

38693/H/10



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

RSFi  
538.44  
Kur  
v-1  
2009

TUGAS AKHIR - SF 1380

# VISKOSIMETRI FLUIDA MAGNETIK BERBASIS $Fe_3O_4$ DALAM MEDAN MAGNET

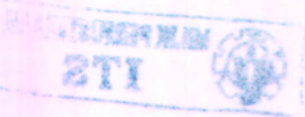
TESANDRIA NEOMAN KURNIAWAN  
NRP 1104 100 028

Dosen Pembimbing  
Dr. Darminto, MSc

JURUSAN FISIKA  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2009

PFRP S K A A N	
T	
st. ....	18-8-2009
....	H
o. Induk	720

38893 / # / 10



RSTI  
338-44  
Kor  
V-1  
2009

TUGAS AKHIR - SF 1380

# Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> DALAM MEDAN MAGNET VISKOSIMETRI FLUIDA MAGNETIK BERBASIS

TESANDRIA NEOMAN KURNIAWAN  
NRP 1104 100 028

Dosen Pembimbing  
Dr. Darminto, MSc

JURUSAN FISIKA  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2009

P.R.P. K.A.N	
11	



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - SF 1380**

# **VISCOSIMETRY OF $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -BASED MAGNETIC FLUIDS IN MAGNETIC FIELD**

**TESANDRIA NEOMAN KURNIAWAN**  
NRP 1104 100 028

Advisor  
Dr. Darminto, MSc

DEPARTMENT of PHYSICS  
Faculty of Mathematic and Natural Science  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2009



**VISKOSIMETRI FLUIDA MAGNETIK BERBASIS  $Fe_3O_4$   
DALAM MEDAN MAGNET**

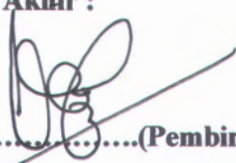
**TUGAS AKHIR**

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

**Oleh :  
TESANDRIA NEOMAN KURNIAWAN  
NRP. 1104 100 028**

**Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :**

**Dr. Darminto, M.Sc**

  
.....(Pembimbing)





# VISKOSIMETRI FLUIDA MAGNETIK BERBASIS $Fe_3O_4$ DALAM MEDAN MAGNET

**Nama Mahasiswa** : Tesandria Neoman Kurniawan  
**NRP** : 1104 100 028  
**Jurusan** : Fisika FMIPA ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Darminto, M.Sc

## **Abstrak**

*Telah dilakukan sintesis fluida magnetik berbasis  $Fe_3O_4$  (ferofluida) pada penelitian ini, menggunakan tetrametil amonium hidroksida (TMAH) sebagai surfaktan. Volume TMAH dalam ferofluida bervariasi dari 1,5 ml, 2 ml, 2,5 ml, 3 ml. Didapatkan bahwa ferofluida dengan volume TMAH paling rendah memiliki viskositas tertinggi, yang akan berkurang seiring dengan naiknya volume TMAH. Nilai viskositas berbanding lurus dengan kuadrat medan magnet yang digunakan dalam pengukuran viskositas, dan sangat sesuai dengan teori Shliomis-Morozov.*

**Kata kunci** : ferofluida, viskositas, medan magnet

VISKOSIMETRI FLUIDA MAGNETIK BERBASIS Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>  
DALAM MEDAN MAGNET

Nama Mahasiswa : Tesandria Norman Kurniawan  
NRP : 1104100028  
Jurusan : Fisika EMPA ITS  
Dosen Pembimbing : Dr. Darminto, M.Sc

Abstrak

Telah dilakukan analisis fluida magnetik berbasis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (ferofluida) pada penelitian ini menggunakan tetapan amonium hidrosulfida (TMAH) sebagai surfaktan. Volume TMAH dalam ferofluida bervariasi dari 1,5 ml, 2 ml, 3 ml. Diperkirakan bahwa ferofluida dengan volume TMAH paling rendah memiliki viskositas tertinggi, yang akan berpengaruh sangat dengan nilai-nilai volume TMAH. Nilai viskositas berpengaruh lurus dengan kuadrat medan magnet yang digunakan dalam pengaliran viskositas dan sangat sesuai dengan teori aliran-  
Maksimum

Kata kunci : ferofluida, viskositas, medan magnet



## VISCOSIMETRY OF $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -BASED MAGNETIC FLUIDS IN MAGNETIC FIELD

Name : Tesandria Neoman Kurniawan  
NRP : 1104 100 028  
Departement : Fisika FMIPA ITS  
Advisor : Dr. Darminto, M.Sc

### Abstract

*$\text{Fe}_3\text{O}_4$ -based magnetic fluids (ferrofluids) has been synthesized in this research using tetramethyl-ammonium hydroxide (TMAH) as surfactant. The volume of TMAH in ferrofluids varies from 1,5 ml, 2 ml, 2,5 ml to 3ml. It was obtained that ferrofluid with the smallest volume of TMAH has the highest viscosity, which decreases as increasing TMAH volume. The viscosity is directly proportional to the quadratic magnetic field applied field in the viscosity measurement, and is agreed very well with Shliomis-Morozov theory.*

***Key note : ferrofluid, viscosity, magnetic field***



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil 'alamiin, segala puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Viskosimetri Fluida Magnetik Berbasis  $Fe_3O_4$  Dalam Medan Magnet”**. Penulis sadar bahwa terselesaikannya Tugas Akhir ini adalah berkat bantuan berbagai pihak, untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT, atas segala rahmat, karunia dan nikmat-Nya sehingga penulis diberi kemudahan dan kelancaran dalam menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak, Ibu, Mbak Tetty dan Mbak Tery serta segenap keluarga tercinta yang telah memberikan doa dan motivasi serta dukungan baik secara material dan spiritual.
3. Bapak Dr. Darminto, M.Sc, selaku dosen pembimbing, atas bimbingan, motivasi dan masukan yang diberikan serta kesabarannya.
4. Bapak Drs.Zaenal Arifin,M.Si dan Bapak Dr. Zainuri, M.S.i selaku dosen penguji.
5. Bapak Drs. Yoyok Cahyono M.Si, selaku dosen wali yang telah memberikan arahan penulis selama belajar di jurusan Fisika.
6. Bapak Drs. Heny Faisal, M.Si selaku ketua Jurusan Fisika FMIPA ITS.
7. Bapak/ Ibu dosen dan karyawan Jurusan Fisika FMIPA ITS.
8. Bapak Ratno, Bapak Sukir, Mas Adi '03 yang telah memberikan bantuan peminjaman alat.
9. Teman-teman “Gravitasi'04” Ruroh, Isman, Alwi, Imam, Edrus, Roni, Singgih, Andi, Aris, Deddy, Wanti, Bery, Fathi, Hasan dan seluruh *gravitasiers*, atas bantuan dan persaudaraan yang tulus dari kalian.

10. Teman-teman '05 dan '08 Teguh, Agung dan seluruh football lovers atas partisipasi bermain futsal.
11. Bu Dama yang telah bersedia memberikan tempat untuk bernaung selama 3 tahun.
12. Teman nun jauh disana yang selalu memberikan dukungan moril, material dan spiritual.
13. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu, terimakasih atas dukungan dan doanya.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa penulis hanyalah manusia biasa yang takkan pernah luput dari kekurangan. Maka dari itu, sudilah kiranya pembaca untuk memaafkan, memberikan saran dan masukan konstruktif.

Harapan penulis semoga tugas akhir ini dapat menjadi wacana yang bermanfaat untuk menambah ilmu dan bisa dikembangkan untuk penelitian lebih lanjut.

Surabaya, Agustus 2009

Penulis

## DAFTAR ISI

	HALAMAN
Judul Tugas Akhir.....	i
Halaman Pengesahan.....	iii
Abstrak .....	v
Kata Pengantar.....	ix
Daftar Isi.....	xi
Daftar Gambar.....	xiii
Daftar Lampiran.....	xv
<b>Bab I Pendahuluan.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	2
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	2
<b>Bab II Tinjauan Pustaka.....</b>	<b>5</b>
2.1 Pasir Besi.....	5
2.2 Magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).....	6
2.3 Partikel nano $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .....	6
2.4 Ferrofluida.....	7
2.5 Efek magnetoviskositas pada ferrofluida.....	9
2.5.1 Viskositas negatif.....	12
2.6 Aplikasi ferrofluida.....	16
2.6.1 Bidang otomotif.....	16
2.6.2 Bidang ekonomi.....	17
2.7 Pengukuran viskositas.....	18
<b>Bab III Metodologi.....</b>	<b>21</b>
3.1 Sintesis $\text{Fe}_3\text{O}_4$ dengan Penambahan TMAH.....	21
3.1.1 Bahan.....	21
3.1.2 Peralatan.....	21
3.1.3 Prosedur Kerja.....	21
3.2 Pengukuran viskositas.....	22

3.2.1 Peralatan.....	22
3.2.2 Prosedur kerja.....	23
3.4 Metode Analisis data.....	26
3.4.1 Uji XRD.....	26
3.4.2 Pengukuran Densitas.....	26
3.4.2 Pengukuran Viskositas.....	27
3.4.3 Pengukuran Medan magnet.....	29
<b>Bab IV Analisa data dan pembahasan.....</b>	<b>31</b>
4.1 Analisis Serbuk Hasil Sintesis.....	31
4.2 Hasil Pengukuran viskositas.....	32
4.3 Kesesuaian dengan teori Shliomis dan Morozov.....	35
<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>43</b>
2.1 Pasir Besi.....	43
2.2 Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).....	43
2.3 Partikel nano $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .....	43
2.4 Ferrofluida.....	43
2.5 Efek magnetorheologi pada ferrofluida.....	43
2.5.1 Viskositas negatif.....	43
2.6 Aplikasi ferrofluida.....	43
2.6.1 Bidang otomotif.....	43
2.6.2 Bidang ekonomi.....	43
2.7 Pengukuran viskositas.....	43
<b>Bab III Metodologi.....</b>	<b>21</b>
3.1 Sintesis $\text{Fe}_3\text{O}_4$ dengan Perambatan TMAH.....	21
3.1.1 Bahan.....	21
3.1.2 Peralatan.....	21
3.1.3 Prosedur Kerja.....	21
3.2 Pengukuran viskositas.....	22

## DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	HALAMAN
Gambar 2.1 Sketsa ferrofluida terlapisi surfaktan .....	8
Gambar 2.2 Sketsa ferrofluida ionik.....	9
Gambar 2.3 Perubahan relatif dari viskositas pada magnet berdasarkan ferrofluida (APG513A).....	10
Gambar 2.4 Distribusi ukuran dari fluida.....	11
Gambar 2.5 Penampang permukaan shock absorber .....	17
Gambar 2.6 Pendeteksian keaslian uang dollar Amerika .....	17
Gambar 2.7 Model alat viskosimeter ostwald.....	18
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian .....	25
Gambar 3.2 Seperangkat peralatan uji XRD .....	26
Gambar 3.3 Peralatan pengukuran viskositas.....	28
Gambar 3.4 Susunan peralatan pengukuran viskositas.....	29
Gambar 3.5 Rangkaian peralatan pemberian arus pada solenoida .....	30
Gambar 4.1 Pengujian XRD nano $Fe_3O_4$ .....	32
Gambar 4.2 Pemberian medan magnet pada ferrofluida.....	33
Gambar 4.3 Grafik perubahan nilai viskositas tanpa pendinginan koil .....	34
Gambar 4.4 Grafik perubahan nilai viskositas dengan pendinginan koil.....	35
Gambar 4.5 Grafik perubahan nilai viskositas ferrofluida dengan penambahan TMAH 1,5 ml menggunakan persamaan Shlioms .....	36
Gambar 4.6 Grafik perubahan nilai viskositas ferrofluida dengan penambahan TMAH 2 ml menggunakan persamaan Shlioms .....	36
Gambar 4.7 Grafik perubahan nilai viskositas ferrofluida dengan penambahan TMAH 2,5 ml menggunakan persamaan Shlioms .....	37
Gambar 4.8 Grafik perubahan nilai viskositas ferrofluida dengan penambahan TMAH 3 ml menggunakan persamaan Shlioms .....	37

DAFTAR GAMBAR

BALAMAN

GAMBAR

8	Sketsa ferofluida terlapisi surfaktan	Gambar 2.1
9	Sketsa ferofluida ionik	Gambar 2.2
	Perubahan relatif dari viskositas pada magnet	Gambar 2.3
10	berdasarkan ferofluida (APG513A)	
11	Distribusi ukuran dari fluida	Gambar 2.4
17	Pemampang permukaan shock absorber	Gambar 2.5
17	Pendeteksian kestabilan uang dollar Amerika	Gambar 2.6
18	Model alat viskosimeter Ostwald	Gambar 2.7
22	Diagram alir penelitian	Gambar 3.1
26	Spektrogram peralatan uji XRD	Gambar 3.2
28	Peralatan pengukuran viskositas	Gambar 3.3
29	Susunan peralatan pengukuran viskositas	Gambar 3.4
30	Rangkaian peralatan pemberian arus pada solenoida	Gambar 3.5
32	Pengujian XRD nano Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Gambar 4.1
33	Pemberian medan magnet pada ferofluida	Gambar 4.2
	Grafik perubahan nilai viskositas tanpa pendinginan	Gambar 4.3
34	koil	
	Grafik perubahan nilai viskositas dengan pendinginan koil	Gambar 4.4
35	pendinginan koil	
	Grafik perubahan nilai viskositas ferofluida dengan penambahan TMAH 1.5 ml menggunakan persamaan Shloms	Gambar 4.5
36	persamaan Shloms	
	Grafik perubahan nilai viskositas ferofluida dengan penambahan TMAH 2 ml menggunakan persamaan Shloms	Gambar 4.6
36	Shloms	
	Grafik perubahan nilai viskositas ferofluida dengan penambahan TMAH 2.5 ml menggunakan persamaan Shloms	Gambar 4.7
37	persamaan Shloms	
	Grafik perubahan nilai viskositas ferofluida dengan penambahan TMAH 3 ml menggunakan persamaan Shloms	Gambar 4.8
37	Shloms	



## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN	HALAMAN
Lampiran I	Besar waktu tempuh fluida .....43
Lampiran II	Besar nilai viskositas .....47

Глывіцэ II	Восст. міліт. іскосітэс	41
Глывіцэ I	Восст. жэліт. іскосітэс	42

ГЛЫВІЦА

НАГЛЯД

ДАБІТЭК ГЛЫВІЦА

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Penelitian mengenai ferrofluida dalam beberapa tahun terakhir ini cukup banyak dilakukan. Hal ini dikarenakan banyaknya variasi aplikasi yang dapat diterapkan dalam beberapa bidang dengan menggunakan ferrofluida ini. Baik dalam bidang medis maupun industri. Salah satu penggunaan aplikasi ferrofluida sangat beragam di antaranya dalam dunia otomotif. Dalam hal ini salah satu bagian yang diprioritaskan untuk penggunaan ferrofluida adalah *shock breaker* sebagai peredam kejut. *Shock absorbers* berfungsi menyediakan rasa nyaman dalam berkendara. Dari salah satu aplikasi penggunaan ferrofluida ini maka dari sisi viskositasnya yang berperan dalam mengatur kenyamanan *shock absorber* tersebut. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian untuk melihat bagaimana pola dari nilai viskositas ferrofluida jika diberikan pemberian surfaktan yang bervariasi dan medan magnet yang bervariasi, sehingga dapat diketahui bagaimana pola dari tiap-tiap sampel terhadap medan magnet yang diberikan. Dengan melihat aplikasi ferrofluida yaitu *shock absorber* yang mana nilai viskositasnya sangat berperan dalam hal ini, maka kita dapat menggunakan ferrofluida dengan lebih efektif dan tepat sasaran.

Pada penelitian ini dilakukan sintesis partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan surfaktan yang dipakai adalah tetrametil-amonium-hidroksida (TMAH) untuk mencegah terjadinya aglomerasi partikel magnetik. Surfaktan yang diberikan besarnya bervariasi hal ini untuk mengetahui seberapa besar nilai viskositas dari ferrofluida yang terbentuk. Maka dari itu digunakan alat yang dapat yang mengukur besar masing-masing ferrofluida hasil dari penambahan surfaktan yang bervariasi.

## 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini mencakup :

1. Bagaimana mensintesis partikel nano  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan ukuran butir  $< 100$  nm.
2. Bagaimana mengetahui peranan surfaktan TMAH dalam pembuatan ferrofluida.
3. Bagaimana mengetahui viskositas dari ferrofluida  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan kekentalannya pada medan magnet.

## 1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi dengan:

1. Partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang didapat dari sintesis berbahan pasir besi diberi penambahan surfaktan TMAH
2. Pemberian kadar surfaktan bervariasi mulai dari 1,5 ml, 2 ml, 2,5 ml, 3 ml.
3. Pemberian medan magnet bervariasi antara 0-900 Gauss

## 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan :

1. Memperoleh ferrofluida dari  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan ukuran butir  $< 100$  nm
2. Mengetahui pengaruh surfaktan TMAH (1,5 ml, 2 ml, 2,5 ml, 3 ml) terhadap partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .
3. Mengetahui viskositas dari ferrofluida dalam medan magnet

## 1.5 Sistematika penulisan

Sistematika penulisan ini terdiri dari lima bab.

Bab I merupakan pendahuluan yang membahas latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan. Bab II membahas tinjauan pustaka yang terkait dengan ferrofluida dan viskositas. Bab III memaparkan metodologi percobaan, langkah yang digunakan dan gambaran alat uji yang dipakai secara umum. Bab IV memaparkan hasil

percobaan dan membahasnya. Bab V merupakan kesimpulan dan saran dari penelitian ini.

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

ini sengaja dikosongkan

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pasir Besi

Di Indonesia, pasir adalah salah satu bahan tambang yang banyak digunakan dan mudah untuk didapatkan. Pasir biasanya ditambang di pesisir pantai dan sungai-sungai di bawah gunung berapi. Melimpahnya kandungan pasir di Indonesia membuat bahan pasir sangat murah, bahkan di Indonesia dikenal sebagai negara pengekspor pasir. Salah satu daerah penghasil pasir yaitu kabupaten Lumajang. Kabupaten Lumajang layak mempunyai potensi pertambangan pasir dan batu bangunan. Pasir di daerah ini bukan hanya kualitasnya yang menjadi andalan terbaik di Jawa Timur tetapi juga kuantitasnya yang tidak pernah habis. Meski terus dikuras setiap saat. Kiriman pasir dan batu dari Gunung Semeru tak pernah henti.

Bagi warga keberadaan Semeru (3.3366 meter dpl) bisa mendatangkan berkah. Kiriman material pasir dan batu dari gunung tertinggi di Jawa ini merupakan kekayaan alam bernilai miliaran bahkan trilyunan rupiah. Sayang eksploitasi yang dilakukan belum sebanding dengan potensi yang ada. Derasnya kiriman material semeru menyebabkan ketebalan pasir di sungai terus meninggi. Berbagai penelitian menyimpulkan, tingginya kualitas pasir Semeru karena kandungan tanah (lumpur) sedikit, butiran pasirmnya "standar serta warna dan daya rekatnya yang baik. Ini karena pasir dan batu tersebut belum terkontaminasi tanah dan polusi lain. Unggulnya kualitas pasir dan batu kiriman Semeru mendorong negara tetangga Thailand, Malaysia, dan sebagainya. Juga berminat tetapi sayang, karena di pantai selatan Kabupaten Lumajang belum dibangun dermaga maka permintaan dari sejumlah negara tetangga tidak bisa dilayani. Areal bahan tambang/galian pasir dan batu bangunan 82,50 ha dengan volume 5.976.625 m<sup>3</sup>. Areal pasir dan batu yang di eksploitasi baru 15 ha dengan volume 239.065 m<sup>3</sup> atau hanya 4 %

dari kapasitas yang tersedia. Lokasi penambangan pasir dan batu cukup banyak, diantaranya di sepanjang Kali Rejali, Kali Regoyo, dan Kali Glidig. Tepatnya berada di Kecamatan Candipuro, Pasirian, dan Tempursari.

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, yaitu Fe, Ni, dan Zn dengan kadar yang lebih kecil. Analisis komposisi kandungan pasir tersebut dapat dilihat setelah dilakukan pengujian dengan XRD, sehingga dapat digunakan untuk melakukan penelitian ini.

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

Magnetite merupakan mineral ferimagnetik dengan rumus kimia  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , satu dari beberapa besi oksida dan anggota dari grup spinel. Nama kimia *magnetite* menurut IUPAC adalah besi (II,III) oksida dan nama kimia secara umum adalah ferit oksida (*ferrous-ferric oxide*).

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*), 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. Sebagian besar ferit yang ditemukan biasanya dalam keadaan terkotori seperti mineral-mineral di dalam batu.

## 2.3 Partikel Nano $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Partikel nano magnetik memiliki sifat fisis dan kimia yang bervariasi dan dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang.



Salah satu partikel magnetik tersebut yang dapat dijadikan berukuran nanometer adalah besi oksida seperti  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (magnetit).

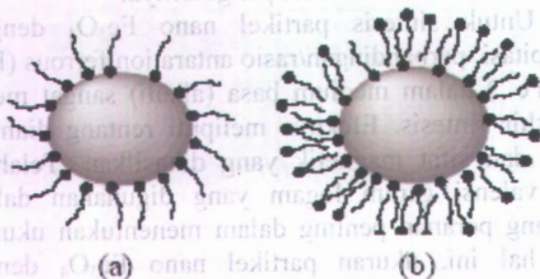
Dalam beberapa tahun belakangan ini, para peneliti dapat mensintesis partikel nano  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan metode-metode yang berbeda. Seperti metode sol gel yang dikembangkan oleh Xu dkk., 2007. Lain lagi dengan yang dilakukan oleh Iida dkk., 2007 memilih mensintesis partikel nano  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan metode hidrolisis terkontrol sedangkan Hong dkk., 2007 memilih metode kopresipitasi dalam air. Di antara sekian metode sintesis tersebut, metode kopresipitasi yang paling sederhana karena prosedurnya lebih mudah dilakukan dan memerlukan suhu reaksi yang rendah ( $< 100\text{ }^\circ\text{C}$ ). Metode kopresipitasi merupakan proses kimia yang membawa suatu zat terlarut ke bawah sehingga terbentuk endapan yang dikehendaki. Teknik ini sering dipakai untuk memisahkan analit dari pengotornya.

Untuk sintesis partikel nano  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan metode kopresipitasi, perbandingan/rasio antara ion ferrous ( $\text{Fe}^{2+}$ ) dan ion ferric ( $\text{Fe}^{3+}$ ) dalam medium basa (alkali) sangat mempengaruhi hasil akhir sintesis. Efeknya meliputi rentang diameter ukuran partikel dan sifat magnetik yang dihasilkan. Telah dilaporkan bahwa valensi garam logam yang digunakan dalam sintesis memegang peranan penting dalam menentukan ukuran partikel. Dalam hal ini, ukuran partikel nano  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan variasi prosentase molar ion ferrous terhadap jumlah total ion besinya dalam rentang  $\sim 9\text{ nm}$  sampai  $\sim 40\text{ nm}$

## 2.4 Ferrofluida

Ferrofluida merupakan suspensi koloid stabil yang tersusun atas partikel magnetik berukuran nano di dalam pelarutnya. Partikel-partikel magnetik ini dapat stabil disebabkan adanya surfaktan yang mencegah aglomerasi (penggumpalan) antar partikel dari gaya van der Waals dan gaya magnet. Surfaktan bersifat melapisi permukaan partikel magnetik sehingga membangkitkan gaya tolakan secara sterik atau elektrostatik.

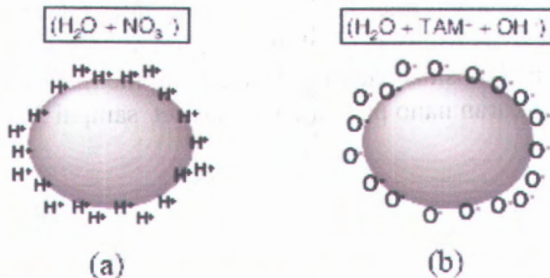
Berdasarkan sifat melapisi pada partikel magnetik ini, ferrofluida dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama, yakni ferrofluida bersurfaktan dan ferrofluida ionik. Ferrofluida bersurfaktan terbentuk oleh partikel magnetik yang terlapisi oleh molekul surfaktan sehingga timbul tolakan sterik antar partikel. Molekul surfaktan ini misalnya asam oleic dan aerosol sodium di-2 ethylhexyl-sulfosuccinat. Gaya tolakan yang dihasilkan oleh molekul ini menjaga partikel tetap stabil dalam koloid. Dalam medium non polar (misal minyak), surfaktan ini membentuk lapisan hidrofobik, dimana bagian kepala melekat pada partikel dan bagian rantai karbon kontak dengan fluida pembawanya. Jika partikel terdispersi dalam medium polar (misal air), surfaktan ini akan membentuk lapisan hidrofilik dengan cara pelapisan ganda (*double surfactation*), lihat Gambar 2.1



Gambar 2.1 Sketsa ferrofluida terlapisi surfaktan dengan (a) lapisan tunggal pada medium non polar (b) lapisan ganda pada medium polar.

