sifat Magneto – elastik Ferogel.....	28
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	37
5.2 Saran .....	37
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>39</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>41</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Magnetit alam dari Kola Peninsula, Rusia .....	6
<b>Gambar 2.2</b>	Struktur Polivinil Alkohol .....	9
<b>Gambar 2.3</b>	Lajur-lajur bigel untuk aplikasi otot buatan .....	12
<b>Gambar 2.4</b>	Pemuluran dan kontraksi fero gel akibat pengaruh medan magnet inhomogen yang dihasilkan oleh elektromagnet .....	13
<b>Gambar 2.5</b>	Perubahan bentuk fero gel karena medan magnet <i>nonuniform</i> .....	14
<b>Gambar 3.1</b>	Prosedur preparasi $Fe_3O_4$ .....	16
<b>Gambar 3.2</b>	Prosedur pembuatan fero gel .....	17
<b>Gambar 3.3. (a)</b>	Alat Gauss meter .....	19
<b>Gambar 3.3. (b)</b>	Cara pengukuran kemagnetan .....	19
<b>Gambar 3.4</b>	Perangkat Percobaan untuk mengukur respon fero gel terhadap medan magnet .....	20
<b>Gambar 3.5</b>	Perangkat percobaan untuk menguji pemuluran fero gel .....	20
<b>Gambar 3.6</b>	Alat uji tarik .....	21
<b>Gambar 4.1</b>	Pola XRD Ekstraksi Pasir Besi .....	23
<b>Gambar 4.2</b>	Pola XRD Ferit $Fe_3O_4$ .....	24
<b>Gambar 4.3</b>	Bentuk sampel fero gel .....	25
<b>Gambar 4.4</b>	Struktur gel .....	26
<b>Gambar 4.5</b>	Pengaruh perbandingan PVA : air terhadap kemagnetan fero gel .....	27
<b>Gambar 4.6</b>	Pengaruh konsentrasi $Fe_3O_4$ terhadap kemagnetan fero gel .....	28
<b>Gambar 4.7</b>	Pemuluran fero gel dalam pengaruh medan magnet.....	29
<b>Gambar 4.8</b>	Pemuluran fero gel akibat pengaruh medan magnet : Pengaruh variasi PVA .....	30
<b>Gambar 4.9</b>	Pemuluran fero gel akibat pengaruh medan magnet : pengaruh variasi konsentrasi ferit .....	31
<b>Gambar 4.10</b>	Penyimpangan fero gel akibat pengaruh medan magnet .....	32

<b>Gambar 4.11</b>	Penyimpangan ferogel : Pengaruh perbandingan PVA : air .....	32
<b>Gambar 4.12</b>	Penyimpangan ferogel : Pengaruh konsentrasi ferit.....	33
<b>Gambar 4.13</b>	Modulus Young ferogel dengan variasi perbandingan PVA : air .....	34
<b>Gambar 4.14</b>	Modulus Young ferogel dengan variasi konsentrasi ferit. 35	

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Hasil - hasil sintesis $\text{Fe}_3\text{O}_4$ dengan metode kopresipitasi.....	8
<b>Tabel 4.1</b> Analisis Kualitatif dan Kuantitatif Pasir Ekstraksi ....	24

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Dalam dunia modern, partikel magnetik digunakan dalam banyak bidang, antara lain biosains dan bioteknologi. Beberapa di antara penggunaan tersebut adalah : (1) separasi *immunomagnetic* dari sel; (2) penentuan dan pelacakan campuran (*compound*) aktif secara biologis; (3) imobilisasi dan modifikasi campuran (*compound*) aktif secara biologis; (4) agen kontras untuk investigasi MRI; (5) *magnetic fluid/hydrogel hyperthermia*; (6) otot buatan (Ramanujan, 2004).

Dalam aplikasi partikel magnetik pada poin (5) dan (6), partikel magnet dibuat menjadi bentuk gel sehingga disebut ferrogel. Berbagai macam percobaan telah dilakukan untuk mensintesa otot buatan dan telah banyak pendekatan dikembangkan mulai dari yang mirip aktuator pada robot sampai pada aktuator lunak yang lebih canggih.

Li dkk telah membuat gel dengan bahan dasar polimer yaitu *poly n-isopropyl acrylamide* (PNIPA) dan *polyacrylamide*. Zrinyi dkk mengembangkan gel yang sensitif terhadap medan magnet. Dalam gel tersebut terdapat partikel magnet berbentuk koloid yang terdispersi di dalamnya. Kemudian R.V. Ramanujan dan L.L. Lao telah membuat komposit dengan bahan polivinil alkohol (*polyvinyl alcohol*/PVA) dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (ferit). Mereka memadukan sifat elastik dari PVA gel dan sifat magnetik dari partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  berukuran mikrometer. (Ramanujan, 2004)

Pada penelitian ini akan dilakukan sintesis ferrogel dengan bahan dasar  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dalam ukuran nanometer. Partikel nano  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  didapatkan dengan cara mengekstraksi dan mensintesis pasir besi dengan metode kopresipitasi. Selanjutnya dipelajari pengaruh persentase berat partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada penyimpangan terhadap medan magnet yang diberikan. Pengaruh perbandingan PVA dan

air terhadap sifat magnet dan mekanik dari gel yang terjadi juga akan dikaji.

## 1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari dan membandingkan :

- a. Pengaruh perbandingan PVA dan air pada sifat magnetik dan mekanik ferogel.
- b. Pengaruh konsentrasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada sifat magnetik dan mekanik ferogel.

## 1.3 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dihadapi dalam penelitian ini adalah bagaimana cara mendapatkan ferogel dari bahan alam pasir besi dan mengetahui pengaruh perbandingan PVA : air dan konsentrasi partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada sifat magnetik dan mekanik ferogel.

## 1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini menggunakan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  berukuran nanometer dan PVA. Partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ukuran nano diperoleh dari bahan dasar pasir besi dengan metode kopresipitasi. Ferogel dibuat dengan metode *freezing-thawing* dan ferogel dikarakterisasi setelah lima kali proses *freezing-thawing*.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan ini terdiri dari lima bab. Bab I merupakan pendahuluan yang akan membahas latar belakang, tujuan penelitian, perumusan masalah, batasan masalah dan sistematika penulisan. Bab II membahas tentang tinjauan pustaka yang terkait dengan bahan pasir besi, magnetit, metode

pengendapan/kopresipitasi, polivinil alkohol, bahan komposit dan ferogel. Bab III memaparkan metode percobaan yang berisi preparasi bahan dan peralatan serta langkah percobaan yang dilakukan. Bab IV menampilkan hasil percobaan dan pembahasan. Dan Bab V sebagai penutup yang merupakan kesimpulan dan saran yang didapat dari hasil penelitian.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pasir Besi

Pasir merupakan bahan alam yang tersedia sangat berlimpah di Indonesia. Pasir biasa dimanfaatkan untuk bahan bangunan sebagai campuran semen dalam pembuatan tembok sebagai pelapis batu bata. Pasir besi pada umumnya mempunyai komposisi utama besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dan silikon oksida ( $\text{SiO}_2$ ) serta senyawa-senyawa lain dengan kadar yang lebih kecil. Analisis komposisi kandungan pasir tersebut dapat dilihat setelah dilakukan pengujian dengan XRD, sehingga dapat digunakan untuk melakukan penelitian ini. Hal ini dapat menambah nilai jual pasir dengan bentuk produk ferogel.

Pasir besi umumnya ditambang di areal sungai/dasar sungai atau tambang pasir (*quarry*) di pegunungan, tetapi hanya beberapa saja pegunungan di Indonesia yang banyak mengandung pasir besi. Transportasi di pegunungan juga sulit, karena medannya yang terjal dan berliku-liku. Hal ini yang menyebabkan penambang pasir besi lebih memilih di areal sungai daripada di pegunungan, karena lebih mudah dijangkau (Anwar, 2007).

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

Magnetit merupakan mineral ferimagnetik dengan rumus kimia  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , satu dari beberapa besi oksida dan anggota dari grup spinel. Nama kimia magnetit menurut IUPAC adalah besi (II,III) oksida dan nama kimia secara umum adalah ferit oksida (*ferrous-ferric oxide*). Rumus kimia magnetit/ferit sering ditulis dalam bentuk  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ , di mana satu bagian adalah wustite ( $\text{FeO}$ ) dan bagian lainnya adalah hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Hal ini menunjuk pada keadaan oksidasi yang berbeda dari besi dalam suatu struktur, bukan larutan padat (*solid solution*).

Temperatur Curie dari magnetit adalah 858 K, dan larut secara lambat di dalam asam klorida. Magnetit merupakan mineral yang paling bersifat magnetik dari semua mineral yang ada di bumi. Butiran kecil magnetit ditemukan di dalam batuan *igneous* (*igneous rocks*) dan batuan metamorfik (*metamorphic rocks*), juga ditemukan pada batuan sedimen. Magnetit kadang-kadang ditemukan dalam jumlah besar dalam pasir pantai. Pasir ini biasa disebut pasir-besi (*iron sands*) atau pasir hitam (*black sands*). Pasir ini terbawa ke pantai melalui sungai dari erosi dan terkonsentrasi oleh aksi arus dan gelombang ([www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)).



**Gambar 2.1** Magnetit alam dari Kola Peninsula, Rusia ([www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)).

Sebagian besar ferit yang ditemukan biasanya dalam keadaan terkotori seperti mineral-mineral di dalam batu. Pengetahuan tentang sifat-sifat ferit penting untuk ahli geologis yang tertarik mempelajari magnetisme batu-batuan. Kajian tentang sifat-sifat magnetik dari batu memberikan kesimpulan-kesimpulan penting mengenai kekuatan dan arah medan magnet bumi pada umur geologi lampau (*past geological ages*) dan kesimpulan-kesimpulan ini membentuk terjadinya teori pergeseran kontinental (Arisandi, 2007).

### 2.3 Metode Pengendapan (Kopresipitasi)

Dalam penelitian ini, bahan dasar pembuatan gel yaitu partikel ferit berukuran nanometer yang disintesis dengan metode kopresipitasi. Metode ini pertama kali dipublikasikan pada tahun 1925 oleh Welo dan Baudish, yang meneliti tentang transformasi fase besi oksida dengan temperatur, akan tetapi yang paling banyak diambil oleh para peneliti kontemporer adalah metode yang dikembangkan oleh Massart. Tujuan awal penggunaan metode kopresipitasi ini adalah untuk mempelajari sifat magnetik dalam struktur domain tunggal, tetapi studi aktual pada sintesis nanopartikel magnetik difokuskan pada potensi aplikasi dan peningkatan kualitas dari nanopartikel (misalnya mengenai monodispersitas dan kristalinitasnya).

