

28 901/H/07



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



RSFi
Sjg. 721 3
Ani
a-1

2007

TUGAS AKHIR - SF 1380

ANALISIS UKURAN DAN KORELASI NANOPARTIKEL Fe_3O_4 DALAM FLUIDA MAGNETIK DENGAN TEKNIK HAMBURAN NEUTRON SUDUT KECIL

SISTIN ASRI ANI
NRP 1103 100 016

Dosen Pembimbing
Dr. Darminto, M.Sc.

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

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terims	28 - 2 - 2007
Terims Dari	H
No. Agenda Prp.	227388



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - SF 1380

**SIZE AND CORRELATION ANALYSIS
OF Fe_3O_4 NANOPARTICLES IN MAGNETIC FLUIDS BY
SMALL ANGLE NEUTRON SCATTERING TECHNIQUE**

SISTIN ASRI ANI
NRP 1103 100 016

Advisor
Dr. Darminto, M.Sc.

DEPARTMENT OF PHYSICS
Faculty of Mathematics and Sciences
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2007

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS UKURAN DAN KORELASI NANOPARTIKEL Fe_3O_4 DALAM FLUIDA MAGNETIK DENGAN TEKNIK HAMBURAN NEUTRON SUDUT KECIL

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 :

SISTIN ASRI ANI
NRP. 1103 100 016

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

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



SURABAYA, FEBRUARI 2007

ANALISIS UKURAN DAN KORELASI NANOPARTIKEL Fe_3O_4 DALAM FLUIDA MAGNETIK DENGAN TEKNIK HAMBURAN NEUTRON SUDUT KECIL

Nama Mahasiswa : Sistin Asri Ani
NRP : 1103 100 016
Jurusan : Fisika FMIPA – ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Darminto, M. Sc.

Abstrak

Telah dilakukan analisis ukuran dan korelasi nanopartikel Fe_3O_4 dalam fluida magnetik menggunakan Teknik Hamburan Neutron Sudut Kecil. Analisis ukuran partikel dilakukan dengan pendekatan daerah Guinier untuk memperoleh ukuran jari-jari girasi dalam partikel yang selanjutnya digunakan untuk menentukan rerata jari-jari partikel magnetit. Ukuran jari-jari partikel magnetit berkisar antara 17,8 – 53,6 nm. Pendekatan dengan model Poly Core Shell Ratio menunjukkan harga ukuran rerata jari-jari partikel sebesar 25 nm dengan polidisersitas sebesar 0,4. Pengaruh konsentrasi fluida magnetik terhadap ketebalan lapisan surfaktan tidak menunjukkan perubahan harga yang signifikan yaitu sebesar 6 – 8 Å dan dalam kisaran variasi 0,5 – 3 M belum ditemukan adanya korelasi antar partikel magnetit dalam fluida magnetik.

Kata kunci : nanopartikel, fluida magnetik, Hamburan Neutron Sudut Kecil

SIZE AND CORRELATION ANALYSIS OF Fe_3O_4 NANOPARTICLES IN MAGNETIC FLUIDS BY SMALL ANGLE NEUTRON SCATTERING TECHNIQUE

Name : Sistin Asri Ani
NRP : 1103 100 016
Department : Physics FMIPA – ITS
Advisor : Dr. Darminto, M.Sc.

Abstract

Size and correlation analyses of Fe_3O_4 nanoparticles have been carried out by the measurement small angle neutron scattering. Particle size of magnetite is analyzed by Guinier region approximation in order to gain gyration radius, which will be used to determine the average radius of magnetite particles resulting in the value between 17.8 nm and 53.6 nm. Further approximation using Poly Core Shell Ratio Model shows the average particle size of 25 nm with polydispersity of 0.4. The effect of magnetic fluids concentration on the thickness of surfactant layer has not shown a significant change whose is 6 – 8 Å relating to the molar concentration value between 0.5 M and 3 M signifying no correlation among the particles in magnetic fluids.