Pada ferrofluida ionik, permukaan partikel magnetik nano bermuatan secara elektrik. Hal ini bisa diperoleh dengan menambahkan surfaktan ionik seperti tetrametil ammonium hidroksida (TMAH), sehingga menghasilkan tolakan elektrostatis. Pada umumnya, larutannya dalam air dan pH-nya dapat bervariasi dari 2 sampai 12 bergantung pada tanda muatan permukaan partikel. Sebagai contoh, pada ferrofluida asam ( $\text{pH} < 7$ ), permukaan partikelnya terlapisi oleh muatan positif; sedangkan ferrofluida basa ( $\text{pH} > 7$ ), permukaan partikelnya

terlapisi muatan negatif. Surfaktan TMAH yang merupakan molekul rantai pendek akan membungkus partikel magnetik sehingga bermuatan negatif. Rantai molekul yang tidak berikatan dengan partikel (bebas) berinteraksi dengan medium pembawanya. Jadi, selain adanya tolakan secara elektrostatis, terdapat juga interaksi sterik antar partikel, lihat Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Sketsa ferrofluida ionik dengan (a) ferrofluida asam (b) ferrofluida basa (alkali) dalam medium  $H_2O$ ; TAM+OH- adalah tetrametil amonium hidroksida

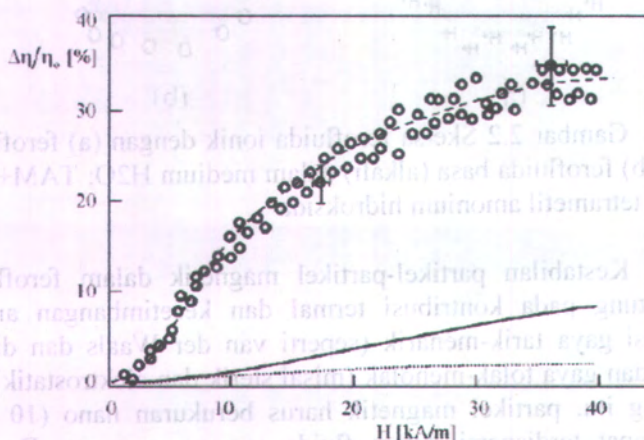
Kestabilan partikel-partikel magnetik dalam ferrofluida bergantung pada kontribusi termal dan kesetimbangan antara interaksi gaya tarik-menarik (seperti van der Waals dan dipol-dipol) dan gaya tolak-menolak (misal sterik dan elektrostatis). Di samping itu, partikel magnetik harus berukuran nano (10 nm) agar dapat terdispersi dalam fluida secara sempurna. Dengan ukuran partikel ini dapat diperlakukan sebagai partikel domain tunggal (*single domain*), di mana setiap partikel dapat dikatakan sebagai magnet permanen kecil dalam medium liquidnya

## 2.5 Efek magnetoviskositas pada ferrofluida

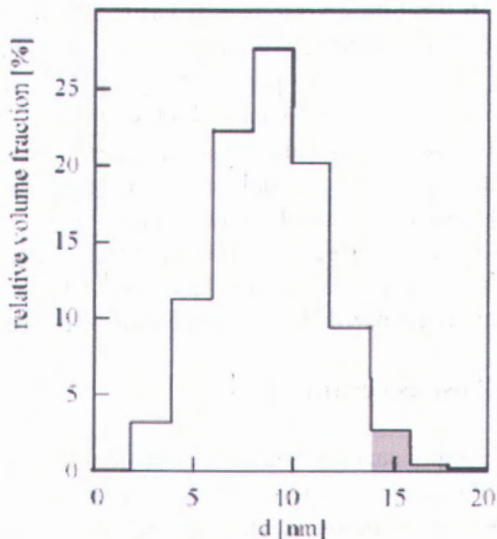
Sifat dari fluida magnet yang paling spesifik adalah kemungkinan untuk menggunakan pengaruh yang signifikan terhadap aliran dan sifat fisik oleh medan magnet yang cukup

baik. Fokus pada perubahan sifat fisik yang dipengaruhi oleh medan magnet, perubahan perilaku viskositas fluida berhubungan dengan gerak yang sesuai dengan medan magnet yang mempengaruhinya untuk efek paling menonjol dan menjadi salah satu topik menantang dari penelitian ferrofluida.

Jika berkaca pada paper sebelumnya, perubahan viskositas pada suspensi koloida partikel magnetik karena adanya medan magnet telah diteliti oleh Rosensweig et. al. (Rosensweig et al., 1969). Penelitian Rosensweig memberikan penjelasan peningkatan viskositas pada ferrofluida yang mengandung partikel magnet berukuran nano pada medan magnet sampai 25kA/m.



Gambar 2.3 Perubahan relatif dari viskositas pada magnet berdasarkan ferrofluida (APG513A) diukur pada  $\gamma = 500\text{s}^{-1}$ . garis lurus menunjukkan nilai perhitungan dari teori Shlioms' yang mengasumsikan  $d = 10\text{ nm}$  dan  $\Phi' = 0.18$ . Garis berupa bulatan-bulatan adalah dari perhitungan juga, tapi hanya untuk jumlah partikel dengan sifat magnet yang kuat. Garis putus-putus menunjukkan hasil dari data percobaan.



Gambar 2.4 Distribusi ukuran dari fluida yang digunakan pada percobaan ditunjukkan pada gambar 4.1 didapat dari analisis magnetogranulometrics

Gambar 2.3 menunjukkan hasil pengukuran penambahan viskositas maksimum sampai 40%. Perbandingan antara hasil percobaan dan teori memerlukan informasi tentang distribusi ukuran dari partikel, hanya partikel dengan diameter lebih dari 13 nm – hal ini menjadi diameter kritis untuk magnetit dapat memberikan pengaruh pada perubahan viskositas. seperti yang terlihat pada Gambar 2.3 partikel yang ditunjukkan hanya yang fraksi kecil dari rata-rata konsentrasi magnetik ferrofluida. Perhitungan viskositas rotasi dengan nilainya, didapatkan satu garis putus-putus, perbedaanya sangat jelas dengan hasil percobaan. Hal ini mengarah pada asumsi bahwa konsep dari penjelasan rotasi ketika nilai absolut tidak dapat dijelaskan dalam kondisi rotasi partikel individu dalam aliran. Lebih jauh, parameter yang sesuai mengarah pada munculnya ukuran partikel

sebesar 16 nm untuk konsentrasi partikel yang mengindikasikan bahwa itu adalah interaksi dari partikel, kekuatan formasi dari endapan, yang punya pengaruh yang signifikan di dalam investigasi konsentrasi suspensi, lihat Gambar 2.4

Untuk menghindari kebingungan kita akan menyebut perubahan viskositas di dalam konsentrasi suspensi, di mana interaksi antar partikel memainkan peran yang penting "magnetoviscous effect", pada kondisi "viskositas putarnya" akan menjadi cadangan untuk kasus suspensi encer yang tinggi dengan interaksi partikel yang dapat diabaikan.

### 2.5.1 Viskositas negatif

Sampai saat ini selalu diasumsikan, bahwa medan magnet statis diterapkan ke ferrofluida, untuk menghalangi partikel magnetik bebas berotasi, dan mengarah ke peningkatan nilai viskositas fluida. Jika satu asumsi suatu ferrofluida yang dipengaruhi gaya geser hal ini berarti menunjukkan adanya pengaruh medan magnet, hal ini jelas bahwa kondisi di mana torsi viskositas sedikit melebihi gaya tarik magnet akan menghasilkan ketidakseimbangan tapi juga halangan rotasi pada partikel tersebut. Dalam kasus di mana sebuah medan magnet alternative pengaruh medannya mungkin akan menghasilkan karakteristik yang berbeda. Jika frekuensi medan sama dengan rotasi partikel, medan tidak akan memberikan pengaruh pada rotasi partikel yang akan diobservasi lagi dan frekuensi medan yang sedikit lebih besar daripada frekuensi induksi rotasi partikel oleh aliran geser akan mempercepat rotasi dari partikel yang ditanggihkan. Bahkan dari argumen sederhana itu langsung terlihat, bahwa osilasi medan akan mengurangi efek magnetoviskositas.

Fenomena seperti itu pertama kali dikemukakan oleh Shliomis dan Morozov (Shliomis dan Morozov, 1994). Jadi hal ini sesuai dengan perhitungan viskositas efektif ferrofluida yang statis. Dalam penelitian itu (Shliomis dan Morozov, 1994) pendekatan ini dipisahkan menjadi dua bagian yaitu medan

lemah dan medan kuat. Di sini kita akan fokus pada bagian pertama yang memberikan prinsip dari efek yang terjadi, sedangkan untuk yang kedua hanya bagian hasil dan dibandingkan dengan percobaan. Keuntungan dari perkiraan medan lemah adalah kemungkinan untuk menggunakan persamaan linear  $-M = \chi H$  - untuk proses magnetisasi fluida. Untuk pengkutuban medan pada arah x

$$H_{x(t)} = H_0 \cos(\omega t) \quad \dots(2.1)$$

Dengan amplitudo medan  $H_0$  dan frekuensi osilasi  $\omega$ , dan cara untuk magnetisasi pada arah x jika diasumsikan  $\Omega = 0$ , maka

$$M_x = \chi H_0 \cos(\omega t - \delta) \quad \dots(2.2)$$

Di sini  $\delta$  diartikan sebagai sudut fase antara magnetisasi dan medan, yang mana ditentukan oleh waktu relaksasi yang relevan dari magnetisasi. Untuk magnetisasi partikel yang keras dengan waktu relaksasi  $\tau_B$  untuk proses relaksasi Brownian maka (Shliomis dan Morozov, 1994)

$$\tan \delta = \omega \tau_B \quad \dots(2.3)$$

Jika arus yang diterapkan pada fluida, magnetisasi akan dimiringkan terhadap arah medan dan penambahan komponen dalam M arah y- dan z- akan muncul. Untuk mengalir dengan vortisitas dalam arah-z hanya komponen y- dari M akan tersisa, untuk pembahasan masalah dan dengan  $M_y$  sebagai amplitudo yang saat ini bergantung pada komponen magnetisasi yang akan beresilasi dengan frekuensi yang sama seperti  $H_{x(t)}$  tetapi dengan fase tunda  $\theta$ , maka

$$M_y = \tilde{M}_y \cos(\omega t - \theta) \quad \dots(2.4)$$

$$\tilde{M}_y = \Omega \tau_B \chi H_0 \cos^2 \delta \quad \dots(2.5)$$

$$\theta = 2\delta \quad \dots(2.6)$$

Komponen  $y$  dari  $M$  ini sesuai untuk pergerakan torsi magnet pada partikel di medan polarisasi pada arah  $y$  dan menghasilkan persamaan

$$\vec{M} \times \vec{H} = M_y H_x = \Omega \tau_B \chi H_o^2 \cos^2 \delta \cos(\omega t) \cos(\omega t - 2\delta) \quad \dots(2.7)$$

di mana :

$$\Omega = \text{Vortisitas dari aliran (s}^{-1}\text{)}$$

$$\delta = \text{Jarak permukaan partikel (m)}$$

Persamaan ini digunakan untuk persamaan stabil ( $ds / dt = 0$ ) dan rata-rata melebihi skala waktu yang cepat dari masalah diberikan oleh frekuensi medan magnet dan dengan demikian kecepatan relaksasi satu magnetisasi dapat menghitung frekuensi rotasi dari partikel  $\omega_p$  (Shliomis dan Morozov, 1994)

$$\omega_p = \Omega \left( 1 - \frac{\alpha^2 (1 - \omega^2 \tau_B^2)}{6 (1 + \omega^2 \tau_B^2)^2} \right) \quad \dots(2.8)$$

$$\alpha = \frac{\mu_0 m H}{k_B T} \quad \dots(2.9)$$

Persamaan ini dapat digunakan untuk mendapatkan perubahan medan induksi viskositas dengan cara sebagai berikut

$$\Delta \eta = \frac{1}{4} \eta \phi \alpha^2 \frac{1 - \omega^2 \tau_B^2}{(1 + \omega^2 \tau_B^2)^2} \quad \dots(2.10)$$

$$\frac{\Delta \eta}{\eta} = \frac{1}{4} \phi \left( \frac{\mu_0 m H}{k_B T} \right)^2 \frac{1 - \omega^2 \tau_B^2}{(1 + \omega^2 \tau_B^2)^2} \quad \dots(2.11)$$



karena :

$$\mu_0 H = B \quad \dots(2.12)$$

maka :

$$\frac{\Delta\eta}{\eta} \propto B^2 \quad \dots(2.13)$$

dimana :

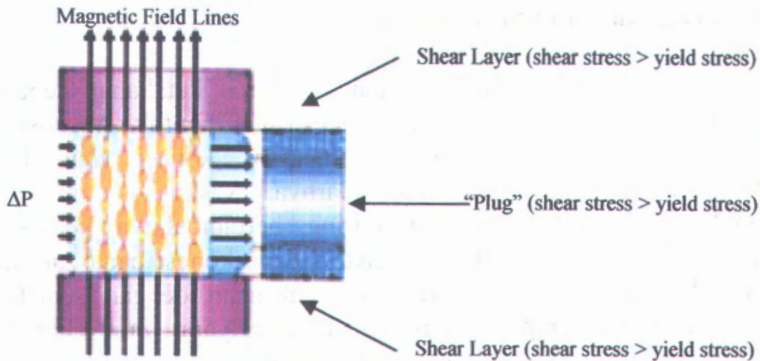
- $\alpha$  = Relasi dari magnetik dan energi thermal
- $\eta$  = Viskositas dinamis (kg/ms)
- $\Delta\eta$  = Perubahan nilai viskositas (kg/ms)
- $\omega$  = Frekuensi dari medan osilasi ( $s^{-1}$ )
- $\tau_B$  = Waktu relaksasi Brownian (s)
- $\mu_0$  = Nilai permeabilitas dalam vakum (Vs/Am)
- $\phi$  = Konsentrasi partikel dengan surfaktan
- $m$  = Momen magnetik partikel ( $Am^2$ )
- $H$  = Kuat medan magnet (A/m)
- $k_B$  = Konstanta Boltzman (J/K)
- $T$  = Temperatur material (K)
- $B$  = Fluks magnet (T)

Hasil ini langsung ditransfer ke medan lemah untuk viskositas rotasi dengan  $\omega = 0$ , jadi bentuk klasik dari viskositas rotasi (Shliomis, 1972) dapat dilihat sebagai kasus khusus dari hasil di (Shliomis dan Morozov, 1994). Untuk  $\omega\tau_B = 1$  kita mencapai hal yang sama di medan frekuensi dengan relaksasi dari magnetisasi dan dengan itu, sebagai argumentasi sebelumnya, efek medan pada viskositas akan lenyap. Untuk frekuensi yang lebih tinggi, bahwa perubahan viskositas dapat menjadi negatif - rotasi partikel yang digerakkan oleh medan dan ini juga menggerakkan spins atas fluida yang mengakibatkan penurunan dari nilai viskositas. Bagian dari medan yang tergantung viskositas memberikan kontribusi untuk mengarah ke "viskositas negatif" yang diperkenalkan oleh (Shliomis dan Morozov, 1994).