Keserbagunaan dan kesederhanaan metode kopresipitasi menjadikan metode ini menjadi salah satu teknik yang lebih disukai untuk membuat nanopartikel. Prosedur yang sama juga digunakan untuk sintesis tipe ferit yang lain, seperti  $MnFe_2O_4$  dan  $CoFe_2O_4$ , dengan mengubah prekursor yang digunakan. Nanopartikel yang dihasilkan dari metode kopresipitasi biasanya polidispersif, tetapi biasanya berbentuk sferis.

Studi sistematis pada kopresipitasi untuk pembuatan nanopartikel tidak terdokumentasi dengan baik. Kebanyakan studi mengenai metode kopresipitasi dan  $Fe_3O_4$  nanopartikel (ukuran kurang dari 20 nm) hanya difokuskan pada satu variabel atau dideskripsikan satu kondisi proses yang menghasilkan partikel dengan sifat-sifat tertentu (Liong, 2005).

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 asam. Larutan yang sudah diaduk sampai homogen perlu ditambahkan larutan pengendap sedemikian rupa sehingga endapan yang didapat mempunyai homogenitas yang tinggi (Arisandi, 2007).

Senyawa-senyawa karbonat dapat digunakan sebagai bahan 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 yang 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 (Arisandi, 2007).

Beberapa informasi yang dapat dikumpulkan dari survei tentang berbagai macam kondisi proses yang digunakan untuk mengontrol ukuran partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ditunjukkan pada Tabel 2.1. Garam besi yang paling banyak digunakan adalah  $\text{FeCl}_2$  dan  $\text{FeCl}_3$ , dan agen presipitat pada umumnya adalah NaOH atau  $\text{NH}_4\text{OH}$ , tetapi ada juga yang menggunakan tetrametil amonium hidroksida (TMAOH). Temperatur reaksi yang digunakan berkisar antara suhu ruang sampai  $100^\circ\text{C}$  dengan diameter nanopartikel yang dihasilkan berkisar antara 2 nm sampai 51 nm (Liong, 2005).

#### 2.4 Polivinil Alkohol (PVA)

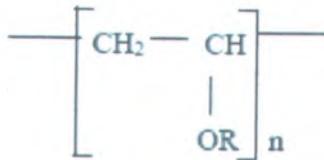
Polivinil alkohol mempunyai sifat pembentuk *film*, emulsi, dan sifat lengket yang baik. Bahan ini juga bersifat resistant terhadap minyak, pelumas dan bahan pelarut. PVA tidak beracun dan tidak berbau, mempunyai kekuatan tarik yang tinggi. Sifat ini tergantung pada kelembaban, dengan kata lain, dengan kelembaban lebih tinggi, lebih banyak air yang diserap. Air yang bertindak sebagai suatu *plasticiser*, kemudian mengurangi kekuatan tariknya, tetapi meningkatkan pemanjangan (*elongation*) dan kekuatan patah (*tear strength*).

PVA mempunyai titik-lebur  $230^\circ\text{C}$  (*fully hydrolysed*) dan  $180\text{--}190^\circ\text{C}$  (*partially hydrolysed*). PVA mengalami penguraian (dekomposisi) dengan cepat di atas  $200^\circ\text{C}$  dan dapat pula mengalami *pyrolysis* pada temperatur yang tinggi

([www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)). PVA memiliki struktur seperti pada Gambar 2.2 (Saxena, 2004).

**Tabel 2.1** Hasil-hasil sintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan metode kopresipitasi (Liong, 2005)

Source of $\text{Fe}^{2+}$	Source of $\text{Fe}^{3+}$	Precipitating agent	Temperature	Particle size (diameter)
$\text{FeCl}_2$	$\text{FeCl}_3$	$\text{NaOH}$	RT & $80^\circ\text{C}$	6 nm & 12 nm
$\text{FeCl}_2$	$\text{FeCl}_3$	$\text{NH}_4\text{OH}$	RT	12 nm
$\text{FeCl}_2$	$\text{FeCl}_3$	$\text{NH}_4\text{OH}$	$80^\circ\text{C}$	3-15 nm
$\text{FeCl}_2$	$\text{FeCl}_3$	$\text{NaOH}$	<i>Not listed</i>	8,5 nm
$\text{FeCl}_2$		$\text{NaOH}$	$88^\circ\text{C}$	7 nm
$\text{FeSO}_4$	$\text{FeCl}_3$	$\text{NH}_4\text{OH}$	<i>Not listed</i>	7,5 nm
<i>Not reported</i>	<i>Not reported</i>	$\text{NaOH}$	$80^\circ\text{C}$	5,5 nm (0,5), 12,5 nm (1,0)
$\text{FeCl}_2$	$\text{FeCl}_3$	$\text{NH}_4\text{OH}$	RT	3-11 nm
$\text{FeCl}_2$	$\text{FeCl}_3$	$\text{NH}_4\text{OH}$	$30-90^\circ\text{C}$	8,4-51 nm
$\text{FeSO}_4$	$\text{FeCl}_3$	$\text{NaOH}$	Heated	11,8 nm
$\text{FeCl}_2$	$\text{FeCl}_3$	$\text{NaOH}$	$70^\circ\text{C}$	<i>Not listed</i>
$\text{FeCl}_2$		$\text{NaOH}$ $\text{NH}_4\text{OH}$ $\text{N}(\text{CH}_3)_4\text{OH}$	$25^\circ\text{C}$ dan $45^\circ\text{C}$	2-12,5 nm



**Gambar 2.2** Struktur polivinil alkohol

Polivinil alkohol dihasilkan dari polivinil asetat dengan reaksi alkoholisis yang dikatalisis oleh asam atau basa. Walaupun monomer dari polivinil alkohol tak dapat diisolasi, tetapi polimernya mantap. Salah satu cara pembentukan polietenol

melalui alkoholisis adalah pengembangan polivinil asetat dengan metanol yang mengandung kalium hidroksida atau asam mineral. Pada pemanasan, polietenol mengendap.

Oleh karena gugus hidroksil kecil, ia dapat menyesuaikan diri dalam kisi polimer dan menghasilkan polimer berkristal yang mempunyai konfigurasi, seperti polietena. Sebagaimana diharapkan dari struktur polietenol, ikatan hidrogen terjadi antara gugus hidroksil dari rantai yang berbeda. Walaupun polimer larut dalam air (karena gugus hidroksil), diperlukan panas untuk memecah ikatan hidrogen antar rantai agar dapat larut.

Kekerasan lapisan polietenol, ketahanannya terhadap bahan kimia, serta ketidaktembusannya oleh gas, menjadikan polimer ini berguna sebagai pelapis pelindung. Jika diplastikkan dengan cairan tertentu, seperti propan-1,2,3-triol (*gliserol*), polietenol dapat digunakan untuk membuat tabung atau pipa (Cowd, 1991).

Polivinil alkohol merupakan polimer yang telah dipelajari secara intensif, karena banyaknya karakteristik yang menarik daripadanya, khususnya dalam kemampuan membentuk *film* dan gel, serta sifat fisisnya yaitu *high hidrophilicity*, *processability*, *biocompatibility* dan resistan kimia yang baik (Hernandez, 2004).

## 2.5 Bahan Komposit

Komposit didefinisikan sebagai gabungan dua bahan atau lebih yang berbeda sifatnya dan akan membentuk sifat fisis yang baru yang dikehendaki tanpa adanya perubahan struktur kristal dari bahan pembentuknya. Gabungan tersebut dapat berupa logam - logam, logam - polimer, polimer - keramik, logam - keramik dan lainnya. Komposit terdiri dari dua komponen, yaitu *filler* dan *matriks*. *Filler* merupakan bahan perekayasa yang biasanya memiliki sifat sesuai yang diharapkan, sedangkan matriks merupakan bahan yang direkayasa.

Syarat utama terbentuknya komposit adalah adanya ikatan antara matriks dan *filler*. Ikatan ini dapat terbentuk karena

adanya gaya adhesi dan kohesi antara keduanya. Dalam material komposit, gaya adhesi dan kohesi ini timbul melalui tiga cara, yaitu:

- *interlocking* antar permukaan (yang dipengaruhi adanya kekasaran bentuk partikel).
- gaya elektrostatis (terjadi karena adanya tarik menarik antar muatan molekul).
- Gaya van Der Waals (terjadi karena adanya dipole antar partikel).

Kualitas ikatan antara matrik dan *filler* dapat ditentukan oleh dua variabel utama, yaitu variabel bahan dan variabel proses. Variabel bahan meliputi ukuran partikel, rapat jenis, fraksi volume, struktur dan komposisi bahan. Variabel proses meliputi : kecepatan pencampuran, kecepatan penekanan, dan kecepatan pemanasan (Moniadah, 2004).

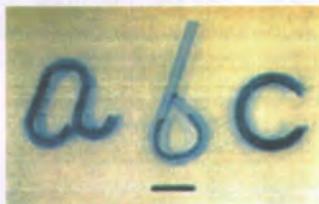
## 2.6 Ferogel

Suatu gel merupakan hasil ikat silang (*cross-linked*) polimer yang disebarkan pada suatu fluida. Jika gel ini diberi *filler* ferofluida atau partikel magnet, maka gel akan sensitif terhadap medan magnet luar dan ini disebut sebagai ferogel. Ferogel telah banyak digunakan pada berbagai bidang. Dalam bidang kesehatan ferogel telah dimanfaatkan untuk terapi kanker (*hyperthermia*) (Lao, 2004), dalam bidang biosains dan bioteknologi yaitu untuk penentuan dan pelacakan campuran (*compound*) aktif secara biologis; imobilisasi dan modifikasi campuran aktif secara biologis; dan sebagai agen kontras untuk investigasi MRI. Sementara aplikasi yang lain adalah untuk pembuatan otot tiruan (*artificial muscles*) dan aktuator. (Ramanujan, 2004)

Hidrogel, yang merupakan hasil *crosslinked* jaringan polimer dengan air, merupakan salah satu dari material yang paling menjanjikan untuk pembuatan aktuator yang lembut (*soft actuator*). Pada umumnya gel adalah material yang cukup

homogen yang menyusut atau membengkak secara seragam, dengan tidak ada perubahan dramatis pada bentuknya. Oleh karena itu ada suatu kebutuhan untuk meningkatkan tanggapan (respon) dari gel dan kesesuaiannya sebagai *soft* aktuator.