Keywords : Fe_3O_4 nanoparticle, small angle neutron scattering, magnetic fluids

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas anugerah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul “ *Analisis Ukuran dan Korelasi Nanopartikel Fe_3O_4 dalam Fluida Magnetik dengan Teknik Hamburan Neutron Sudut Kecil* ”, guna memperoleh gelar Sarjana pada jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis juga mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang turut membantu selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini yaitu :

1. Bapak Dr. Triwikantoro, M.Sc. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA ITS Surabaya.
2. Bapak Dr. Darminto, M.Sc. selaku dosen wali dan dosen pembimbing.
3. Bapak Dr. Ridwan selaku Kepala Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir , bapak Dr. Abarrul Ikram dan bapak Dr. Eddy Giri Rachman Putra.
4. Bapak Dr. Triwikantoro M.Sc., bapak Dr. Suminar Pratapa, M.Sc. dan bapak Drs. Gontjang Prajitno, M.Si. selaku dosen penguji serta semua staf pengajar dan karyawan di jurusan Fisika atas arahan dan bimbingannya.
5. Ayahanda, Ibunda, kakak, adik tercinta yang telah banyak memberikan waktu dan dukungan penuh selama penulis menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
6. Teman-teman Jurusan Fisika FMIPA ITS

Demikian Laporan Tugas akhir ini disusun dengan harapan dapat lebih bermanfaat bagi para pembaca. Penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun guna tercapainya hasil yang optimal.

Surabaya, Februari 2007
Penulis



[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page]

172

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. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Sistematika Laporan	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Fluida Magnetik	4
2.2. Teknik Hamburan Neutron Sudut Kecil	
2.2.1. Karakteristik Neutron	6
2.2.2. Hamburan Neutron	9
2.2.3. Hamburan Neutron Sudut Kecil	
2.2.3.1. Teori Hamburan Neutron Sudut Kecil	11
2.2.3.2. Komponen dan Cara Kerja Alat Hamburan Neutron Sudut Kecil	23

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Alat dan Bahan	
3.1.1. Alat	29
3.1.2. Bahan	30
3.2. Penyiapan Sampel	30
3.3. Pengukuran dengan alat <i>Small Angle Neutron</i>	

Scattering Spectrometer (SANS)

3.3.1. Teknik Pengukuran dengan Teknik Hamburan Neutron Sudut Kecil.....	32
3.3.2. Analisis Data Hamburan Neutron Sudut Kecil	
a. Penentuan Ukuran Partikel Magnetit Fe_3O_4	34
b. Analisis Pengaruh Konsentrasi Fluida Magnetik terhadap Ketebalan Lapisan Surfaktan dan Ukuran Partikel Magnetit	36

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Sekilas Mengenai Penelitian Sebelumnya.....	37
4.2. Hasil Pembuatan Sampel	38
4.3. Analisis Data Hamburan	
4.3.1. Prosedur Pengukuran dengan Teknik Hamburan Neutron Sudut Kecil.....	41
4.3.2. Penentuan ukuran partikel Fe_3O_4 dari data Hamburan Neutron Sudut Kecil.....	44
a. Penentuan ukuran partikel menggunakan program <i>fitting</i> dengan pendekatan daerah Guinier	46
b. Penentuan ukuran partikel menggunakan program analisis NIST	47
4.3.3. Pengaruh konsentrasi fluida magnetik terhadap ketebalan lapisan surfaktan dan ukuran partikel magnetit	49