## 2.6 Aplikasi ferrofluida

### 2.6.1 Bidang otomotif

Penggunaan aplikasi ferrofluida sangat beragam di antaranya dalam dunia otomotif. Dalam hal ini salah satu bagian yang diprioritaskan untuk penggunaan ferrofluida adalah shock breaker sebagai peredam kejut. *Shock absorbers* berfungsi menyediakan rasa nyaman dalam berkendara mulai dari mobil sport olahraga dan truk pickup. Penggunaan nanoteknologi khususnya magnetis nanopartikel dapat meningkatkan kemampuan *shock absorber* lebih baik daripada sebelumnya. Fluida magnet yang terdiri dari nanopartikel terdapat pada suspensi fluida. Tergantung pada ukuran nanopartikel, fluida magnet mungkin dapat diubah viskositasnya untuk menambah kekuatan medan magnet yang digunakan. Oleh karena itu, viskositasnya dapat dikontrol secara dinamis, yang memungkinkan untuk mengaktifkan damping. Besar daya mekanis dapat dikontrol dengan sejumlah kecil tenaga listrik, sehingga metode kontrol vibrasi jauh lebih efisien daripada tradisional. Beberapa fluida magnet dapat mengubah dirinya menjadi keadaan mendekati solid, sehingga memungkinkan untuk menyesuaikan kekakuannya ribuan kali per detik. Jika *shock absorbers* berdasarkan fluida magnet, maka pengendara dapat menyetel sesuai keinginan untuk mendapatkan kenyamanan dalam berkendara. *Shock absorbers* berdasarkan fluida magnet sekarang digunakan oleh the Audi Le Mans Quattro. Energi yang berasal dari sistem kontrol elektronik, dan komputer on-board menyesuaikan *shock absorbers* berdasarkan informasi yang diberikan oleh sensor yang mendeteksi situasi saat berkendara dalam beberapa ribu per detik. Pengemudi dapat beralih antara merasa sporty, di mana fluida magnet dalam kondisi viskositas rendah, dan lebih nyaman berkendara, di mana viskositasnya diatur pada level yang lebih tinggi.



Gambar 2.5 Penampang permukaan shock absorber

## 2.6.2 Bidang Ekonomi

Negara Amerika memanfaatkan ferrofluida sebagai bahan campuran dalam tinta magnetik. Uang kertas Dollar Amerika menggunakan tinta ini sebagai alat identifikasi keaslian uang tersebut. Dalam hal ini berarti ferrofluida dilapiskan pada bahan non-magnetik (kertas), sehingga menjadi bersifat magnetik. Bila uang kertas tersebut didekatkan dengan medan magnet, maka akan tertarik.

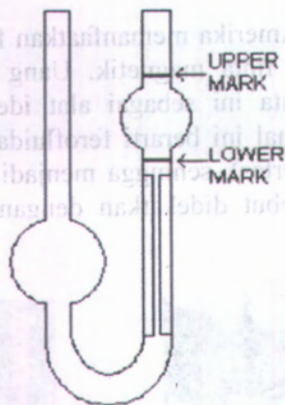


Gambar 2.6 Pendeteksian keaslian uang dollar Amerika dengan menggunakan magnet

## 2.7 Pengukuran viskositas

Viskositas fluida merupakan ukuran ketahanan sebuah fluida terhadap deformasi atau perubahan bentuk. Viskositas dipengaruhi oleh temperatur, tekanan, kohesi dan laju perpindahan momentum molekularnya. Viskositas zat cair cenderung menurun dengan seiring bertambahnya kenaikan temperatur hal ini disebabkan gaya – gaya kohesi pada zat cair bila dipanaskan akan mengalami penurunan dengan semakin bertambahnya temperatur pada zat cair yang menyebabkan berturunya viskositas dari zat cair tersebut

Banyak cara yang dapat dilakukan untuk menentukan besar nilai viskositas dari suatu sampel fluida salah satunya dengan menggunakan pengukuran viskosimeter ostwald.



Gambar 2.7 Model alat viskosimeter ostwald

Dimana pada pengukuran menggunakan viskosimeter ostwald cairan mengalir dalam pipa U dengan jumlah volume tertentu. Maka kita dapat menganggap cairan yang digunakan inkompresible dan newtonian, aliran cairan

laminer dan steady, kecepatan aliran dekat dengan dinding adalah nol. Dari percobaan viskosimeter ostwald untuk dapat memperoleh nilai viskositasnya dapat menggunakan. Persamaan Poiseuille dimana sebagai prinsip kerja viskosimeter yang menggunakan metode kapilaritas.

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8\eta l} \quad \dots(2.14)$$

dengan :

- Q = Volume cairan per detik
- r = Jari-jari penampang pipa (m)
- $\Delta p$  = Beda tekanan antara ujung pipa (Pa)
- l = Panjang pipa kapiler (m)
- $\eta$  = Viskositas cairan (poise)

laminar dan "Halaman ini Sengaja Dikosongkan" adalah nol. Dari percobaan viskosimeter Ostwald untuk dapat diperoleh nilai viskositasnya dapat menggunakan Persamaan Poiseuille dimana sebagai prinsip kerja viskosimeter yang menggunakan metode kapilaritas.

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 \eta l} \quad (2.14)$$

dimana :

- $Q$  = Volume cairan per detik
- $r$  = Jari-jari penampang pipa (m)
- $\Delta p$  = Beda tekanan antara ujung pipa (Pa)
- $l$  = Panjang pipa kapiler (m)
- $\eta$  = Viskositas cairan (poise)

## **BAB III METODOLOGI**

### **3.1 Sintesis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan Penambahan TMAH**

#### **3.1.1 Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Pasir Besi

Bahan dasar untuk pembuatan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> adalah pasir yang diambil dari sungai Regoyo, desa Gondoruso, kecamatan Pasirian, kabupaten Lumajang. Pasir kemudian disaring untuk mendapatkan pasir dengan jenis halus setelah itu diekstrak untuk mendapatkan pasir dengan kandungan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang lebih tinggi.

2. Asam Klorida (HCl) 98 %

3. Ammonium Hidroksida (NH<sub>4</sub>OH) 98%

4. Tetramethylammonium hidroxid (C<sub>4</sub>H<sub>13</sub>NO)

5. Aquades

#### **3.1.2 Peralatan**

Penelitian ini menggunakan peralatan sebagai berikut :

1. Pengaduk magnetik

2. Stir bar magnetik

3. Gelas kimia 500 ml dan 100 ml (pyrex)

4. Gelas ukur 5 ml dan 50 ml

5. Pipet dan corong

6. Termometer

7. Kertas saring

8. Spatula kaca

#### **3.1.3 Prosedur Kerja**

Eksperimen yang akan dilakukan meliputi:

1. 20 gram  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dicampur dengan 38 ml HCl, diaduk dengan menggunakan pengaduk magnetik pada suhu  $70^\circ\text{C}$  selama 20 menit.
2. Setelah proses pengadukan selesai, endapan yang terbentuk disaring dengan menggunakan kertas saring.
3. Larutan hasil penyaringan dicampur dengan  $\text{NH}_4\text{OH}$  sebanyak 24 ml dan kemudian diaduk dengan menggunakan pengaduk magnetik selama 20 menit pada suhu  $70^\circ\text{C}$ .
4. Setelah proses pengadukan selesai endapan kemudian disaring kembali dengan menggunakan kertas saring. Hasil penyaringan merupakan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan ukuran serbuk nano.
5. Untuk mendapatkan serbuk  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang murni, serbuk yang telah disaring dicuci berulang kali menggunakan aquades.
6. Sebagian endapan ditambahkan TMAH sehingga diperoleh ferrofluida, sedangkan sebagian yang lain dikeringkan untuk dikarakterisasi dengan XRD.

### 3.2 Pengukuran viskositas

#### 3.2.1 Peralatan

Penentuan nilai viskositas ferrofluida ini menggunakan peralatan sebagai berikut :

1. Tabung viskosimeter ostwald
2. Power supply DC
3. Pipet
4. Stopwatch digital
5. Digital multimeter
6. Hambatan geser
7. Kabel penjepit buaya
8. Coil tembaga



9. penjepit tabung
10. tiang penyangga

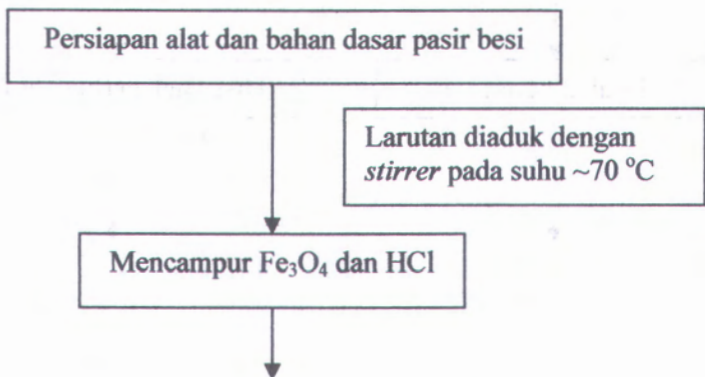
### 3.2.2 Prosedur kerja

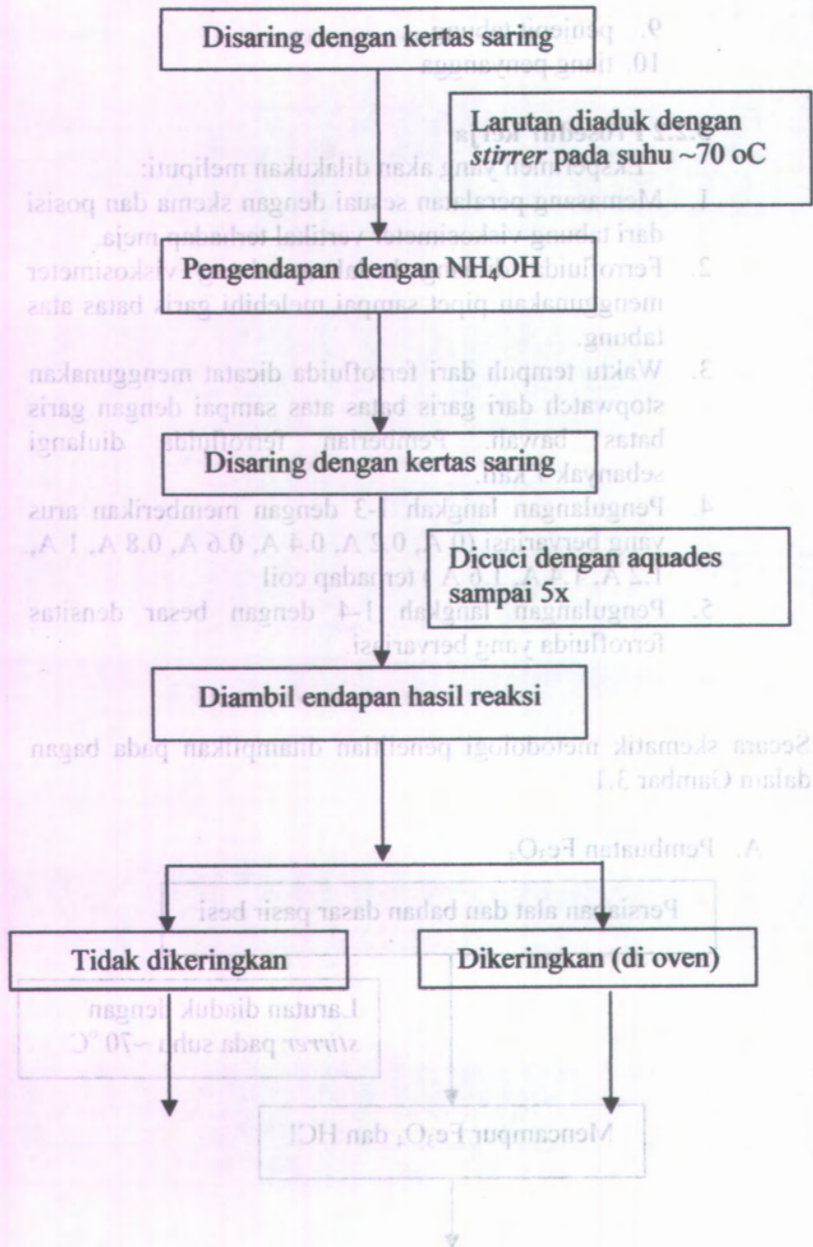
Eksperimen yang akan dilakukan meliputi:

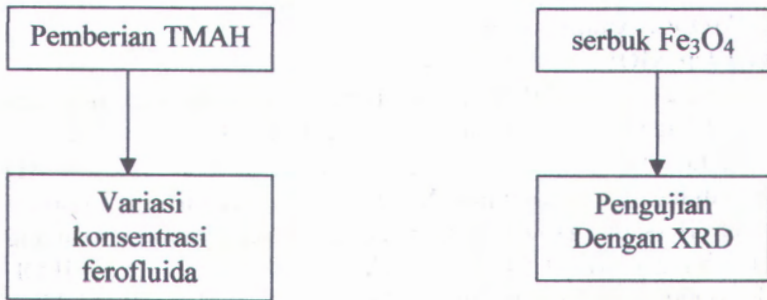
1. Memasang peralatan sesuai dengan skema dan posisi dari tabung viskosimeter vertikal terhadap meja.
2. Ferrofluida dituang ke dalam tabung viskosimeter menggunakan pipet sampai melebihi garis batas atas tabung.
3. Waktu tempuh dari ferrofluida dicatat menggunakan stopwatch dari garis batas atas sampai dengan garis batas bawah. Pemberian ferrofluida diulangi sebanyak 7 kali.
4. Pengulangan langkah 1-3 dengan memberikan arus yang bervariasi (0 A, 0.2 A, 0.4 A, 0.6 A, 0.8 A, 1 A, 1.2 A, 1.4 A, 1.6 A) terhadap coil
5. Pengulangan langkah 1-4 dengan besar densitas ferrofluida yang bervariasi.

Secara skematik metodologi penelitian ditampilkan pada bagan dalam Gambar 3.1

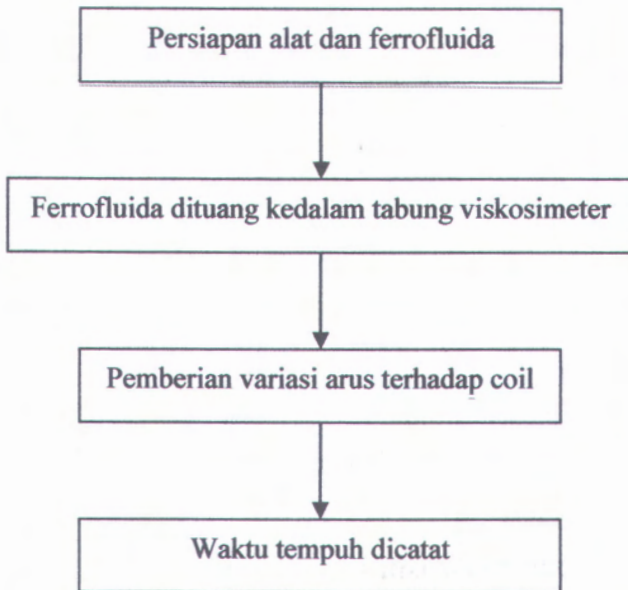
#### A. Pembuatan $\text{Fe}_3\text{O}_4$







### B. Pengukuran viskositas



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

### 3.4 Metode Analisis data

#### 3.4.1 Uji XRD

Penggunaan XRD pada penelitian dikhususkan pada penghitungan ukuran kristal dan fasa-fasa yang timbul. Untuk mengetahuinya dilakukan program search math dari data XRD yang didapatkan. Pengujian XRD dilaksanakan di Laboratorium Dasar Bersama (LDB) Unair dengan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$   $1,54 \text{ \AA}$ , 40 kV, 30 mA dengan tipe JEOL XRD6000. Gambar alat uji XRD yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Seperangkat peralatan uji XRD.

#### 3.4.2 Pengukuran Densitas

Penetapan nilai densitas dari ferrofluida dilakukan dengan menggunakan alat piknometer yang terdapat pada laboratorium fisika zat padat. Massa dari piknometer ditimbang. Begitu pula massa dari piknometer dan sampel. Dengan penimbangan massa dari piknometer, aquades dan

ferofluida dengan jumlah volume yang sama maka dapat diketahui besar densitas dari masing-masing ferofluida. Dalam hal ini untuk perhitungan nilai densitas menggunakan rumus sebagai berikut :

$$D_f = \frac{W_t}{W_5 - W_3} \quad \dots(3.1)$$

di mana :

$D_f$  = densitas sampel

$W_1$  = massa piknometer (gram)

$W_2$  = massa piknometer + massa sample (gram)

$W_t$  =  $W_2 - W_1$

$W_3$  = massa piknometer + aquades+sample (gram)

$W_4$  = massa piknometer + aquades (gram)

$W_5$  =  $W_t + W_4$

$W_5 - W_3$  = Volume sample ( $\text{cm}^3$ )

### 3.4.3 Pengukuran Viskositas

Menentukan nilai viskositas dari tiap-tiap larutan ferofluida dapat dilakukan dengan menggunakan viskosimeter ostwald. Tetapi pada viskosimeter ostwald dengan bentuk U cukup sulit untuk menempatkan koil tembaga yang nantinya berfungsi sebagai penginduksi medan magnet pada ferofluida ketika dilakukan uji viskositas. Dengan memanfaatkan viskosimeter yang sudah rusak di Laboratorium Fisika Dasar ternyata koil tembaga dapat diletakkan diantara tabung ostwald pengukuran viskositas ferofluida menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\eta_1 = \frac{\rho_1 \times t_1}{\rho_2 \times t_2} \times \eta_2 \quad \dots(3.2)$$

di mana :

$\eta_1$  = viskositas sampel (poise)

$\eta_2$  = viskositas aquades (0,0089 poise)

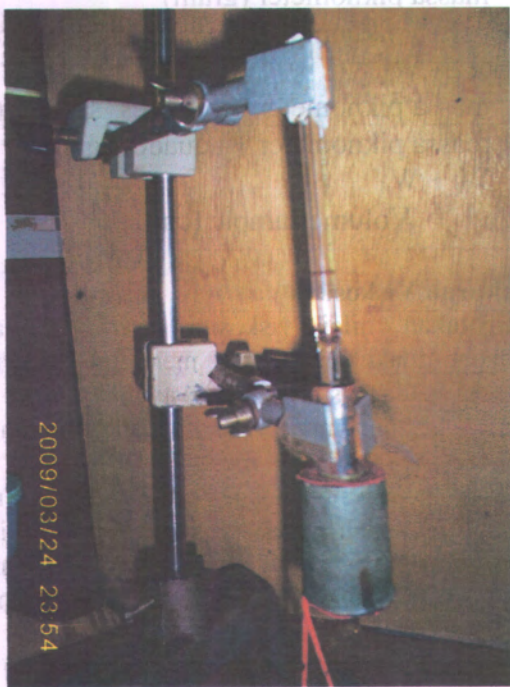
$\rho_1$  = densitas sampel ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho_2$  = densitas aquades ( $1000 \text{ kg/m}^3$ )

$t_1$  = waktu sampel (sekon)

$t_2$  = waktu aquades (10,95 sekon)

Gambar alat viskositas yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Peralatan pengukuran viskositas

### 3.4.4 Pengukuran Medan magnet

Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan pemberian arus yang bervariasi pada koil mulai dari 0.2A, 0.4A, 0.6A, 0.8A, 1A, 1.2A, 1.4A, 1.6A, sehingga diharapkan medan magnet yang dihasilkan juga akan bervariasi sesuai arus yang diberikan pada koil. koil yang digunakan pada penelitian ini mempunyai lilitan sebanyak 2000 lilitan. Susunan peralatan dan rangkaian yang digunakan diberikan dalam gambar 3.4 dan 3.5. Untuk mendapatkan besarnya medan magnet disumbu coil maka digunakan rumus sebagai berikut :

$$B = \frac{\mu_0 IN}{L}$$

di mana :

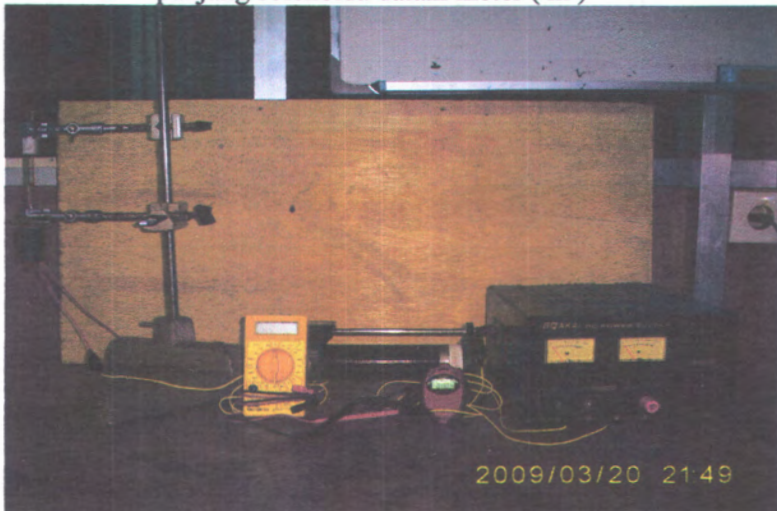
B = medan magnet pada pusat solenoida dalam tesla (T)

$\mu_0$  = permeabilitas ruang hampa =  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Wb/amp.M

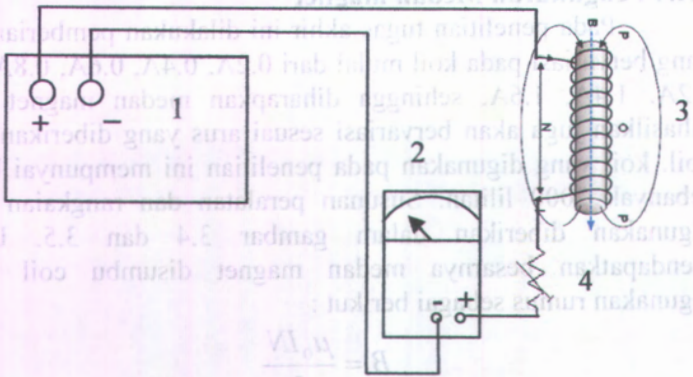
I = kuat arus listrik dalam ampere (A)

N = jumlah lilitan dalam solenoida

L = panjang solenoida dalam meter ( m )



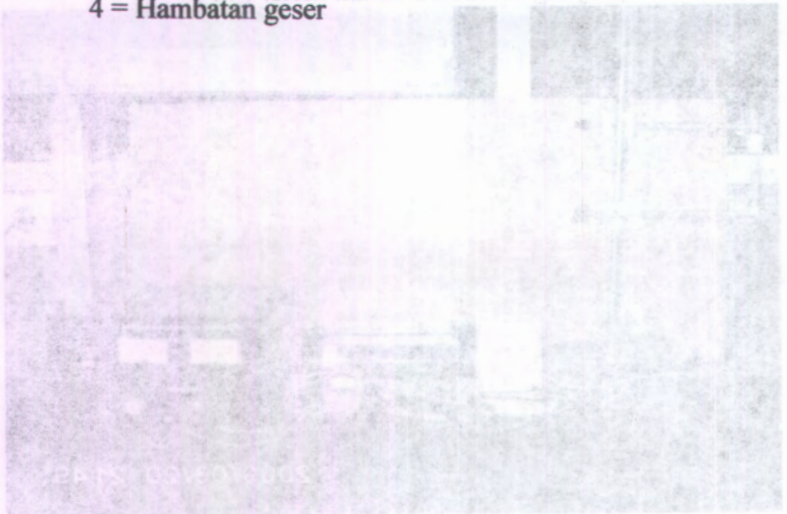
Gambar 3.4 Susunan peralatan pengukuran viskositas



**Gambar 3.5 Rangkaian peralatan pemberian arus pada solenoida**

**Keterangan :**

- 1 = Power supply
- 2 = Digital multimeter
- 3 = Solenoida
- 4 = Hambatan geser



Gambar 3.4 Rangkaian peralatan pengukuran resistansi

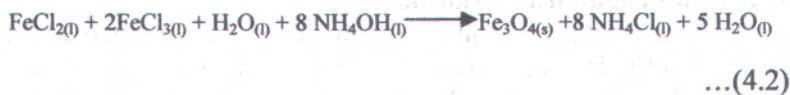
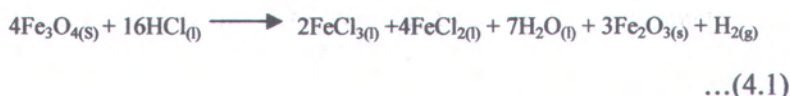


## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Serbuk Hasil Sintesis

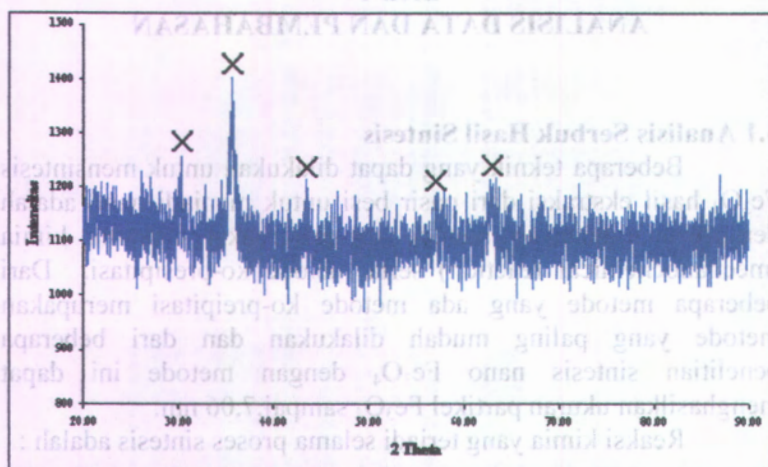
Beberapa teknik yang dapat dilakukan untuk mensintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  hasil ekstraksi dari pasir besi untuk menjadi nano adalah dengan menggunakan metode sol-gel, reaksi mekanik kimia (mechanochemical reaction) serta metode ko-presipitasi. Dari beberapa metode yang ada metode ko-presipitasi merupakan metode yang paling mudah dilakukan dan dari beberapa penelitian sintesis nano  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan metode ini dapat menghasilkan ukuran partikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sampai 7,06 nm.