Li dkk membuat gel dengan komposisi yang dibuat sedemikian sehingga diberikan suatu stimulus spesifik, gel tersebut secara spontan membengkokkan atau mengeriting ke dalam suatu bentuk yang telah ditentukan sebelumnya seperti abjad, suatu pilinan (spiral), dan lain lain. Dalam hal ini mereka menggunakan dua macam polimer, seperti *poly N-isopropyl acrylamide* (PNIPA) dan *polyacrylamide*.

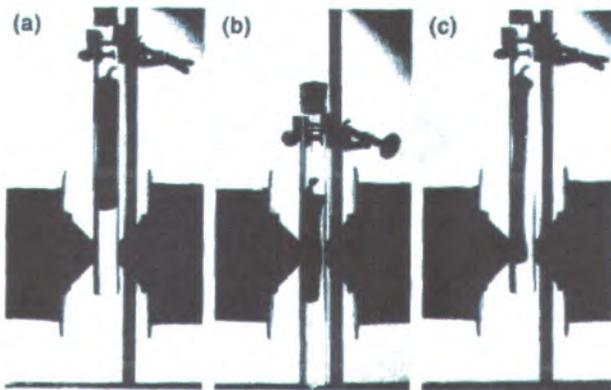


**Gambar 2.3** Lajur-lajur bigel untuk aplikasi otot buatan

Dua polimer memberikan respon dengan cara yang berbeda: PNIPA menyusutkan secara drastis ketika dipanaskan di atas  $37^{\circ}\text{C}$ , sedangkan *polyacrylamide* menyusut jauh lebih cepat dibanding PNIPA ketika konsentrasi aseton dalam air meningkat di atas 34%. Kemudian, dengan memilih kondisi-kondisi bahan pelarut dan temperatur yang sesuai, bigel dapat dibuat melentur ke dalam suatu bentuk yang ditentukan. Perubahan bentuk ini dapat dibalik (*reversible*). Beberapa bigel ini dapat dihubungkan untuk membuat suatu tangan gel yang dapat menggenggam objek dengan jari bigelnya dan melepaskannya sebagai jawaban atas stimulus yang diberikan.

Zrinyi dkk mengembangkan gel yang sensitif terhadap medan magnet. Di dalam gel tersebut didispersikan dan disebarkan partikel magnetik dalam bentuk koloid. Ferogel ini mengkombinasikan sifat magnetik dari pengisi (*filler*) dan sifat

hidrogel yang elastis. Kemudian perubahan bentuk segera teramati ketika medan magnet eksternal diterapkan dan ketika medan ditiadakan maka perubahan bentuk (distorsi) menghilang secara cepat ditunjukkan pada Gambar 2.4 (Zrinyi, 1997). Ketika gel ditempatkan ke dalam suatu medan magnet non-uniform, bekerja gaya pada partikel magnetis dan sebagai hasil interaksi kuat antara partikel magnetis dan rantai polimer, mereka semua berpindah bersama-sama sebagai satu kesatuan. Penggabungan hidrogel dan partikel magnetik mempunyai aplikasi di dalam aktuator lembut. Jika partikel magnetik yang telah disatukan di dalam hidrogel, maka tanggapan partikel magnetik terhadap medan magnet berakibat pada ferogelnya secara keseluruhan. (Ramanujan, 2006).

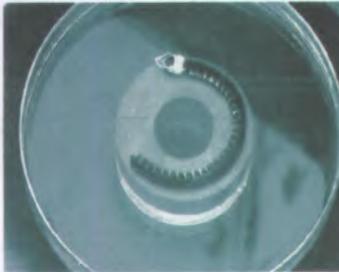


**Gambar 2.4** Pemuluran dan kontraksi ferogel akibat pengaruh medan magnet inhomogen yang dihasilkan oleh elektromagnet.

(a) tanpa medan magnet (b) medan magnet *off*, (c) medan magnet *on*.

Sudah dilakukan beberapa eksperimen yang menggunakan solenoid di sekitar sampel berbentuk jari yang dibuat dari PVA hidrogel yang terisi dengan partikel magnetik.

Suatu solenoid dibentuk dengan melilit suatu kawat panjang dalam wujud suatu garis sekrup/spiral solenoid. Medan magnet bagian dalam dari suatu solenoid diukur berdasarkan hukum Ampere ( $B = \mu_0(N/l)I = \mu_0 nI$ ) dan  $B$  adalah fluks magnetik,  $\mu_0$  adalah permeabilitas ruang hampa,  $N$  adalah banyaknya putaran dalam panjangnya  $l$ ,  $n = N/l$  dan  $I$  adalah arus listrik. Untuk menimbulkan fluks magnetik yang berbeda pada tempat yang berbeda pada jari tiruan, dibuat semacam goresan pada jari tiruan sedemikian sehingga jari tiruan akan membengkok, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5 (Ramanujan, 2006).



**Gambar 2.5** Perubahan bentuk ferogel karena medan magnet *nonuniform*.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Bahan

Bahan dasar yang digunakan dalam penelitian ini berupa pasir besi yang diambil dari Sungai Regoyo, Desa Gondoruso, Kecamatan Pasirian, Kabupaten Lumajang. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bahan larutan asam klorida (HCl) 12,063 M, larutan ammonium hidroksida ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) 6,5 M, *polyvinyl alcohol* (PVA), dan air destilasi.

### 3.2 Peralatan

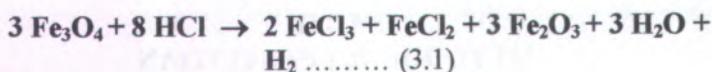
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Pemanas dan pengaduk magnetik (magnetic stirrer)
2. *X-Ray Diffractometer* ( XRD ) JEOL JDX-3530
3. Lemari es
4. *Autograph Shimadzu* AG-10TE
5. Gelas ukur
6. Gelas beker
7. Magnet permanen
8. Timbangan digital
9. Pipet
10. Pengaduk
11. Corong
12. Kertas saring dan tisu.

### 3.3 Prosedur Kerja

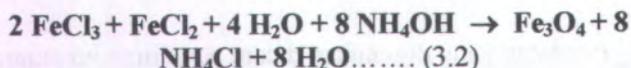
#### 3.3.1 Preparasi $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Pasir besi yang diperoleh dikeringkan, kemudian diekstraksi dengan menggunakan magnet permanen. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan bahan dasar  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang diperoleh, selanjutnya ditambah HCl dengan reaksi sebagai berikut :



$\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang telah ditambah HCl kemudian diaduk dalam pengaduk magnetik selama kurang lebih 20 menit dengan suhu  $70^\circ\text{C}$  sampai pasir besi terlarut.

Pasir besi yang terlarut dipisahkan dengan menggunakan kertas saring agar diperoleh partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan kemurnian tinggi. Setelah itu selama 20 menit larutan diaduk kembali dengan pengaduk magnetik dengan kecepatan lebih kecil dan pemanasannya dinaikkan menjadi  $100^\circ\text{C}$ , sedikit demi sedikit ditambahkan  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Reaksinya adalah:



Selanjutnya larutan disaring dengan kertas saring dan dicuci berkali-kali sampai air cucian jernih dan diambil endapannya. Diagram alir dari eksperimen ini ditunjukkan pada Gambar 3.1

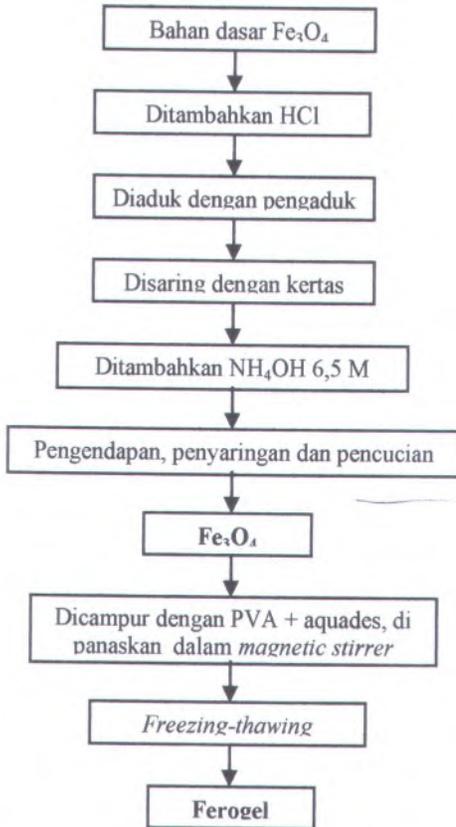


Gambar 3.1 Prosedur preparasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

### 3.3.2 Pembuatan Ferogel

Langkah-langkah pembuatan ferogel ditunjukkan pada Gambar 3.2. PVA dicampur dengan air dengan

perbandingan 13 : 200, 18 : 100, 23 : 100, 28 : 100 dan 33 : 100. Campuran ini kemudian diaduk dan dipanaskan dalam pengaduk magnetik pada suhu antara 70-90 °C untuk meningkatkan kelarutan PVA dalam air.



**Gambar 3.2** Prosedur pembuatan ferogel

Setelah PVA benar-benar larut dalam air, kemudian Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dimasukkan dalam larutan dan diaduk sampai merata. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang digunakan adalah sebanyak 2,5%; 5%; 7,5% dan 10 %

berat untuk larutan PVA – air 23 : 100. Sementara untuk larutan PVA – air 13 : 100, 18 : 100, 23 : 100, 28 : 100, dan 33 : 100 digunakan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sebanyak 10% berat. Selanjutnya larutan ini didinginkan dan dipanaskan secara berulang-ulang sampai terbentuk gel yang diinginkan.

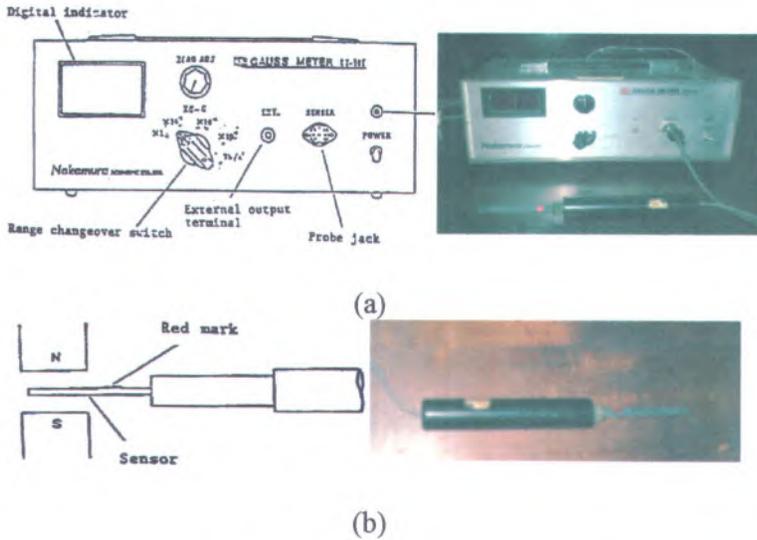
Seluruh langkah-langkah di atas dapat dibuat dalam bentuk diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.