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan 52
5.2. Saran53
DAFTAR PUSTAKA54
LAMPIRAN57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Respon magnetik dari fluida magnetik dalam pengaruh medan magnet permanen	4
Gambar 2.2	Koloid magnetik yang terdiri dari partikel magnetik, surfaktan dan air	5
Gambar 2.3	Interaksi radiasi neutron dengan materi	10
Gambar 2.4	Momentum transfer Q dari berkas neutron dengan sudut hamburan $\theta/2$	13
Gambar 2.5	Pola hamburan neutron oleh partikel yang tertangkap pada detektor.....	15
Gambar 2.6	Skematik gambar untuk menjelaskan faktor kontras dengan kerapatan panjang hamburan yang bervariasi	18
Gambar 2.7	Macam-macam bentuk partikel magnetik dalam sistem hamburan	22
Gambar 2.8	Skematik kurva antara fungsi faktor bentuk $P(Q)$ dan fungsi faktor struktur $S(Q)$ terhadap pola tampang lintang hamburan $d\Sigma/d\Omega$	22
Gambar 2.9	Skematik alat spektrometer hamburan neutron sudut kecil	23
Gambar 2.10	Alat Spektrometer Hamburan Neutron Sudut Kecil dengan masing-masing Komponennya	24
Gambar 3.1	Diagram alir penyiapan sampel	31
Gambar 3.2	Diagram skematik alat Spektrometer Hamburan Neutron Sudut Kecil.....	33
Gambar 4.1	Pola hasil XRD pada serbuk Fe_3O_4	37
Gambar 4.2	Gambar mikrostruktur dari fluida magnetik + tetrametil amonium hidroksida menggunakan Magnetic Force Microscope	38
Gambar 4.3	Fluida magnetik Fe_3O_4 + tetrametil amonium hidroksida dalam pengaruh medan magnet	40
Gambar 4.4	Pola hamburan faktor transmisi dari masing-masing komponen dalam sistem hamburan	44

Gambar 4.5	Pola hamburan dari fluida magnetik dengan konsentrasi 0,5 M.....	45
Gambar 4.6	Hasil fitting dari fluida magnetik + larutan tetrametil amonium hidroksida pada konsentrasi 0,5 M untuk penentuan ukuran partikel.....	46
Gambar 4.7	Penentuan ukuran partikel dengan bantuan program Poly Core Shell Ratio Model	48
Gambar 4.8	Grafik hubungan antara intensitas (I) vs Q pada konsentrasi fluida magnetik yang bervariasi.....	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data panjang hamburan neutron untuk masing-masing atom	18
Tabel 2.2 Jenis kecepatan selektor dengan panjang gelombang.	27
Tabel 4.1 Komposisi dan prosen volume partikel Fe_3O_4	40
Tabel 4.2 Perhitungan kerapatan panjang hamburan masing-masing komponen dalam sistem hamburan	41
Tabel 4.3 Data pola hamburan dari fluida magnetik dengan konsentrasi 0,5 M (<i>lampiran</i>)	59
Tabel 4.4 Data pola hamburan dari fluida magnetik dengan konsentrasi 0,5 M; 1 M; 2 M dan 3 M (<i>lampiran</i>)	61
Tabel 4.5 Hasil analisis pola hamburan pada variasi konsentrasi cairan magnetik.....	51

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Fenomena pada bahan dengan struktur berukuran puluhan sampai ribuan angstrom dapat diamati dengan menggunakan teknik hamburan neutron sudut kecil (SANS) sebagai salah satu teknik alternatif. Kelebihan teknik ini terletak pada daya tembus neutron yang besar pada hampir semua bahan, sehingga penggunaan cuplikan dalam bentuk *bulk* maupun *fluida* dapat dilaksanakan tanpa membutuhkan keahlian tersendiri dalam penyiapan cuplikan (Kohlbrecher, 2004).

Metode hamburan neutron telah banyak digunakan sejak 20 tahun lalu untuk penentuan sifat dan struktur cairan magnetik dalam tingkat mikroskopik. Selain itu metode ini dapat dikembangkan untuk penentuan ukuran partikel, pengamatan fenomena gumpalan atau agregasi, dinamika cairan magnetik, interaksi partikel dengan surfaktan serta perilaku magnetik dari sampel. Hal ini disebabkan karena neutron memiliki spin magnetik sehingga selain dapat mengenal partikel penghambur, neutron juga dapat berinteraksi dengan momen magnetik dari sampel bahan magnet. Selain digunakan untuk menentukan struktur partikel magnetik, metode hamburan neutron khususnya teknik hamburan neutron sudut kecil juga banyak diaplikasikan untuk menentukan panjang rantai polimer (Balasoiu, 2004).