Reaksi kimia yang terjadi selama proses sintesis adalah :



Metode ko-presipitasi yaitu hasil ekstraksi dilarutkan dalam larutan asam kemudian dilakukan pengadukan sampai homogen dan kemudian ditambahkan  $\text{NH}_4\text{OH}$ , penambahan  $\text{NH}_4\text{OH}$  sebagai bahan pengendap ini lebih menguntungkan karena  $\text{NH}_4\text{OH}$  yang masih tersisa dan mengotori endapan dapat dihilangkan dengan melakukan pemanasan pada endapan.

Analisis  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dilakukan dengan menggunakan XRD yang datanya disajikan pada Gambar 4.1. Dari grafik tampak bahwa kemurnian  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  hasil sintesis mencapai 100% sesuai dengan penelitian sebelumnya yang juga menggunakan metode ko-presipitasi dan ukuran partikel yang dihasilkan rata-rata 56,6 nm. Penyajian hasil pengujian XRD dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Gambar hasil pengujian XRD nano  $Fe_3O_4$  oleh I.G.B. Astu, 2009

#### 4.2 Hasil Pengukuran viskositas

Pada Gambar 4.2 di bawah terlihat perbedaan ketika ferrofluida diberi medan magnet dan tanpa diberi medan magnet. Ferrofluida yang diberi medan magnet adalah ferrofluida dengan penambahan TMAH sebesar 2 ml. Tampak perbedaan dengan ferrofluida 3 ml yang tidak diberi medan magnet yaitu adanya kenaikan ferrofluida dengan pemberian TMAH 2 ml mengikuti arah medan yang diberikan. Hal ini membuktikan bahwa arah ferrofluida bergantung pada arah medan magnet yang diberikan disekitarnya.

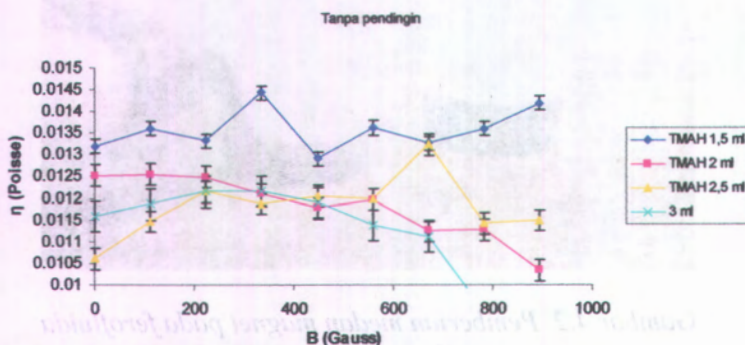
Analisis  $Fe_3O_4$  dilakukan dengan menggunakan XRD yang datanya disajikan pada Gambar 4.1. Dari grafik tampak bahwa kemurnian  $Fe_3O_4$  hasil sintesis mencapai 100% sesuai dengan penelitian sebelumnya yang juga menggunakan metode ko-presipitasi dan ukuran partikel yang dihasilkan rata-rata 56,6 nm. Penyajian hasil pengujian XRD dapat dilihat pada Gambar



*Gambar 4.2 Pemberian medan magnet pada ferrofluida*

Pada pengukuran viskositas ferrofluida dengan penambahan TMAH yang bervariasi antara 1.5 ml, 2 ml, 2.5 ml, 3 ml digunakan persamaan seperti yang terdapat pada Persamaan (3.2). Ternyata pada kasus pengukuran tanpa pendinginan coil ketika dialiri arus dari power supply terjadi perubahan waktu tempuh ferrofluida yang tidak signifikan yaitu cenderung turun. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.3 Perubahan waktu tempuh ini diakibatkan karena adanya pemanasan coil akibat dari bertambahnya arus yang diberikan kepada coil. Arus yang semakin besar mengakibatkan suhu coil semakin meningkat hal ini akan mempengaruhi juga suhu permukaan tabung viskometer dan secara langsung juga akan berpengaruh pada suhu ferrofluida. Perubahan suhu yang semakin meningkat pada ferrofluida akan menyebabkan gaya kohesi antar partikelnya semakin besar. Sehingga volume ferrofluida tersebut menjadi lebih besar sehingga tekanan pada ferrofluida didalam tabung tersebut juga akan berubah. Kecepatan alirnya akan semakin cepat atau waktu tempuhnya semakin kecil. Jika kecepatan alir semakin cepat maka

kekentalan dari ferrofluida juga akan berubah karena pengaruh panas ini kekentalan ferrofluida akan berkurang. Sehingga efek dari medan magnet yang diharapkan mampu menahan laju alir dari ferrofluida dengan adanya peningkatan kekentalan menjadi tidak berpengaruh dan tidak seperti yang diharapkan semula.

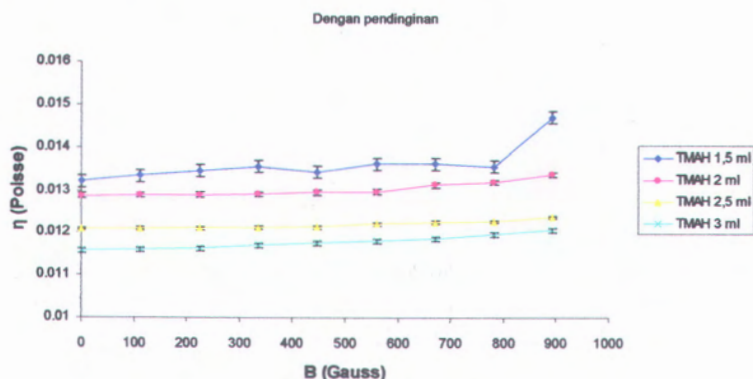


Gambar 4.3 Grafik perubahan nilai viskositas tanpa pendinginan koil

Maka dari itu dilakukan proses pendinginan untuk melihat apakah yang terjadi jika coil yang dialiri arus dilakukan pendinginan, ternyata hasil yang didapat ini berbeda dengan pengukuran waktu tempuh ferrofluida jika tanpa dilakukan pendinginan.

Dari Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa nilai viskositas yang didapat dari masing-masing percobaan mengalami kenaikan. Hal ini diakibatkan karena pengaruh dari medan magnet yang ditimbulkan oleh coil ketika diberikan arus yang semakin meningkat. Dengan meningkatnya medan magnet pada coil maka lama-kelamaan ferrofluida yang mengalir akan mengalami perlambatan. Perlambatan ini diakibatkan dari partikel nano  $Fe_3O_4$  terjadi aglomerasi untuk membentuk kolom magnetik. Ketika medan terus diberikan dan semakin ditingkatkan maka lama-kelamaan banyak kolom magnetik yang terbentuk dan

menyebabkan aglomerasi yang lebih banyak. Bisa jadi ketika diberi medan magnet yang terus meningkat maka ferrofluida tidak dapat mengalir atau mencapai titik maksimum terjadi aglomerasi. Dari Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa nilai viskositas yang tertinggi dimiliki oleh ferrofluida dengan penambahan TMAH sebanyak 1,5 ml dan terendah dimiliki oleh ferrofluida dengan penambahan TMAH sebanyak 3 ml.

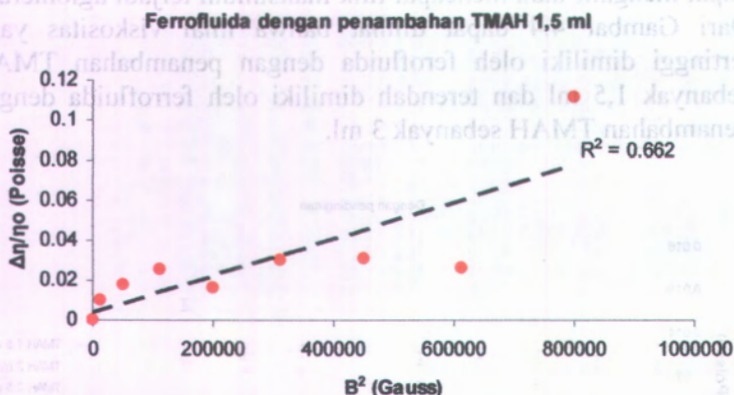


Gambar 4.4 Grafik perubahan nilai viskositas dengan pendinginan koil

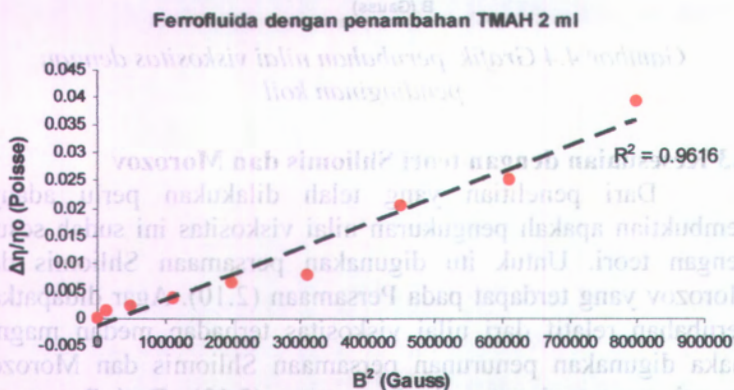
### 4.3 Kesesuaian dengan teori Shliomis dan Morozov

Dari penelitian yang telah dilakukan perlu adanya pembuktian apakah pengukuran nilai viskositas ini sudah sesuai dengan teori. Untuk itu digunakan persamaan Shliomis dan Morozov yang terdapat pada Persamaan (2.10). Agar didapatkan perubahan relatif dari nilai viskositas terhadap medan magnet maka digunakan penurunan persamaan Shliomis dan Morozov seperti yang terdapat pada Persamaan (2.13). Dari Persamaan (2.13) ini dapat dibuat grafik perubahan nilai viskositas terhadap medan magnet. Grafik yang dibuat menggunakan nilai viskositas yang mengalami pendinginan koil. Hal ini dilakukan karena nilai

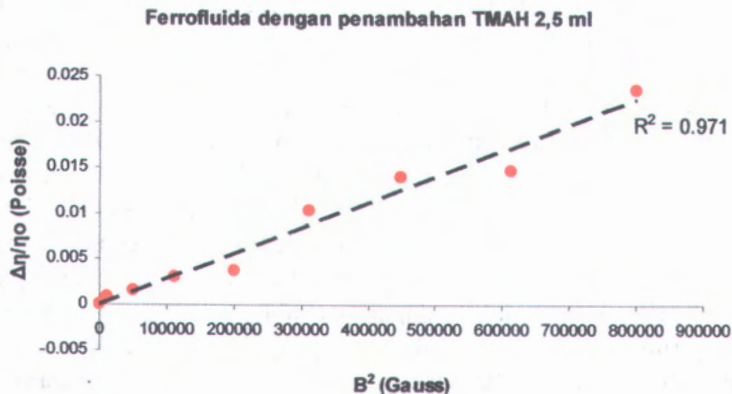
viskositasnya cenderung meningkat dengan stabil dibanding dengan nilai viskositas yang tanpa adanya pendinginan koil.