### 3.3.3 Pengujian dengan Gauss meter

Gauss meter yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipe OSK 5044 buatan Ogawa Seiki Co., Ltd Jepang. Alat ini digunakan untuk mengukur kerapatan fluks magnet dan polarisasi magnet dengan menggunakan sensor GaAs. Adapun spesifikasi dari alat ini adalah sebagai berikut :

- Rentang pengukuran adalah :
  - 0,001999  $\text{wb/m}^2$  (0 – 19,99 g)
  - 0,01999  $\text{wb/m}^2$  (0 – 199,9 g)
  - 0,1999  $\text{wb/m}^2$  (0 – 1,999 kg)
  - 1,999  $\text{wb/m}^2$  (0 – 19,9 kg)
- Toleransi 5%
- Elemen sensor GaAs
- Alat sensor berbentuk seperti pipa memanjang dan digunakan secara tegak lurus terhadap medan magnet
- Polaritas + menyatakan kutub utara dan - menyatakan kutub selatan
- Terminal keluaran adalah tegangan standar sebesar 100 mV
- Sumber tegangan AC 100 V (50/60 Hz)
- Ukuran 300 x 210 x 125 mm

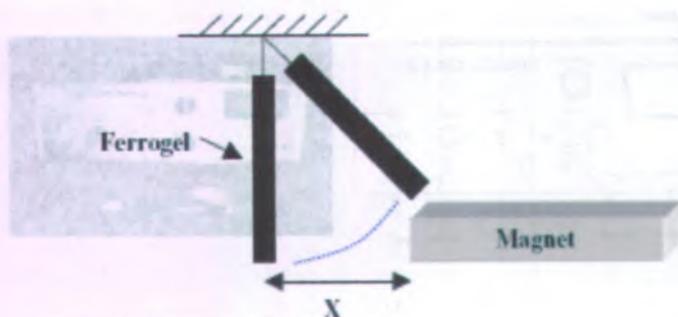
Gambar Gaussmeter ditunjukkan pada Gambar 3.3



Gambar 3.3. (a) Alat Gauss meter (b) Cara pengukuran kemagnetan

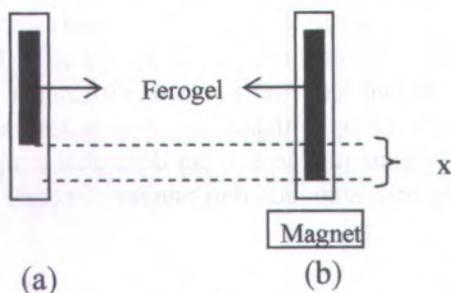
### 3.3.4 Pengukuran Respon Magnetik Ferogel

Respon magnetik ferogel dapat diketahui dengan menyusun perangkat percobaan seperti pada Gambar 3.2. Sampel didekatkan ke suatu medan magnet statis dari magnet permanen dengan kuat medan magnet sekitar 70 mT. Tanggapan (respon) ferogel terukur oleh tingkat pembelokannya. Sampel digantung dengan tali sehingga dapat bergerak bebas ketika dikenai medan magnet. Variasi medan magnet diperoleh dengan menggerakkan magnet ke arah atau jauh dari pangkal ferogel.



**Gambar 3.4** Perangkat Percobaan untuk mengukur respon ferogel terhadap medan magnet

Tanggapan ferogel juga dapat dilihat dari pemuluran ferogel ketika didekatkan pada magnet. Perangkat percobaan ditunjukkan oleh set alat eksperimen pada Gambar 3.5. Gambar 3.5(a) menunjukkan ferogel dalam kondisi sebelum diberi medan magnet dan Gambar 3.5(b) menunjukkan adanya pemuluran ferogel karena kekuatan medan magnet. Berdasarkan set alat eksperimen ini kebergantungan pemuluran terhadap konsentrasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  di dalam pengaruh kekuatan medan magnet dapat diamati.



**Gambar 3.5** Perangkat percobaan untuk menguji pemuluran ferogel: (a) tanpa medan magnet; (b) dengan medan magnet

### 3.3.5 Pengukuran Sifat Mekanik

Sifat mekanik dapat diuji dengan menggunakan uji tarik, yaitu untuk mengetahui modulus Young dari ferogel. Uji tarik dilakukan di Laboratorium Dasar Bersama (LDB) Universitas Airlangga Surabaya. Alat yang digunakan adalah tipe *Autograph Shimadzu AG-10TE*.



(a)



(b)

**Gambar 3.6** Alat uji tarik

### "Halaman ini sengaja dikosongkan"

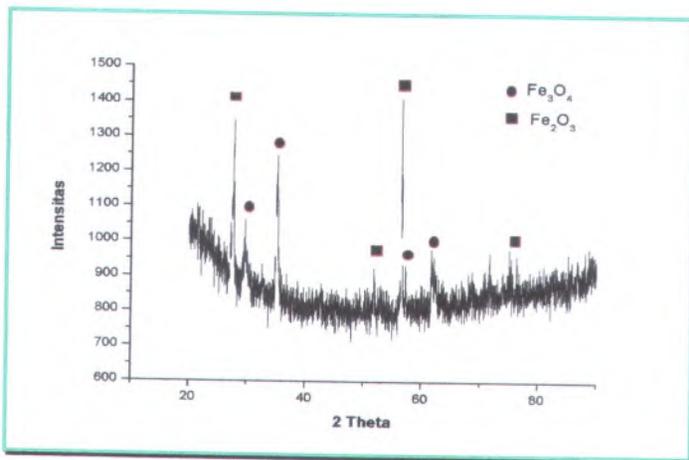
Halaman ini sengaja dikosongkan. Hal ini dilakukan untuk memberikan ruang yang lebih luas kepada pembaca untuk berdiskusi dan berinteraksi dengan materi yang disajikan. Kami berharap hal ini dapat meningkatkan pemahaman dan minat belajar Anda.



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Analisis Kandungan Pasir

Dalam penelitian ini digunakan pasir yang diambil dari sungai Regoyo, Desa Gondoruso, Kecamatan Pasirian, Kabupaten Lumajang. Pasir yang telah diekstraksi, kemudian dilakukan uji XRD untuk mengetahui fasa-fasa apa yang ada di dalam ekstrak pasir besi. Hasil uji XRD dapat dilihat pada Gambar 4.1 (Anwar, 2007).



Gambar 4.1 Pola XRD Ekstraksi Pasir Besi

Hasil uji XRD menunjukkan bahwa kandungan pasir besi hasil ekstraksi berupa dua fasa kristal, yaitu Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, tidak ada fasa lain seperti SiC yang ditemukan. Hal ini dikarenakan pasir telah mengalami ekstraksi yang menggunakan magnet permanen, dimana hanya partikel yang benar-benar menempel kuat pada magnet permanen yang diambil. Hasil analisis kuantitatif

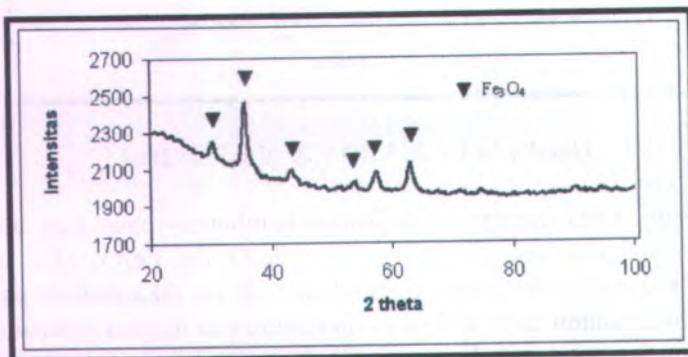
ekstraksi pasir ini menunjukkan prosentase kandungan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang ditunjukkan dalam Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Analisis Kualitatif dan Kuantitatif Pasir Ekstraksi

No	Jenis Fase	Prosentase Kandungan %
1	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	51,37
2	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	48,63

#### 4.2 Analisis Sintesis Bahan

Pasir besi hasil ekstraksi kemudian diolah lebih lanjut untuk mendapatkan fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (ferit). Sintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dilakukan dengan metode kopresipitasi. Pasir besi ditambah dengan HCl dan  $\text{NH}_4\text{OH}$  dengan reaksi ditunjukkan pada Persamaan 3.1 dan Persamaan 3.2. Hasil sintesis dengan pengujian XRD menunjukkan prosentase kadar  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  mencapai 100% dengan ukuran kristal 7,06 nm, dapat dilihat pada Gambar 4.2 (Anwar, 2007). Dalam proses pelarutan pasir besi ini menggunakan asam klorida dengan melakukan pengadukan dan pemanasan 70-90°C untuk membantu proses pelarutan. Pemanasan ini juga bertujuan untuk mengubah fasa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  menjadi fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  melalui proses oksidasi.

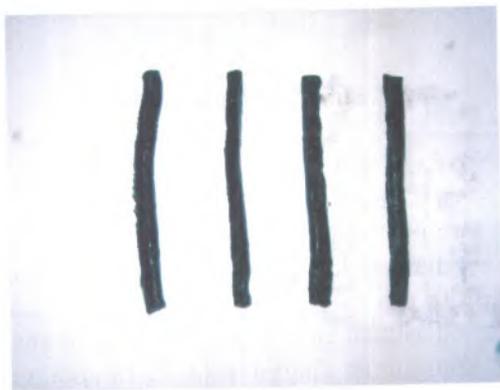


**Gambar 4.2** Pola XRD Ferit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

Ukuran partikel yang dihasilkan adalah berkisar antara 17,8 – 53,6 nm (Ani, 2007). Bila dibandingkan dengan hasil yang telah dilaporkan seperti pada Bab II, ukuran partikel ferit hasil kopesipitasi bervariasi dari 3 nm sampai 51 nm (Liong, 2005).