Teknik pengukuran hamburan neutron sudut kecil memanfaatkan jangkauan momentum transfer yang cukup besar dan jangkauan panjang gelombang dari 3 – 6 Å sehingga dapat digunakan untuk mengamati struktur partikel dalam sistem hamburan secara lebih dekat dengan jarak daerah yang diukur antara 20 – 1250 Å. Kelebihan ini banyak dimanfaatkan untuk menentukan ukuran partikel dalam sistem hamburan baik berupa padatan, cairan maupun gas. Penentuan ukuran partikel akan menjadi lebih mudah apabila keadaan sistem hamburan dapat

diketahui dengan jelas. Hal ini akan menjadi rumit ketika bentuk partikel dalam sistem tidak teratur (*irreguler*).

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis mengenai ukuran partikel dalam sistem hamburan berupa fluida magnetik menggunakan teknik hamburan neutron sudut kecil. Ukuran partikel dianalisis menggunakan pendekatan daerah Guinier. Selain hal tersebut, penelitian ini juga akan membahas mengenai pengaruh konsentrasi fluida magnetik terhadap ketebalan lapisan surfaktan dan ukuran partikel dalam fluida magnetik.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang dihadapi dalam penelitian ini yaitu bagaimana menganalisis ukuran nanopartikel magnetit Fe_3O_4 dari data pengukuran menggunakan teknik hamburan neutron sudut kecil dan mempelajari bagaimana pengaruh konsentrasi fluida magnetik terhadap ketebalan lapisan surfaktan dan ukuran partikel magnetit Fe_3O_4 .

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis ukuran nanopartikel dari magnetit Fe_3O_4 dan mengetahui pengaruh konsentrasi fluida magnetik terhadap ketebalan lapisan surfaktan dan ukuran partikel magnetit Fe_3O_4 .

1.4. Batasan Masalah

Pembahasan dalam penelitian ini meliputi analisis ukuran nanopartikel magnetit Fe_3O_4 dari pasir alam yang berasal dari daerah Madiun melalui sintesis dengan metode *co-precipitation*. Analisis ukuran nanopartikel dari magnetit Fe_3O_4 dilakukan menggunakan pendekatan daerah Guinier dan Model Poly Core Shell Ratio dari data pengukuran teknik hamburan neutron sudut kecil. Surfaktan yang digunakan untuk menstabilkan partikel magnetit berupa larutan tetrametil amonium hidroksida. Penentuan pengaruh konsentrasi fluida magnetik terhadap

ketebalan lapisan surfaktan dilakukan dengan memvariasi konsentrasi fluida magnetik melalui metode pengenceran.

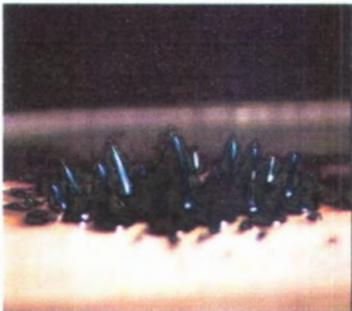
1.5. Sistematika Laporan

Penulisan laporan Tugas Akhir ini tersusun dalam lima bab yaitu Bab I merupakan pendahuluan yang berisi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika laporan. Bab II yaitu tinjauan pustaka yang berisi cakupan teori yang dapat digunakan sebagai acuan dalam melakukan penelitian. Bab III adalah metodologi berisi langkah kerja yang dilakukan dalam menyelesaikan Tugas Akhir. Pada Bab IV akan diberikan hasil dan analisis dari data yang telah diperoleh agar dapat memberikan informasi yang sesuai dengan tujuan awal. Bab V memberikan kesimpulan dan saran dari apa yang telah dikerjakan dalam Tugas Akhir ini. Pada bagian akhir disertakan daftar pustaka yang berisi referensi dari jurnal dan buku yang digunakan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Fluida Magnetik