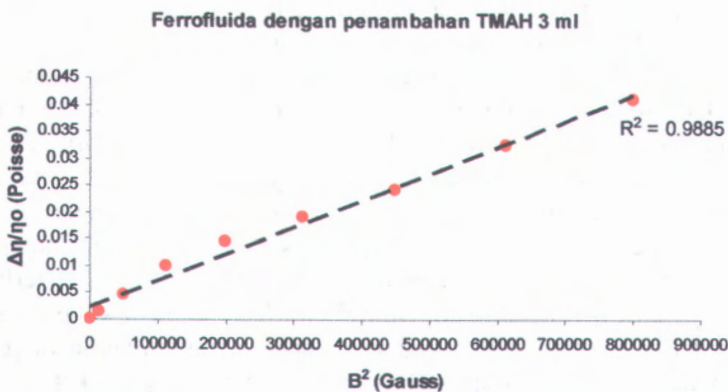
Gambar 4.5 Grafik perubahan nilai viskositas ferrofluida dengan penambahan TMAH 1,5 ml menggunakan persamaan Shliomis dan Morozov



Gambar 4.6 Grafik perubahan nilai viskositas ferrofluida dengan penambahan TMAH 2 ml menggunakan persamaan Shliomis dan Morozov



Gambar 4.7 Grafik perubahan nilai viskositas ferrofluida dengan penambahan TMAH 2,5 ml menggunakan persamaan Shliomis dan Morozov



Gambar 4.8 Grafik perubahan nilai viskositas ferrofluida dengan penambahan TMAH 3 ml menggunakan persamaan Shliomis dan Morozov

Dalam Gambar 4.5 sampai dengan Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa adanya perubahan nilai viskositas terhadap medan magnet yang terus meningkat secara teratur. Hal ini dapat diketahui dari nilai dari keseeksamaan atau  $R^2$  yang mendekati 1. Tetapi ada perbedaan pada Gambar 4.5 Grafik perubahan nilai viskositas ferofluida dengan penambahan TMAH 1,5 ml di mana nilai  $R^2$  sebesar 0,662. Hal ini disebabkan karena adanya penurunan pada nilai viskositas pada pengukuran keenam sampai kedelapan dan langsung mengalami kenaikan yang tinggi pada akhir pengukuran. Hal ini dapat disebabkan karena masih adanya pengaruh panas pada koil pada pengukuran keenam sampai ketujuh sehingga nilai viskositasnya menjadi turun. Selain itu dengan penambahan TMAH sebanyak 1,5 ml maka kekentalan ferofluida menjadi lebih besar dibanding dengan penambahan TMAH sebanyak 3 ml. Karena lebih kental maka jarak antar partikelnya lebih dekat sehingga jika ada pengaruh panas dari luar lebih mudah mempengaruhi karena perpindahan energi antar molekulnya lebih mudah. Sehingga nilai kapasitas panasnya lebih kecil dan mudah dipengaruhi oleh panas yang akan membuat perubahan nilai viskositasnya tidak stabil.

Hal ini berbeda dengan ferofluida dengan penambahan TMAH sebesar 3 ml mempunyai nilai  $R^2$  sebesar 0,9885. di mana nilai viskositasnya semakin kecil hal ini berarti ferofluida ini lebih encer, maka jarak antar molekulnya lebih besar. Jadi ketika diberikan penambahan besar arus pada koil yang menyebabkan adanya perubahan suhu pada daerah disekitar koil, nilai viskositas dari ferofluida dengan penambahan TMAH 3 ml ini tidak terlalu mengalami perubahan yang signifikan. Karena gaya kohesi yang kecil mengakibatkan perpindahan energi antar molekulnya juga semakin kecil. Jika nilai viskositas ini semakin meningkat secara teratur maka hal ini telah sesuai dengan Gambar 2.3.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 KESIMPULAN**

Dari penelitian tugas akhir yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan:

1. Pemberian TMAH pada ferrofluida semakin sedikit maka nilai viskositas yang didapat akan semakin naik.
2. Perubahan suhu pada ferrofluida yang semakin meningkat akan menyebabkan menurunnya nilai viskositas.
3. Adanya kesesuaian antara hasil pengukuran viskositas dalam medan magnet dengan teori Shliomis dan Morozov.

#### **5.2 SARAN**

Saran pada penelitian selanjutnya adalah :

1. Perlu dilakukan proses pendinginan dengan lebih terkontrol agar dalam pengukuran didapatkan nilai viskositas yang lebih stabil.
2. Penambahan besar kuat medan magnet sehingga dapat diketahui sampai berapa nilai viskositas ferrofluida mencapai titik maksimum.
3. Perlu dilakukan pengukuran suhu dari ferrofluida ketika dialiri arus untuk mengetahui seberapa besar perubahan suhu ferrofluida dan pengaruhnya terhadap nilai viskositas.

## “Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 KESIMPULAN

Dari penelitian tugas akhir yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan:

1. Pemberian TMAH pada ferofluida semakin sedikit maka nilai viskositas yang didapat akan semakin naik.
2. Perubahan suhu pada ferofluida yang semakin meningkat akan menyebabkan menurunnya nilai viskositas.
3. Adanya kesesuaian antara hasil pengukuran viskositas dalam medan magnet dengan teori Shilominis dan Morozov.

#### 5.2 SARAN

Saran pada penelitian selanjutnya adalah :

1. Perlu dilakukan proses pendinginan dengan lebih terkontrol agar dalam pengukuran didapatkan nilai viskositas yang lebih stabil.
2. Penambahan besar kuat medan magnet sehingga dapat diberikan sampai besar nilai viskositas ferofluida mencapai titik maksimum.
3. Perlu dilakukan pengukuran suhu dari ferofluida ketika dialiri arus untuk mengetahui seberapa besar perubahan suhu ferofluida dan pengaruhnya terhadap nilai viskositas.

## DAFTAR PUSTAKA

M.S. Dababneh, N.Y. Ayoub, I. Odeh, N.M. Laham, 1992, *Viscosity, resistivity and surface tension measurements of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ferrofluid*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 125 (1993) 34-38, North-Holland

Odenbach. Stefan, 2002, *Magnetoviscous Effects in Ferrofluids*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg : Germany

Baqiya. M. Anjelh, 2008, *Preparasi Partikel Nano Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan Pelapisannya Pada Logam Non Magnetik*, Tesis, Jurusan Fisika FMIPA ITS : Surabaya

Elborai. S. Mahmoud, 2006, *Ferrofluids surface and volume flow in uniform rotating magnetic fields*, Department of electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology : USA

Rosenthal. D. Adam, *Ferrofluid flow and torque measurement in rotating magnetic fields*, 2002, Department of electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology : USA

C. Scherer and A. M. Figueiredo Neto, (2005), *Brazilian Journal of Physics*, Vol. 35, No. 3A.

Y. P. Chiu, Y. F. Chen, S. Y. Yang, J. C. Chen, H. E. Horng), H. C. Yang, W. S. Tse, Chin-Yih Hong, 2003, *Specific heat of magnetic fluids under a modulated magnetic field*, Journal of Applied Physics, American Institute of Physics

Badan Standardisasi Nasional, 2003, *Cara uji berat jenis tanah*, Standar Nasional Indonesia (SNI 1964:2008) : Bandung

Viscolab, 2009, *Viscosity of Liquids*, Physical Chemistry 3621

<http://www.pharmainfo.net/pharmaceutical-suspensionsa-review.htm>

Strem chemical inc, 2005, *Nanomaterials for Automotive Applications*, Max-Planck-Institut fuer Kohlenforschung

Astu. I. G. B., 2009, *Sintesis Komposit Nano Polianilin-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Dan Karakterisasi Sifat Listrik Dan Magnetiknya*, Tugas Akhir, Jurusan Fisika FMIPA ITS : Surabaya

Elbori, S. Mahmud, 2006, Ferrofluid surface and volume flow in uniform rotating magnetic fields, Department of electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology, USA

Rosenthal, D. Adam, Ferrofluid flow and torque measurement in rotating magnetic fields, 2002, Department of electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology, USA

C. Scherer and A. M. Figueiredo Neto, (2002), Brazilian Journal of Physics, Vol. 32, No. 3A

Y. P. Chiu, Y. F. Chen, S. Y. Yang, J. C. Chen, H. E. Horng, H. C. Yang, W. S. Tse, Chin-Yin Hong, 2002, Specific heat of magnetic fluids under a modulated magnetic field, Journal of Applied Physics, American Institute of Physics

Badan Standarisasi Nasional, 2003, Cara uji part part tancu Standar Nasional Indonesia (SNI 1904:2003) : Bandung

## LAMPIRAN

### I. Besar waktu tempuh

#### A. Dengan pendinginan

#### 1. Waktu tempuh Ferrofluida dengan penambahan TMAH 1,5 ml

Arus	B (Gauss)	waktu (sekon)							Rataa
0 A	0	13,82	15,57	14,62	15,03	13,51	14,72	14,43	14,52
0,2 A	111,746	15,78	16,65	13,37	14,41	14,41	14,04	13,97	14,66
0,4 A	223,4921	14,46	14,38	15,43	14,81	14,4	14,75	15,19	14,78
0,6 A	335,2381	14,87	14,66	14,84	15,03	15,37	14,18	15,28	14,89
0,8 A	446,9841	14,85	15,87	14,59	14,06	15,5	13,41	15,09	14,76
1 A	558,7302	15,91	15,56	14,03	14	15,78	15,68	13,82	14,96
1,2 A	670,4762	15,15	15,56	14,57	14	15,38	14,97	15,47	14,97
1,4 A	782,2222	15,53	14,94	15,13	14,62	14,29	14,84	15	14,9
1,6 A	893,9683	16	14,41	16,38	16,81	17,04	16,42	15,97	16,14

#### 2. Waktu tempuh Ferrofluida dengan penambahan TMAH 2 ml

Arus	B (Gauss)	waktu (sekon)							Rataa
0 A	0	14	14,28	14,72	14,41	14,1	14,41	14,12	14,29
0,2 A	111,746	14,16	13,97	14,62	14,28	14,66	14,5	14,2	14,31
0,4 A	223,4921	14	14,03	14,27	15,07	14,56	14,44	13,92	14,32
0,6 A	335,2381	15,43	14,23	13,65	14,85	14,24	14,46	13,89	14,34
0,8 A	446,9841	15,37	14,84	14,81	14,97	13,83	13,53	13,37	14,38
1 A	558,7302	15,52	15,01	14,83	14,47	14,3	13,66	13,03	14,4
1,2 A	670,4762	15,64	15,23	14,94	14,75	13,25	13,81	14,46	14,58
1,4 A	782,2222	14,47	13,82	15,56	14,72	15,09	14,54	14,23	14,65
1,6 A	893,9683	15,12	14,59	15,94	15,12	14,75	14,4	14,03	14,85

## 3. Waktu tempuh Ferrofluida dengan penambahan TMAH 2,5 ml

Arus	B (Gauss)	waktu (sekon)							Rataa
		0 A	0	13,66	13,62	13,59	13,47	13,75	
0,2 A	111,746	13,81	13,65	13,38	13,59	13,87	13,56	13,75	13,85
0,4 A	223,4921	13,72	13,91	13,21	13,62	13,94	13,94	13,31	13,66
0,6 A	335,2381	13,94	14,38	13,38	13,97	13,69	13,37	13,69	13,68
0,8 A	446,9841	13,9	13,81	13,84	13,57	13,75	13,25	13,62	13,69
1 A	558,7302	15,32	14,12	13,59	13,85	15,75	14,07	13,78	13,78
1,2 A	670,4762	13,75	14,15	14,28	13,41	14,38	13,75	13,09	13,83
1,4 A	782,2222	13,56	14,31	13,81	13,72	14,16	13,81	13,53	13,84
1,6 A	893,9683	14,44	14,47	14,37	13,81	13,28	14,1	13,31	13,96

## 4. Waktu tempuh Ferrofluida dengan penambahan TMAH 3 ml

Arus	B (Gauss)	waktu (sekon)							Rataa
		0 A	0	12,78	12,94	12,63	13,09	13,78	
0,2 A	111,746	13,43	13,68	13,51	13,91	14,57	12,66	12,44	13,45714
0,4 A	223,4921	13,68	13,12	13,34	13,28	12,75	12,87	13,81	13,26429
0,6 A	335,2381	13,75	13,78	13,68	13,45	13,13	12,56	12,94	13,32714
0,8 A	446,9841	13,43	13,57	13,69	13,44	13,22	13,5	12,84	13,38429
1 A	558,7302	12,97	13,56	13,47	12,97	13,78	13,69	13,66	13,44286
1,2 A	670,4762	13,28	13,25	13,69	14,35	13,75	13,81	13,4	13,64714
1,4 A	782,2222	13,57	13,53	13,28	13,19	14,03	13,85	13,94	13,62714
1,6 A	893,9683	13,82	14,16	13,82	14	13,59	13,28	13,5	13,73857

## B. Tanpa pendinginan

### 1. Waktu tempuh Ferrofluida dengan penambahan TMAH 1,5 ml

Arus	B (Gauss)	waktu (sekon)							Rataa
0 A	0	13,87	13,53	14,98	14,56	15,75	14,23	14,56	14,49714
0,2 A	111,746	16,65	13,37	14,41	15,42	14,04	13,97	15,42	14,94857
0,4 A	223,4921	14,38	14,43	14,81	14,4	14,75	15,19	14,4	14,63143
0,6 A	335,2381	14,66	14,84	17	15,37	15,28	19,03	15,37	15,86429
0,8 A	446,9841	13,82	14,59	14,06	13,5	13,41	15,09	13,5	14,18857
1 A	558,7302	15,56	14,03	14	15,78	15,68	13,82	15,78	14,96857
1,2 A	670,4762	13,56	14	15,38	14,97	15,47	15,47	14,97	14,57143
1,4 A	782,2222	14,94	15,13	14,62	14,29	14,84	15,23	14,29	14,94
1,6 A	893,9683	14,13	13,34	13,18	16	21,94	16,38	16	15,59143