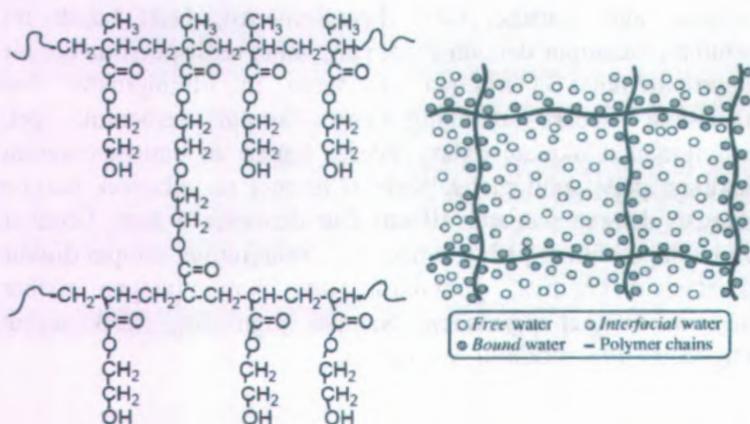
### 4.3 Preparasi Ferogel

Bahan dasar  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang telah diperoleh dari penyaringan hasil reaksi pada Persamaan (3.2), kemudian dibiarkan mengendap beberapa waktu, tetapi tidak sampai kering. Hal ini bertujuan agar partikel tidak beraglomerasi. Ferit basah ini kemudian dicampur dengan PVA yang telah terdispersi dalam air hingga merata. Selanjutnya campuran ini didinginkan dan dipanaskan secara berulang-ulang sampai terbentuk gel. Pendinginan dilakukan dalam *freezer* lemari es dan pemanasan dilakukan pada suhu ruang. Sampel ferogel ini dibentuk berupa batangan dengan panjang 10 cm dan diameter 6 mm. Gambar sampel dapat dilihat pada Gambar 4.3. Selanjutnya sampel diukur kekuatan magnetnya, pemuluran dan penyimpangan akibat pengaruh magnet permanen. Sampel juga diuji tarik untuk mengetahui nilai modulus Youngnya.



Gambar 4.3 Bentuk sampel ferogel

Proses terbentuknya gel dari PVA telah diketahui sejak lama. Dalam larutan cairan dengan konsentrasi polimer lebih dari 1%, menyebabkan terbentuknya agregat molekul PVA dengan ikatan hidrogen. Hal ini merupakan konsekuensi dari ketergantungan terhadap waktu pembentukan daerah inti kristal dan mikrokristalin. Penelitian awal mengusulkan bahwa separasi fase cairan-cairan secara spinodal diikuti oleh kristalisasi dari bagian rantai PVA, merupakan sumber dari pembentukan gel dalam larutan PVA dalam air (Hernandez, 2004).



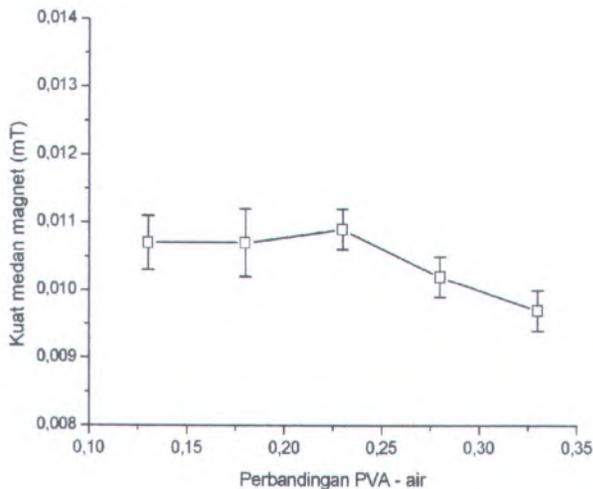
Gambar 4.4 Struktur gel

Larutan PVA dapat juga membentuk gel jika dilakukan pendinginan – pemanasan (*freezing – thawing*) secara berulang. PVA gel yang terikat silang (*crosslinked*) secara fisis ini, yang disebut *cryogel*, menunjukkan tingkat penggembungan (*swelling*) yang tinggi di dalam air. Di dalam proses *freezing-thawing*, kristalisasi air dihasilkan dalam pembentukan domain interstisi dari polimer konsentrasi tinggi. Jika rantai polimer memiliki konsentrasi domain ini lebih tinggi, maka akan mempunyai kemungkinan lebih besar untuk terkristalisasi lebih dulu dari pada

yang lainnya. Sifat gel ini tergantung pada berat molekul dari polimer, konsentrasi larutan cair PVA, temperatur dan waktu *freezing - thawing*, dan banyaknya siklus *freezing - thawing* (Hernandez, 2004). Struktur gel ini ditunjukkan pada Gambar 4.4. Dalam penelitian ini gel dibuat dengan proses *freezing - thawing* dengan variasi konsentrasi larutan cair PVA untuk matrik dan variasi konsentrasi ferit sebagai *filler*. Sifat - sifat yang diamati pada penelitian ini dipengaruhi oleh dua hal tadi, yaitu konsentrasi polimer dan konsentrasi ferit.

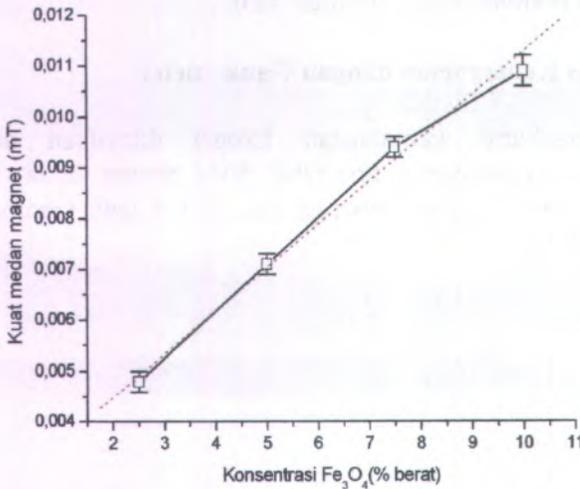
#### 4.4 Analisis Kemagnetan dengan Gauss meter

Pengukuran kemagnetan ferogel dilakukan dengan menggunakan Gaussmeter tipe OSK 5044 buatan Ogawa Seiki Co., Ltd Jepang. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.



**Gambar 4.5.** Pengaruh perbandingan PVA : air terhadap kemagnetan ferogel.

Gambar 4.4 menunjukkan pengaruh perbandingan PVA – air terhadap kemagnetan ferogel. Berdasarkan Gambar 4.5 terlihat bahwa mulai komposisi PVA – air 23 : 100, kemagnetan ferogel memperlihatkan penurunan seiring dengan meningkatnya komposisi PVA. Selisih antara nilai terbesar dan terkecil sebesar 0,0012 mT.

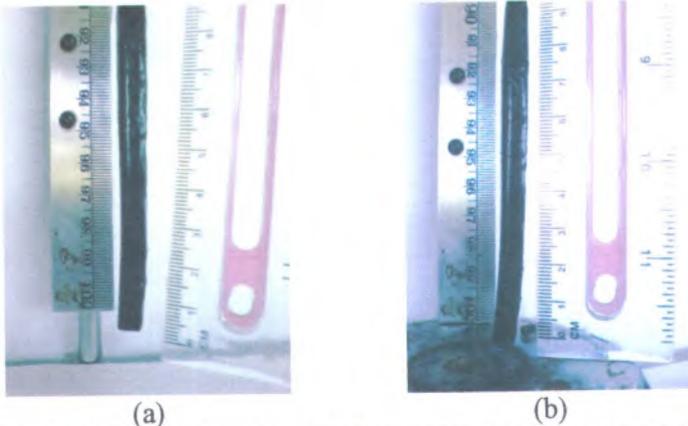


**Gambar 4.6.** Pengaruh konsentrasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  terhadap kemagnetan ferogel.

Gambar 4.6 menunjukkan pengaruh konsentrasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  terhadap kemagnetan ferogel. Berdasarkan Gambar 4.6 tampak bahwa kemagnetan sampel meningkat seiring bertambahnya konsentrasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Hal ini terjadi karena memang pembawa sifat magnet pada ferogel adalah berasal dari partikel ferit yang berperan sebagai *filler*. Sedangkan PVA yang telah terdispersi dalam air berfungsi sebagai matrik tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kemagnetan ferogel.

#### 4.5 Sifat Magnetoelastik dari Ferogel

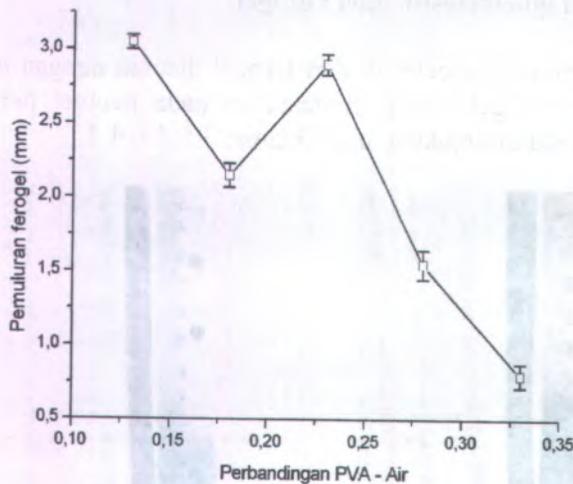
Sifat magnetoelastik dari ferogel diamati dengan melihat reaksi dari ferogel ketika di dekatkan pada magnet permanen secara vertikal ditunjukkan pada Gambar 3.5 dan 4.7.



**Gambar 4.7.** Pemuluran ferogel dalam pengaruh medan magnet. (a) Sebelum ada magnet, (b) Sesudah ada magnet

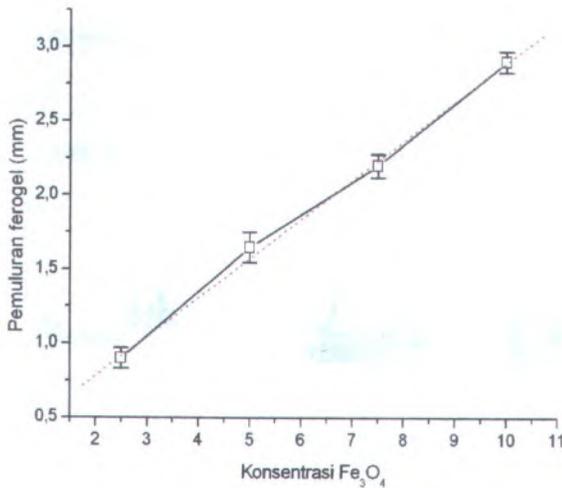
Ketika ferogel didekatkan pada magnet permanen, maka akan terjadi pemuluran, dan ketika magnet permanen dijauhkan, maka ferogel kembali ke ukuran semula. Fenomena di atas menunjukkan bahwa telah terjadi penggabungan sifat antara PVA sebagai matrik dan ferit sebagai *filler*. PVA yang bersifat elastik dan ferit yang bersifat manetik bergabung membentuk sifat baru, yaitu magnet elastis. Besarnya pemuluran ferogel untuk berbagai macam variasi perbandingan PVA : air serta variasi konsentrasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ditunjukkan pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.