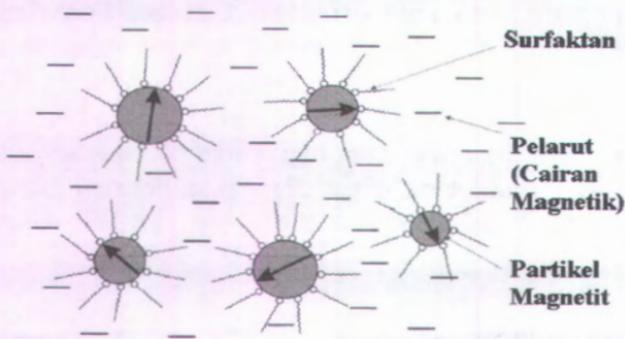
Fluida magnetik atau cairan magnetik merupakan dispersi stabil dari bahan magnetik dalam fase cair, yang dikenal sejak tahun 1960. Sifat yang spesifik dalam medan magnet dari fluida magnetik dapat digunakan dalam berbagai bidang industri maupun teknik misalnya dalam bidang biologi dan kesehatan. Gambar 2.1 menunjukkan jenis magnetik nanopartikel serbuk dan fluida dalam pengaruh medan magnet. Fluida magnetik terdiri dari nanopartikel magnetik dalam fluida suspensi (Avdeev, 2004). Suspensi koloid dari daerah tunggal partikel magnetik memiliki diameter sekitar 100 \AA . Nanopartikel magnetik monodispersif yang berukuran $< 100 \text{ \AA}$ menata diri dan membentuk struktur tertentu dapat menjadi teknologi yang penting sebagai media penyimpanan data serta dapat digunakan sebagai sistem model untuk mempelajari interaksi magnetik partikel dalam fluida magnetik (Aswal, 2005).



Gambar 2.1

Respon magnetik dari fluida magnetik dalam pengaruh medan magnet permanen (Chun, 2005)

Partikel magnetit dalam fluida mempunyai ukuran diameter yang sangat kecil yaitu sekitar 10 nm. Partikel magnetit ini dapat saling berinteraksi satu dengan yang lain karena adanya gaya Van der Waals. Interaksi antar partikel akan semakin kuat jika jarak antar partikelnya semakin dekat. Apabila jenis fluida merupakan fluida magnetik maka juga akan terdapat gaya magnetik yang menyebabkan partikel mengalami aglomerasi sehingga ukuran partikelnya menjadi lebih besar. Untuk menjaga agar partikel tetap kecil dan terpisah biasanya ditambahkan surfaktan ke dalam cairan. Interaksi dari komponen-komponen fluida magnetik diperlihatkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2

Koloid magnetik yang terdiri dari partikel magnetik, surfaktan dan air (Avdeev, 2004)

Penambahan surfaktan merupakan salah satu metode untuk mencegah adanya aglomerasi akibat gaya magnet dan gaya Van der Waals. Surfaktan dapat menjaga keseimbangan partikel secara individu sehingga tidak terjadi aglomerasi karena surfaktan dapat memberikan gaya tolak sterik maupun gaya tolak elektrostatis antar partikel magnet. Surfaktan merupakan jenis pelarut organik yang dapat mengandung gugus hidrofobik maupun gugus hidrofilik, air, kerosin maupun ester. Contoh surfaktan yang banyak digunakan dalam sintesis fluida magnetik berupa larutan

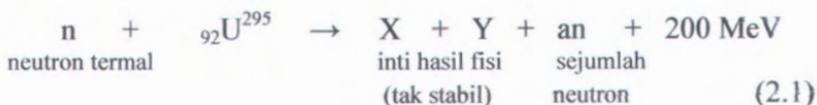
asam oleik-cis dan tetrametil-amonium-hidroksida. Larutan asam oleik mempunyai rantai hidrokarbon yang lebih panjang dibandingkan dengan tetrametil amonium hidroksida.