### 2. Waktu tempuh Ferrofluida dengan penambahan TMAH 2 ml

Arus	B (Gauss)	waktu (sekon)							Rataa
0 A	0	13,72	13,65	13,75	13,81	14	14,41	14	13,90571
0,2 A	111,746	14,16	13,97	14	13,69	13,66	14,1	14	13,94
0,4 A	223,4921	14	13,47	13,5	14,03	14,32	14	13,78	13,87143
0,6 A	335,2381	14,22	13,65	13,4	13,25	12,75	13,38	13,4	13,43571
0,8 A	446,9841	13,37	13,35	13,25	12,75	12,9	13,15	12,82	13,08429
1 A	558,7302	12,72	14	13,66	14,31	13,03	12,44	12,84	13,28571
1,2 A	670,4762	12,16	12,38	12,72	12,94	12,25	12,54	12,4	12,48429
1,4 A	782,2222	12,81	12,65	12,1	12,62	12,59	12,25	12,6	12,51714
1,6 A	893,9683	11,34	12,19	12,98	11,12	11,84	10,72	10,18	11,48143

## 3. Waktu tempuh Ferrofluida dengan penambahan TMAH 2,5 ml

Arus	B (Gauss)	waktu (sekon)							Rataa
0 A	0	11,5	11,75	11,12	12,09	12,56	12,53	12,21	11,96571
0,2 A	111,746	12,41	13,72	12,75	12,82	12,47	14,35	12,12	12,94857
0,4 A	223,4921	13,72	13,91	13,21	13,62	13,94	13,94	13,66	13,71429
0,6 A	335,2381	13,61	13,22	13,09	13,37	13,25	13,03	14,19	13,39429
0,8 A	446,9841	13,66	13,07	14,06	13,68	13,65	13,87	13,31	13,61429
1 A	558,7302	13,88	13,13	13,66	13,79	13,34	13,15	13,66	13,51571
1,2 A	670,4762	14,53	15,97	13,78	13,93	15,85	13,9	16,59	14,93571
1,4 A	782,2222	13,54	13,56	13,03	12,09	12,97	12,4	12,65	12,89143
1,6 A	893,9683	14,44	14,47	13,37	12,1	11,31	13,24	11,81	12,96286

## 4. Waktu tempuh Ferrofluida dengan penambahan TMAH 3 ml

Arus	B (Gauss)	waktu (sekon)							Rataa
0 A	0	12,78	12,94	12,63	13,09	13,78	13,6	13,53	13,19286
0,2 A	111,746	13,43	13,44	13,31	13,68	13,91	13,43	13,44	13,52
0,4 A	223,4921	13,25	13,34	13,28	13,81	14,5	14,38	14,38	13,84857
0,6 A	335,2381	13,56	15,59	13,13	14,21	13,57	13,43	13,5	13,85571
0,8 A	446,9841	12,97	12,75	14,5	14,53	13,93	13,65	12,53	13,55143
1 A	558,7302	13,6	14,37	12,5	13,1	11,38	13,09	12,66	12,95714
1,2 A	670,4762	12,97	12,5	12,56	12,63	13,15	12,47	12,34	12,66
1,4 A	782,2222	12	11,88	11,97	11,66	13,28	1,75	12,25	10,68429
1,6 A	893,9683	11	11,38	10,97	10,78	10,44	10,03	10,47	10,72429



## II. Besar nilai viskositas

### A. Dengan pendinginan

#### 1. Ferrofluida dengan penambahan TMAH 1,5 ml

Arus	t ferro (sekon)	t aqua (sekon)	$\eta$ aqua (poisse)	$\rho$ aqua ( $\text{kg/m}^3$ )	$\rho$ ferro ( $\text{kg/m}^3$ )	$\eta$ ferro (poisse)
0 A	14.52	10.95	0.0089	1000	1120	0.013217841
0,2 A	14.66	10.95	0.0089	1000	1120	0.013345286
0,4 A	14.78	10.95	0.0089	1000	1120	0.013454524
0,6 A	14.89	10.95	0.0089	1000	1120	0.013554659
0,8 A	14.76	10.95	0.0089	1000	1120	0.013436318
1 A	14.96	10.95	0.0089	1000	1120	0.013618382
1,2 A	14.97	10.95	0.0089	1000	1120	0.013627485
1,4 A	14.9	10.95	0.0089	1000	1120	0.013563763
1,6 A	16.14	10.95	0.0089	1000	1120	0.014692559

#### 2. Ferrofluida dengan penambahan TMAH 2 ml

Arus	t ferro (sekon)	t aqua (sekon)	$\eta$ aqua (poisse)	$\rho$ aqua ( $\text{kg/m}^3$ )	$\rho$ ferro ( $\text{kg/m}^3$ )	$\eta$ ferro (poisse)
0 A	14.29	10.95	0.0089	1000	1108	0.012869091
0,2 A	14.31	10.95	0.0089	1000	1108	0.012887102
0,4 A	14.32	10.95	0.0089	1000	1108	0.012896108
0,6 A	14.34	10.95	0.0089	1000	1108	0.012914119
0,8 A	14.38	10.95	0.0089	1000	1108	0.012950142
1 A	14.4	10.95	0.0089	1000	1108	0.012968153
1,2 A	14.58	10.95	0.0089	1000	1108	0.013130255
1,4 A	14.65	10.95	0.0089	1000	1108	0.013193295
1,6 A	14.85	10.95	0.0089	1000	1108	0.013373408

## 3. Ferrofluida dengan penambahan TMAH 2,5 ml

Arus	t ferro (sekon)	t aqua (sekon)	$\eta$ aqua (poisse)	$\rho$ aqua ( $\text{kg/m}^3$ )	$\rho$ ferro ( $\text{kg/m}^3$ )	$\eta$ ferro (poisse)
0 A	13.64	10.95	0.0089	1000	1090	0.012084168
0,2 A	13.65	10.95	0.0089	1000	1090	0.012093027
0,4 A	13.66	10.95	0.0089	1000	1090	0.012101887
0,6 A	13.68	10.95	0.0089	1000	1090	0.012119605
0,8 A	13.69	10.95	0.0089	1000	1090	0.012128465
1 A	13.78	10.95	0.0089	1000	1090	0.012208199
1,2 A	13.83	10.95	0.0089	1000	1090	0.012252496
1,4 A	13.84	10.95	0.0089	1000	1090	0.012261355
1,6 A	13.96	10.95	0.0089	1000	1090	0.012367668

## 4. Ferrofluida dengan penambahan TMAH 3 ml

Arus	t ferro (sekon)	t aqua (sekon)	$\eta$ aqua (poisse)	$\rho$ aqua ( $\text{kg/m}^3$ )	$\rho$ ferro ( $\text{kg/m}^3$ )	$\eta$ ferro (poisse)
0 A	13.19	10.95	0.0089	1000	1080	0.01157829
0,2 A	13.21	10.95	0.0089	1000	1080	0.011595847
0,4 A	13.25	10.95	0.0089	1000	1080	0.011630959
0,6 A	13.32	10.95	0.0089	1000	1080	0.011692405
0,8 A	13.38	10.95	0.0089	1000	1080	0.011745074
1 A	13.44	10.95	0.0089	1000	1080	0.011797742
1,2 A	13.51	10.95	0.0089	1000	1080	0.011859189
1,4 A	13.62	10.95	0.0089	1000	1080	0.011955748
1,6 A	13.73	10.95	0.0089	1000	1080	0.012052307

## B. Tanpa pendinginan

### 1. Ferrofluida dengan penambahan TMAH 1,5 ml

Arus	t ferro (sekon)	t aqua (sekon)	$\eta$ aqua (poisse)	$\rho$ aqua ( $\text{kg/m}^3$ )	$\rho$ ferro ( $\text{kg/m}^3$ )	$\eta$ ferro (poisse)
0 A	14.49714	10.95	0.0089	1000	1120	0.013197034
0,2 A	14.94857	10.95	0.0089	1000	1120	0.013607978
0,4 A	14.63143	10.95	0.0089	1000	1120	0.013319277
0,6 A	15.86429	10.95	0.0089	1000	1120	0.014441571
0,8 A	14.18857	10.95	0.0089	1000	1120	0.012916135
1 A	14.96857	10.95	0.0089	1000	1120	0.013626184
1,2 A	14.57143	10.95	0.0089	1000	1120	0.013264658
1,4 A	14.94	10.95	0.0089	1000	1120	0.013600175
1,6 A	15.59143	10.95	0.0089	1000	1120	0.014193184

### 2. Ferrofluida dengan penambahan TMAH 2 ml

Arus	t ferro (sekon)	t aqua (sekon)	$\eta$ aqua (poisse)	$\rho$ aqua ( $\text{kg/m}^3$ )	$\rho$ ferro ( $\text{kg/m}^3$ )	$\eta$ ferro (poisse)
0 A	13.90571	10.95	0.0089	1000	1108	0.012523016
0,2 A	13.94	10.95	0.0089	1000	1108	0.012553893
0,4 A	13.87143	10.95	0.0089	1000	1108	0.01249214
0,6 A	13.43571	10.95	0.0089	1000	1108	0.01209975
0,8 A	13.08429	10.95	0.0089	1000	1108	0.011783266
1 A	13.28571	10.95	0.0089	1000	1108	0.011964665
1,2 A	12.48429	10.95	0.0089	1000	1108	0.011242926
1,4 A	12.51714	10.95	0.0089	1000	1108	0.011272516
1,6 A	11.48143	10.95	0.0089	1000	1108	0.010339787

## 3. Ferrofluida dengan penambahan TMAH 2,5 ml

Arus	t ferro (sekon)	t aqua (sekon)	$\eta$ aqua (poisse)	$\rho$ aqua ( $\text{kg/m}^3$ )	$\rho$ ferro ( $\text{kg/m}^3$ )	$\eta$ ferro (poisse)
0 A	11.96571	10.95	0.0089	1000	1090	0.010600858
0,2 A	12.94857	10.95	0.0089	1000	1090	0.011471607
0,4 A	13.71429	10.95	0.0089	1000	1090	0.01214998
0,6 A	13.39429	10.95	0.0089	1000	1090	0.011866481
0,8 A	13.61429	10.95	0.0089	1000	1090	0.012061387
1 A	13.51571	10.95	0.0089	1000	1090	0.011974059
1,2 A	14.93571	10.95	0.0089	1000	1090	0.013232088
1,4 A	12.89143	10.95	0.0089	1000	1090	0.011420982
1,6 A	12.96286	10.95	0.0089	1000	1090	0.011484263

## 4. Ferrofluida dengan penambahan TMAH 3 ml

Arus	t ferro (sekon)	t aqua (sekon)	$\eta$ aqua (poisse)	$\rho$ aqua ( $\text{kg/m}^3$ )	$\rho$ ferro ( $\text{kg/m}^3$ )	$\eta$ ferro (poisse)
0 A	13.19286	10.95	0.0089	1000	1080	0.011580798
0,2 A	13.52	10.95	0.0089	1000	1080	0.011867967
0,4 A	13.84857	10.95	0.0089	1000	1080	0.01215639
0,6 A	13.85571	10.95	0.0089	1000	1080	0.01216266
0,8 A	13.55143	10.95	0.0089	1000	1080	0.011895555
1 A	12.95714	10.95	0.0089	1000	1080	0.011373886
1,2 A	12.66	10.95	0.0089	1000	1080	0.011113052
1,4 A	10.68429	10.95	0.0089	1000	1080	0.009378754
1,6 A	10.72429	10.95	0.0089	1000	1080	0.009413866

## BIODATA



Penulis dilahirkan di Madiun, 12 Pebruari 1986 merupakan anak ketiga dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Perwanida Madiun, SDN Josenan 4 Madiun, SLTPN 1 Madiun, SMAN 2 Madiun. Setelah lulus dari SMAN tahun 2004, Penulis mengikuti SPMB dan diterima di Jurusan Fisika FMIPA-ITS pada tahun 2004 dan terdaftar dengan

NRP 1104 100 028. Di Jurusan Fisika ini Penulis mengambil Minat Bidang Material. Selama masa studi, Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan seminar yang diselenggarakan oleh Jurusan Fisika. Selain itu penulis juga aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMASIKA), Forum Studi Islam Fisika (FOSIF), BEM FMIPA, dan aktif sebagai Asisten Praktikum Dasar. Penulis suka berolahraga sepak bola, naik gunung dan tenis meja. Motto hidupnya adalah "Ingat lima perkara sebelum lima perkara". Mungkin dalam penulisan tugas akhir ini terdapat kesalahan maka pembaca dapat mengkonfirmasi melalui E-mail: [Tesandria@physics.its.ac.id](mailto:Tesandria@physics.its.ac.id).