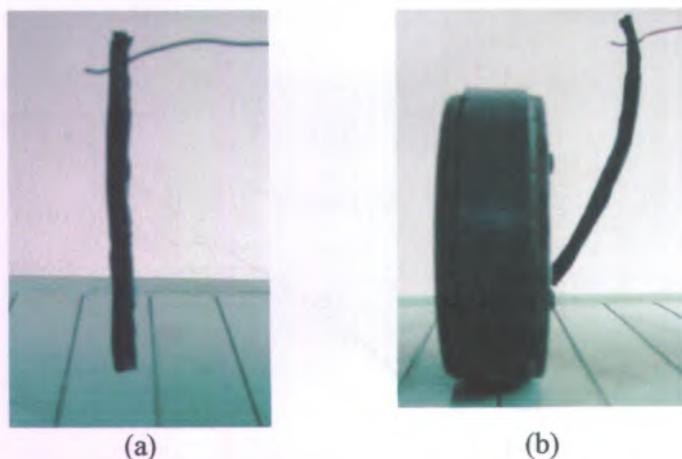
**Gambar 4.8.** Pemuluran ferogel akibat pengaruh medan magnet : Pengaruh variasi PVA

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa pemuluran ferogel mengalami penurunan seiring peningkatan komposisi PVA – air, kecuali pada komposisi PVA – air 23 : 100, sedangkan untuk konsentrasi ferit yang semakin besar, pemulurannya meningkat (Gambar 4.9). Hal ini mengindikasikan bahwa pemuluran dipengaruhi oleh dua hal, yaitu komposisi PVA – air dan konsentrasi ferit. Berdasarkan Gambar 4.8 tampak bahwa ferogel dengan perbandingan PVA – air 23 : 100 menunjukkan hasil yang lebih baik dibanding ferogel dengan perbandingan PVA – air lainnya. Hal ini karena pemuluran pada komposisi ini hampir sama dengan pemuluran pada komposisi 13 : 100 yang menghasilkan ferogel relatif lebih lembek.

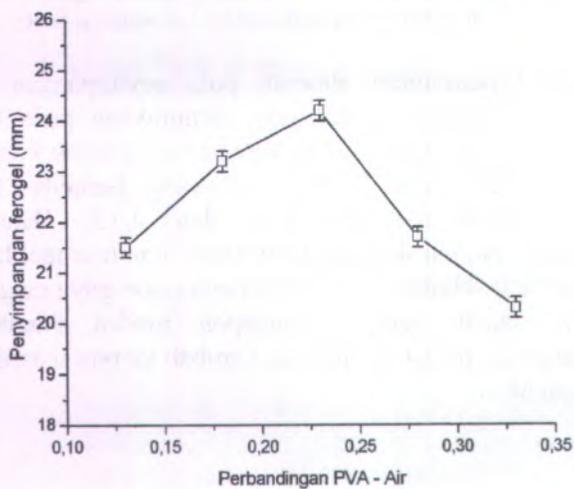


**Gambar 4.9.** Pemuluran ferogel akibat pengaruh medan magnet : pengaruh variasi konsentrasi ferit.

Selain pemuluran, diamati pula peyimpangan ferogel akibat adanya medan magnet yang ditunjukkan pada Gambar 4.10. Besarnya penyimpangan ini berbeda-beda untuk konsentrasi ferit dan perbandingan PVA – air yang berbeda. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.11 dan 4.12. Dalam hal penyimpangan ini, partikel magnetik (ferit) dan hidrogel bergerak bersama sebagai sebuah sistem dalam merespon gaya magnet dari magnet permanen, sampel merespon medan magnet dan menyimpang dari posisi semula dan kembali ke posisi awal ketika magnet dijauhkan.

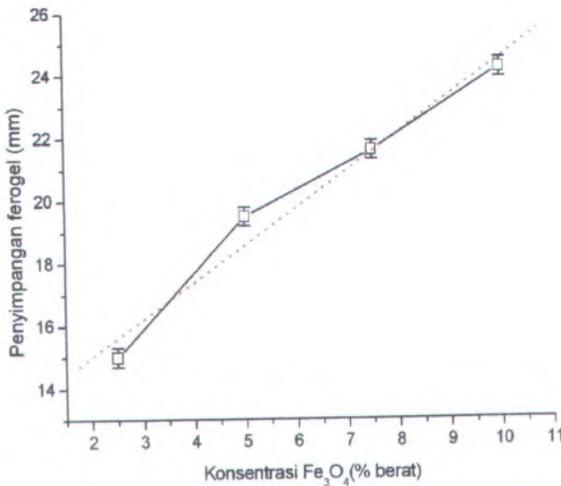


**Gambar 4.10.** Penyimpangan ferogel akibat pengaruh medan magnet; (a) Sebelum ada magnet (b) Sesudah ada magnet



**Gambar 4.11.** Penyimpangan ferogel : Pengaruh perbandingan PVA : air

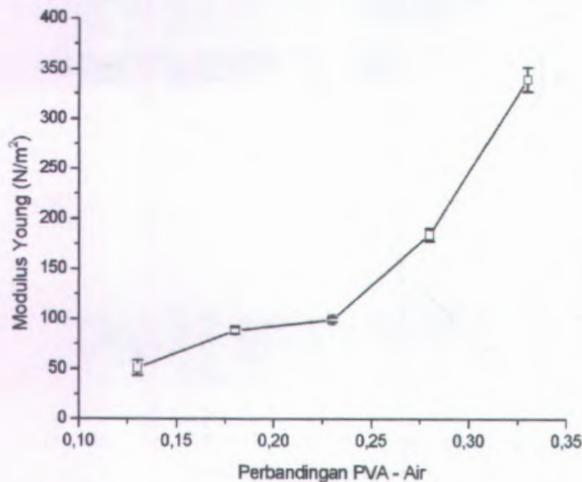
Berdasarkan Gambar 4.11 diketahui bahwa pada komposisi PVA – air yang berbeda, mula – mula penyimpangan naik seiring naiknya PVA sampai komposisi PVA – air 23 : 100, tetapi untuk komposisi di atas nilai ini penyimpangan kembali turun. Dari hasil ini sekali lagi dapat dikatakan bahwa komposisi PVA – air 23 : 100 adalah komposisi yang menghasilkan ferogel dengan penyimpangan terbesar dibandingkan ferogel dengan komposisi PVA – air yang lain. Hal ini berkaitan dengan persebaran partikel dalam hidrogel. Pada komposisi hidrogel di bawah 23 : 100, partikel tersebar kurang merata karena pada komposisi ini hidrogel yang terjadi cukup lembek sehingga masih ada kemungkinan partikel ferit yang teraglomerasi di suatu tempat pada gel. Demikian juga pada komposisi di atas 23 : 100, hidrogel yang terbentuk menjadi lebih "kaku", sehingga partikel sulit tersebar secara merata karena terperangkap dalam rantai PVA.



**Gambar 4.12.** Penyimpangan ferogel: Pengaruh konsentrasi ferit

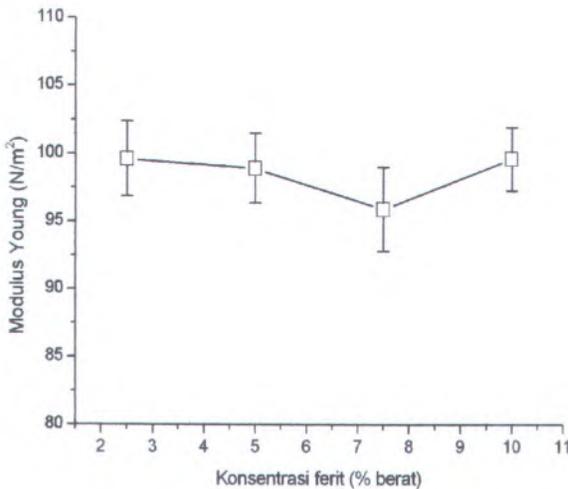
Gambar 4.12 menunjukkan pengaruh konsentrasi ferit terhadap penyimpangan ferogel. Jika konsentrasi ferit semakin besar, maka ferogel dapat menyimpang dari jarak yang semakin jauh. Hal ini wajar karena pada ferogel sumber sifat magnetiknya berasal dari partikel ferit, sehingga semakin besar konsentrasi ferit kemagnetannya meningkat, akibatnya ferogel semakin mudah merespon terhadap medan magnetik luar.

Sifat mekanik ferogel yang diamati adalah modulus Young. Modulus Young sampel dapat diketahui dengan uji tarik dengan peralatan uji tarik tipe Autograph Shimadzu AG-10TE di Laboratorium Dasar Bersama (LDB) Universitas Airlangga. Modulus Young ferogel dihitung dari kemiringan (tangen) kurva *stress - strain*. Hasil pengujian disajikan pada Gambar 4.13 dan 4.14.



**Gambar 4.13** Modulus Young ferogel dengan variasi perbandingan PVA : air

Gambar 4.13 menunjukkan bahwa modulus Young ferogel semakin meningkat seiring peningkatan komposisi PVA – air. Hal ini berarti bahwa sifat mekanik dari ferogel sebagian besar ditentukan oleh komposisi PVA – air. Gambar 4.14 menunjukkan bahwa modulus Young ferogel pada konsentrasi berbeda, besarnya hampir sama, kecuali pada konsentrasi 7,5%. Perbedaan ini dapat dijelaskan sebagai berikut : efek magnetik pada modulus elastisitas dapat diabaikan dengan menganggap bahwa gel magnetik dalam bentuk sistem *dilute magnetic*. Sistem ini terjadi jika konsentrasi partikel ferit  $\sim 10^{-2}$  (Zrinyi, 1997). Jadi perbedaan nilai modulus elastisitas pada penelitian ini disebabkan karena ferogel yang terbentuk tidak berupa *dilute magnetic*.