Larutan asam oleik-cis ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$) dapat membangkitkan gaya tolak sterik antar partikel magnetit karena mempunyai ujung polar yang dapat mengikat permukaan antar partikel. Rantai hidrokarbon yang panjang pada ekor surfaktan membuat lapisan tolakan dan mencegah partikel mendekat satu sama lain. Jenis surfaktan ionik seperti larutan tetrametil-amonium-hidroksida dengan rumus kimia $\text{N}(\text{CH}_3)_4\text{OH}$ memiliki rantai hidrokarbon lebih pendek dapat menghasilkan gaya tolak elektrostatik antar partikel magnetit. Ion hidroksida bergerak pada permukaan masing-masing partikel magnetit dan membentuk lapisan bermuatan negatif pada permukaan partikel. Kation dari tetrametil-amonium-hidroksida akan membentuk lapisan positif. Ketika partikel magnetit mulai mendekati satu dengan yang lain maka gaya tolak antar lapisan positif yang terbentuk pada masing-masing permukaan partikel magnetit menyebabkan partikel tetap saling terpisah (Kurniawan, 2006).

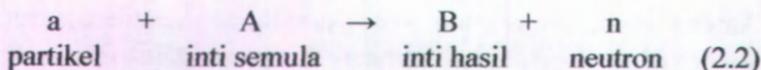
2.2. Teknik Hamburan Neutron Sudut Kecil

2.2.1. Karakteristik Neutron

Berkas neutron dihasilkan dari reaksi inti yang dapat berlangsung di dalam reaktor atom (melalui reaksi fisi) dan dalam generator neutron. Dalam reaktor atom, reaksi fisi diawali dengan penembakan neutron termal yang diarahkan pada inti berat, misalnya Uranium (${}_{92}\text{U}^{295}$), sehingga terjadi pembelahan inti (reaksi fisi) yang disertai dengan pemancaran neutron (dalam jumlah yang banyak) dan pembebasan energi sampai 200 MeV, menurut reaksi



Dalam generator neutron, berkas neutron dapat dihasilkan melalui penembakan partikel cepat ke arah inti atom dan memberikan hasil reaksi berupa neutron dan inti hasil reaksi seperti ditunjukkan dalam persamaan



atau dapat ditulis dengan notasi : $a (A,B) n$. Salah satu contoh reaksi tersebut misalnya : ${}_2\text{He}^4 ({}_4\text{Be}^9, {}_6\text{C}^{12}) {}_0\text{n}^1$.

Berkas neutron yang dihasilkan oleh reaksi inti umumnya memiliki energi yang tinggi (neutron cepat). Agar neutron tersebut memiliki panjang gelombang sekitar 1 \AA , maka energinya harus diturunkan menurut hubungan persamaan

$$\lambda = h/p = 0,28 / \{E(\text{eV})\}^{1/2} \text{ angstrom} \quad (2.3)$$

dengan λ adalah panjang gelombang neutron de Broglie, h adalah tetapan Plank dan p adalah momentum neutron serta E merupakan energi neutron dalam eV. Agar panjang gelombang neutron sekitar 1 \AA , maka menurut persamaan di atas energi neutron haruslah sekitar $0,025 \text{ eV}$ (termasuk neutron termal). Adapun klasifikasi neutron menurut besarnya energi adalah

- Neutron termal : berenergi $0,025 \text{ eV}$
- Neutron lambat : berenergi $0 - 1 \text{ keV}$
- Neutron menengah : berenergi $1 - 500 \text{ keV}$
- Neutron cepat : berenergi $0,5 - 10 \text{ MeV}$
- Neutron ultra cepat : berenergi $> 10 \text{ MeV}$

Untuk menurunkan energi neutron, perlu langkah termalisasi, dengan cara melewatkan berkas neutron pada moderator (air, grafit, air berat D_2O). Selanjutnya, neutron termal (λ sekitar 1 \AA) masih memerlukan upaya penyeleksian agar

berkas neutron bersifat monokromatis dan sebagai monokromator umumnya dipakai kristal grafit (Darminto, 2004).