**Gambar 4.14** Modulus Young ferogel dengan variasi konsentrasi ferit.

Berdasarkan hasil ini menunjukkan bahwa sifat mekanik (modulus Young) ferogel tergantung pada komposisi PVA – air. Konsentrasi partikel ferit tidak memberikan pengaruh yang signifikan pada besarnya modulus Young, tetapi memberikan

pengaruh pada sifat magnetik ferogel. Dengan kata lain dapat dikatakan bahwa ferogel memiliki sifat magneto-elastik; gabungan dari sifat magnetik partikel ferit sebagai *filler* dan sifat elastik dari PVA sebagai matrik.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain :

1. Komposisi yang tepat untuk membuat ferogel adalah dengan perbandingan PVA – air 23 : 100.
2. Ferogel menunjukkan pemuluran dan penyimpangan dalam pengaruh medan magnet dan kembali ke bentuk semula ketika medan magnet ditiadakan.
3. Kemagnetan, pemuluran dan penyimpangan ferogel sangat tergantung pada konsentrasi  $Fe_3O_4$ . Komposisi PVA – air tidak berpengaruh signifikan terhadap kemagnetan, tetapi cukup berpengaruh pada pemuluran dan penyimpangan.
4. Modulus young ferogel sangat dipengaruhi oleh komposisi PVA – aquades. Partikel  $Fe_3O_4$  tidak berpengaruh signifikan terhadap modulus Young ferogel.

### 5.2 Saran

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini masih perlu banyak perbaikan dan penyempurnaan, sehingga perlu disampaikan beberapa saran antara lain :

1. Perlu dikaji pengaruh suhu dan jumlah siklus *freezing – thawing* terhadap sifat ferogel.
2. Perlu dicoba *crosslink agent* jenis lain untuk memvariasi sifat elastis dari ferogel dan untuk mendapatkan ferogel yang tahan lama di dalam suhu ruang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ani, Sistin A. (2007). *Analisis Ukuran dan Korelasi Nanopartikel  $Fe_3O_4$  dalam Fluida Magnetik dengan Teknik Hamburan Neutron Sudut Kecil*. Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Anwar, Muhammad. (2007). *Sintesis dan Karakterisasi Ferrofluida Berbahan Dasar Pasir Besi PEG-400 sebagai Media Template*. Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Arisandi, Dhesi Mia. (2007). *Pengaruh Pemanasan dan Jenis Surfaktan pada Sifat Magnetik Ferrofluida Berbahan Dasar Pasir Besi*. Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Cowd, M.A (1991). *Kimia Polimer*. Penerbit ITB, Bandung
- Hernandez, Rebeca dkk. (2004). *Viscoelastic Properties of Polyvinyl alcohol Hydrogels and Ferrogels Obtained through Freezing-Thawing Cycles*. Polymer 46 sciencedirect.
- Lao, L.L and R.V. Ramanujan (2004). *Magnetic and hydrogel composite materials for hyperthermia applications*. Journal of Materials Science : Materials in Medicine
- Liong, Sylvia (2005). *A Multifunctional Approach to Development, Fabrication, and Characterization of  $Fe_3O_4$  Composites*. Disertasi, Georgia Institut of Technology
- Moniadah, Yuni (2004). *Pengaruh variable kompaksi terhadap kompaktibilitas bahan komposit*. Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Saxena, S.K (2004). *Polyvinyl Alcohol (PVA). Chemical and technical Assessment (CTA)*. 61<sup>st</sup> JECFA FAO

Unknown, *Introduction Manual For Gauss Meter*, Ogawa Seiki CO., LTD, Tokyo, Jepang.

Ramanujan, R.V dan L.L. Lao. (2006). *The mechanical behaviour of smart magnet-hydrogel composites*. Institute of Physics Publishing : Smart Materials and Structures 15.

Ramanujan, R.V dan L.L. Lao (2004). *Magnetic Particles for Hyperthermia Treatment of Cancer*. Proceeding First International Bioengineering Conference, Singapore.

Ramanujan, R.V. (2004). *Clinical application of magnetic nanomaterials*. Proceeding First International Bioengineering Conference, Singapore.

Zrinyi, M, L. Barsi & A. Biiki (1997) *Ferrogel: a new magneto-controlled elastic medium*. Polymer Gels and Networks 5, 415-427

<http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetite>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Polyvinyl\\_alcohol](http://en.wikipedia.org/wiki/Polyvinyl_alcohol)

Lampiran 1

DATA EKSPERIMEN

No	Sampel	Kemagnetan (mT)	Pemuluran (mm)	Penyimpan gan (mm)	Modulus Young (N/m <sup>2</sup> )
1	1A	0,0107±0,0004	3,5 ± 0,05	21,5±0,2	51,300±7,591
2	1B	0,0107±0,0005	2,15±0,08	23,2±0,2	89,055±3,080
3	1C	0,0109±0,0003	2,9±0,07	24,2±0,2	99,626±2,340
4	1D	0,0102±0,0003	1,55±0,1	21,7±0,2	184,360±6,261
5	1E	0,0097±0,0003	0,8±0,08	20,3±0,2	339,800±12,653
6	2A	0,0048±0,0002	0,9±0,07	15±0,3	99,614±2,778
7	2B	0,0071±0,0002	1,65±0,1	19,5±0,3	98,918±2,581
8	2C	0,0094±0,0002	2,2±0,08	21,6±0,3	95,908±3,104
9	2D	0,0109±0,0003	2,9±0,07	24,2±0,2	99,626±2,340

Keterangan nama Sampel :

Nama Sampel	Perbandingan PVA – air	Konsentrasi ferit
1A	13 : 100	10 %
1B	18 : 100	10 %
1C	23 : 100	10 %
1D	28 : 100	10 %
1E	33 : 100	10 %
2A	23 : 100	2,5 %
2B	23 : 100	5 %
2C	23 : 100	7,5 %
2D	23 : 100	10 %

## Lampiran 2

### PERHITUNGAN MODULUS ELASTISITAS

Dari uji tarik diperoleh data berupa besarnya gaya tarik (load) dan besarnya pertambahan panjang. Dari data ini kemudian dibuat kurva tegangan-regangan, dan kemiringan (slope) dari kurva merupakan besarnya modulus elastisitas.

Adapun data pengujian tarik adalah sebagai berikut:

- panjang awal sampel ( $l_0$ ) = 10 cm = 0,1 m
- diameter sampel = 6 mm =  $6 \times 10^{-3}$  m
- luas penampang ( $A$ ) =  $2,826 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>

#### 1. Sampel 1A

Load	$\Delta l$ (m)	tegangan (F/A)	regangan ( $\Delta l/l_0$ )
0,0005	0,0081	17,69285	0,081
0,001	0,0332	35,3857	0,332
0,0015	0,0756	53,07856	0,756

#### 2. Sampel 1B

Load	$\Delta l$ (m)	tegangan (F/A)	regangan ( $\Delta l/l_0$ )
0,0005	0,0154	17,69285	0,154
0,001	0,0381	35,3857	0,381
0,0015	0,0557	53,07856	0,557
0,002	0,0756	70,77141	0,756

#### 3. Sampel 1C

$\Delta l$	Load (kgf)	tegangan (F/A)	regangan ( $\Delta l/l_0$ )
0,0005	0,0105	17,69285	0,105

0,001	0,0281	35,3857	0,281
0,0015	0,0478	53,07856	0,478
0,002	0,0652	70,77141	0,652
0,0025	0,0806	88,46426	0,806

## 4. Sampel 1D

<i>Load</i>	$\Delta l$ (m)	tegangan (F/A)	regangan ( $\Delta l/l_0$ )
0,0005	0,0078	17,69285	0,078
0,001	0,0179	35,3857	0,179
0,0015	0,0253	53,07856	0,253
0,002	0,033	70,77141	0,33
0,0025	0,043	88,46426	0,43
0,003	0,0506	106,1571	0,506
0,0035	0,0608	123,85	0,608
0,004	0,0753	141,5428	0,753
0,0045	0,0854	159,2357	0,854

## 5. Sampel 1E

<i>Load</i>	$\Delta l$ (m)	tegangan (F/A)	regangan ( $\Delta l/l_0$ )
0,001	0,0052	35,3857	0,052
0,0015	0,0103	53,07856	0,103
0,002	0,0153	70,77141	0,153
0,0025	0,0202	88,46426	0,202
0,0035	0,0253	123,85	0,253
0,004	0,0303	141,5428	0,303
0,0045	0,0353	159,2357	0,353
0,005	0,0403	176,9285	0,403
0,0055	0,0478	194,6214	0,478
0,0065	0,0578	230,0071	0,578
0,007	0,0653	247,6999	0,653
0,0075	0,0705	265,3928	0,705
0,008	0,0805	283,0856	0,805

## 6. Sampel 2A

<i>Load</i>	$\Delta l$ (m)	tegangan (F/A)	regangan ( $\Delta l/l_0$ )
0,0005	0,0104	17,69285	0,104
0,001	0,0281	35,3857	0,281
0,0015	0,0482	53,07856	0,482
0,002	0,0653	70,77141	0,653
0,0025	0,0804	88,46426	0,804

## 7. Sampel 2B

<i>Load</i>	$\Delta l$ (m)	tegangan (F/A)	regangan ( $\Delta l/l_0$ )
0,0005	0,0104	17,69285	0,104
0,001	0,0281	35,3857	0,281
0,0015	0,0482	53,07856	0,482
0,002	0,0656	70,77141	0,656
0,0025	0,0809	88,46426	0,809
0,0005	0,0104	17,69285	0,104

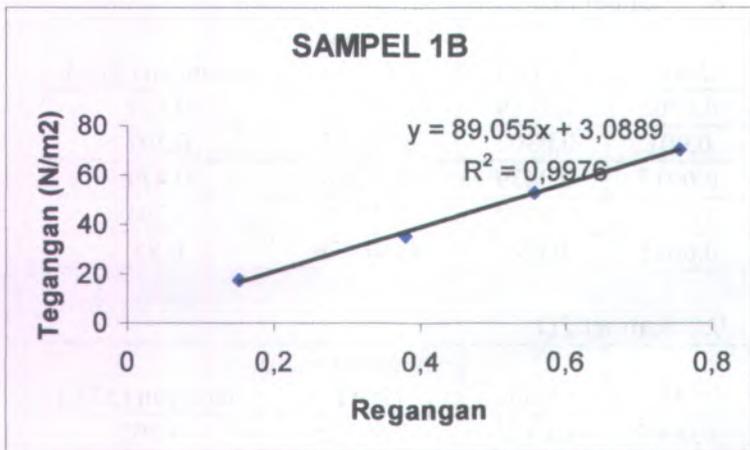
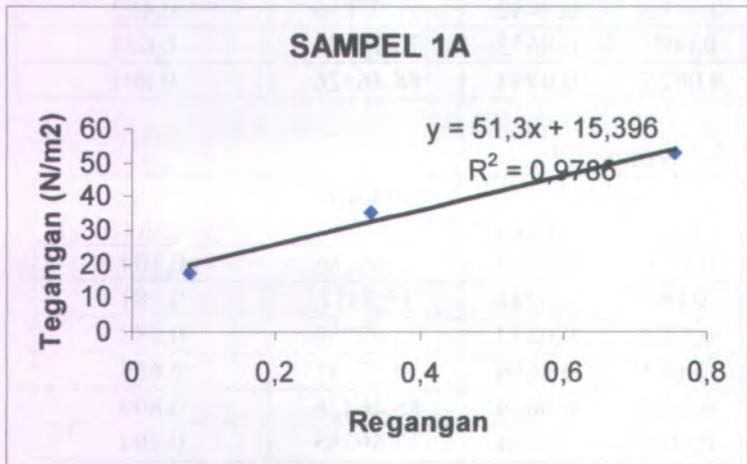
## 8. Sampel 2C

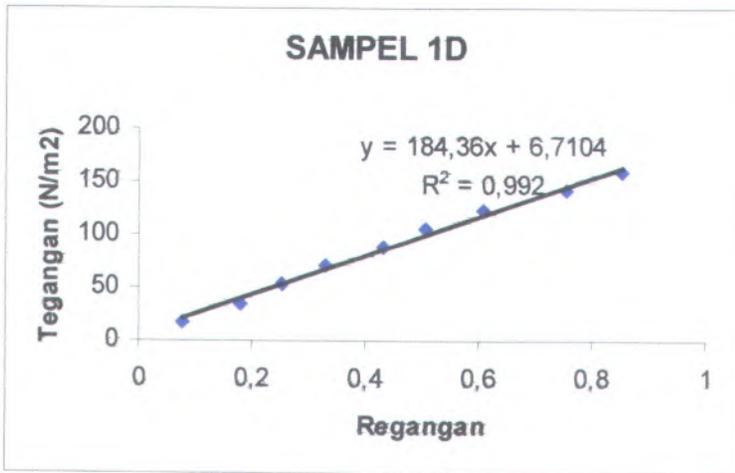
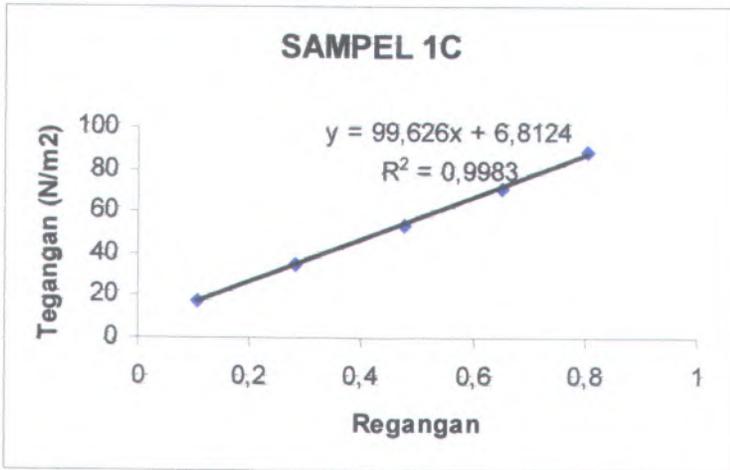
<i>Load</i>	$\Delta l$ (m)	tegangan (F/A)	regangan ( $\Delta l/l_0$ )
0,0005	0,0129	17,69285	0,129
0,001	0,0307	35,3857	0,307
0,0015	0,0479	53,07856	0,479
0,002	0,0704	70,77141	0,704
0,0025	0,085	88,46426	0,85

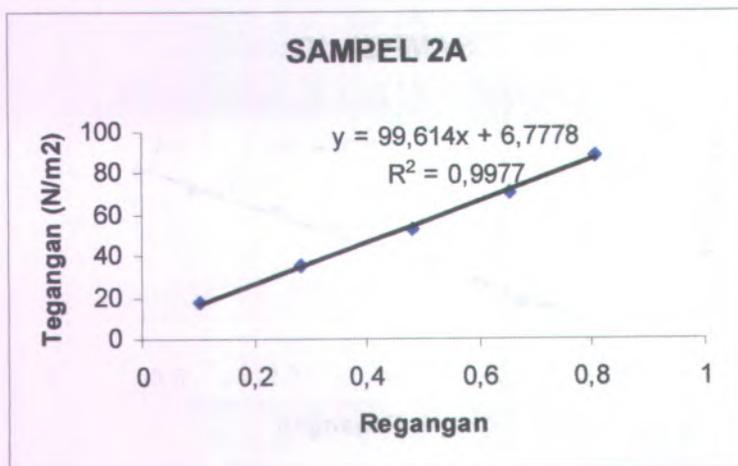
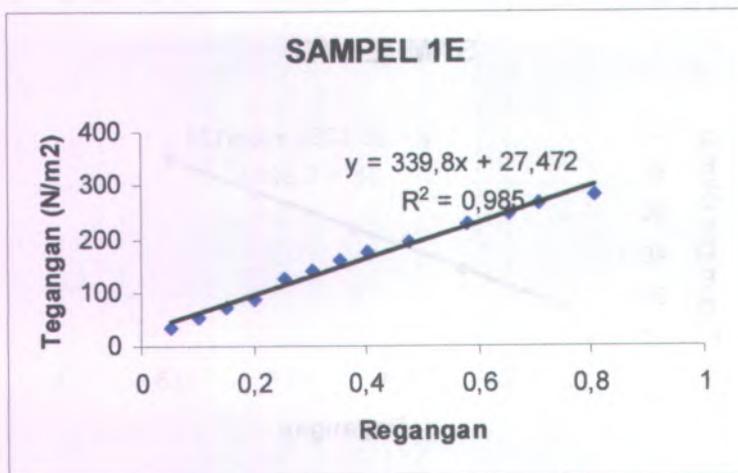
## 9. Sampel 2D

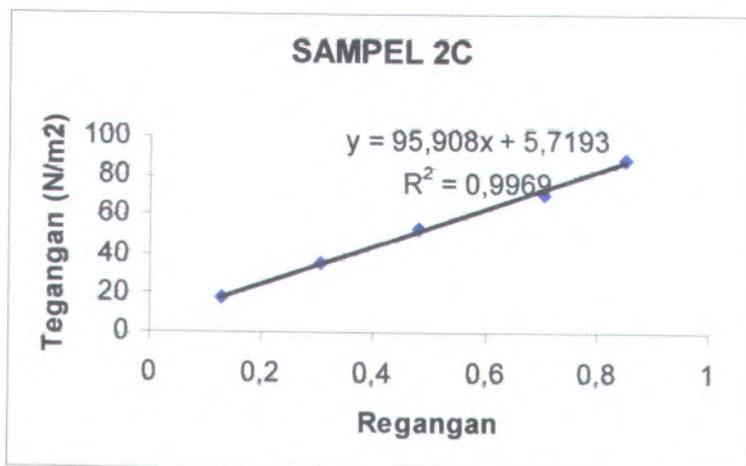
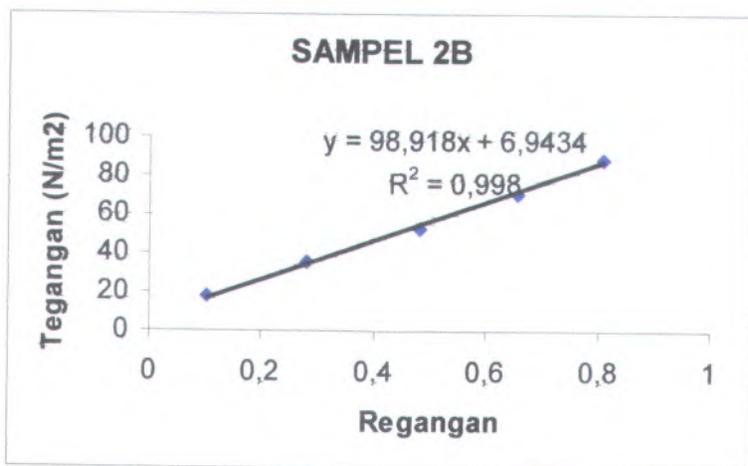
$\Delta l$	load	tegangan (F/A)	regangan ( $\Delta l/l_0$ )
0,0005	0,0105	17,69285	0,105
0,001	0,0281	35,3857	0,281
0,0015	0,0478	53,07856	0,478

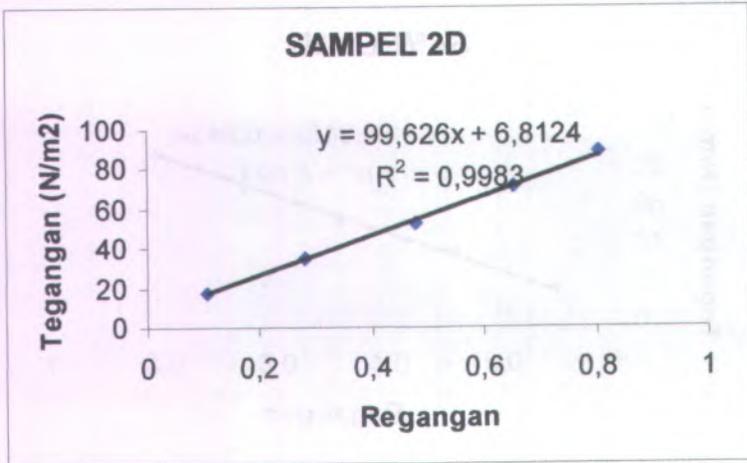
0,002	0,0652	70,77141	0,652
0,0025	0,0806	88,46426	0,806











## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Ponorogo, 05 Agustus 1984, merupakan anak keempat dari empat bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Tempuran 1, SLTPN 2 Sawoo dan SMU 3 Ponorogo. Penulis kuliah di Jurusan Fisika FMIPA ITS melalui jalur Penelitian Minat Dan Bakat (PMDK) dan terdaftar dengan NRP. 1103 100 017.

Atas ridho Allah SWT dan dengan kerja keras dan bantuan serta dukungan dari teman-teman dan orang-orang yang telah penulis sebutkan di pengantar, akhirnya penulis dapat menyelesaikan studi di Jurusan Fisika FMIPA ITS dalam waktu 9 semester.

Di Jurusan Fisika ini Penulis Mengambil Minat Bidang Material Science. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan seminar dan pelatihan yang diselenggarakan oleh Jurusan maupun pihak Institut. Penulis juga aktif di Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMASIKA) ITS, Forum Study Islam Fisika (FOSIF) ITS, Lembaga Swadaya Mahasiswa LP3M ITS, Asisten Laboratorium Fisika Dasar, dan Asisten Mata Kuliah Fisika Dasar. Disamping itu penulis juga menjadi pengajar privat untuk siswa SMP – SMU.