Karena sifat-sifatnya yang unik, neutron termal dapat digunakan secara luas untuk meneliti bahan pada tingkat mikroskopik. Sifat-sifat neutron yang menguntungkan antara lain yaitu :

- a. Neutron tidak bermuatan dan mempunyai daya tembus yang besar. Hal ini sangat menguntungkan untuk eksperimen (*in situ*) di dalam tungku, kriostat atau sel tekanan, juga dapat digunakan cuplikan dengan ukuran besar (beberapa cm^3). Pengukuran di dalam cuplikan (misalnya tegangan sisa) dapat dilakukan tanpa memotong-motong cuplikan.
- b. Interaksi dengan zat tergolong lemah dan tidak mengganggu sistem. Karena interaksinya lemah, maka aproksimasi Born orde pertama dapat digunakan untuk menghitung penampang hamburan absolut. Hal ini berbeda dengan kesulitan menginterpretasikan informasi dari probe yang interaksinya kuat seperti foton dan elektron.
- c. Amplitudo hamburan bervariasi secara non-monoton dari unsur ke unsur. Untuk isotop yang berbeda dalam unsur yang sama amplitudo hamburannya juga berbeda. Berbeda dengan sinar-X, neutron dapat digunakan untuk meneliti atom ringan dengan kehadiran atom berat, misalnya dalam paduan logam yang mengandung atom ringan dan atom berat. Perbedaan amplitudo hamburan antar atom hidrogen dan deutron dimanfaatkan dalam penelitian struktur molekul kompleks, seperti dalam polimer atau bahan biologis, misalnya DNA (Copley, 2001).
- d. Panjang gelombang antara 1-10 Å, sangat ideal untuk penelitian korelasi interatomik, sedangkan energi neutron antara 1-100 MeV memungkinkan pengukuran eksitasi dari neV sampai eV.
- e. Neutron mempunyai spin $1/2$, karena neutron mempunyai spin maka hamburannya bergantung pada spin inti bahan. Kebolehjadian hamburan dengan spin paralel dan spin

antiparalel berbeda. Hal inilah yang menimbulkan hamburan koheren dan inkoheren (Bacon, 1969).

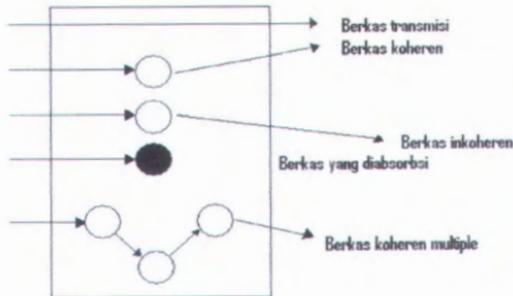
- f. Neutron mempunyai momen magnetik yang dapat bergandeng dengan variasi spasial magnetisasi bahan dalam skala atomik, sehingga neutron sangat ideal untuk penelitian struktur magnetik dan fluktuasi magnetik (Squires, 1978).

2.2.2. Hamburan Neutron

Hamburan neutron merupakan fenomena hamburan yang terjadi karena adanya berkas neutron yang ditembakkan pada materi. Materi disebut sebagai sistem hamburan yang dapat berupa kristal, padatan amorf, cairan maupun gas. Berkas neutron akan dihamburkan oleh inti atom materi atau elektron-elektron yang tidak berpasangan (khusus untuk bahan magnetik). Interaksi antara berkas neutron dengan inti materi dapat memberikan jenis pengukuran yang bervariasi. Hasil tiap pengukuran yang diekspresikan dalam bentuk jumlah atau kuantitas hamburan disebut sebagai tampang lintang hamburan. Tampang lintang hamburan merupakan kuantitas nyata yang diukur saat terjadi hamburan. Total tampang lintang hamburan merupakan jumlah total neutron yang dihamburkan oleh partikel tiap detik per satuan luas.

Untuk materi berupa padatan dengan struktur kristal yang teratur (keteraturan letak atom) akan menghasilkan pola hamburan yang dapat dianalisis dengan model yang sederhana yaitu kristal sempurna dengan model keteraturan. Sama halnya untuk materi berupa gas, pola hamburan dianalisis menggunakan model gas sempurna karena digunakan asumsi bahwa jarak antar partikel dalam fase gas cukup besar sehingga gaya antar partikel dapat diabaikan. Sedangkan untuk menganalisis pola hamburan dari materi yang berupa cairan membutuhkan metode analisis yang lebih rumit akibat struktur atomi atau partikel yang acak (*disorder*) dan masih terdapat kontribusi interaksi antar partikelnya (Squires, 1978). Apabila berkas neutron ditembakkan

pada materi maka akan terjadi beberapa peristiwa yang ditunjukkan dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3

Interaksi radasi neutron dengan materi



Hamburan koheren bergantung pada korelasi antara posisi dari inti yang sama pada waktu yang berbeda dan korelasi antara posisi dari inti yang berbeda pada waktu yang berbeda. Korelasi ini dapat memberikan efek interferensi. Sedangkan hamburan tak-koheren bergantung hanya pada korelasi antara posisi dari inti yang sama pada waktu yang berbeda dan tidak memberikan efek interferensi. Hamburan neutron yang koheren dapat memberikan informasi posisi relatif dan distribusi dari tiap partikel dalam cairan. Dari hamburan ini juga dapat ditentukan struktur dan fungsi korelasi antar partikel (Squires, 1978).

2.2.3. Hamburan Neutron Sudut Kecil

2.2.3.1 Teori Hamburan Neutron Sudut Kecil

Hamburan neutron sudut kecil adalah sebuah teknik untuk mempelajari kerapatan fluktuasi atau komposisi sebuah material dalam skala panjang dari 1-100 nm. Secara khusus, metode ini digunakan untuk mempelajari struktur partikel meliputi bentuk dan ukurannya dalam medium yang homogen (Goyal, 2000). Hamburan neutron sudut kecil terjadi karena adanya fluktuasi panjang hamburan pada bahan. Fluktuasi tersebut dapat ditimbulkan karena adanya fase kedua atau

presipitat pada bahan. Jika tidak terjadi fluktuasi maka intensitas hamburan neutron sudut kecilnya tidak bergantung pada sudut hamburan (*flat*). Hamburan neutron pada sudut kecil disebabkan adanya hamburan elastik dan koheren (Ikram, 2001).

Dalam pengukuran menggunakan teknik hamburan neutron, berkas neutron dilewatkan pada kolimator agar radiasi yang jatuh pada sampel mempunyai satu panjang gelombang neutron (monokromatik). Sebagian radiasi neutron akan ditransmisikan oleh sampel, sisanya akan diserap serta dihamburkan oleh sampel. Hamburan yang terjadi akan ditangkap oleh sebuah detektor. Sebuah elemen detektor dengan dimensi posisi $dx dy$ pada jarak L_{sd} (jarak sampel ke detektor) dan sudut hamburan sebesar θ akan menghasilkan fluks radiasi $I(\lambda, \theta)$ yang dapat ditulis dalam persamaan berikut

$$I(\lambda, \theta) = I_0(\lambda) \Delta\Omega \eta(\lambda) T V \frac{d\Sigma}{d\Omega} \quad (2.4)$$

dengan I_0 adalah fluks radiasi yang datang, η merupakan efisiensi detektor, T adalah jumlah radiasi yang ditransmisikan oleh sampel, V merupakan volume partikel dan $\frac{d\Sigma}{d\Omega}$ adalah tampang

lintang hamburan neutron. Tiga bentuk komponen yang pertama dari Persamaan (2.4) sebelah kanan merupakan karakteristik instrument, sedangkan tiga komponen persamaan yang terakhir bergantung pada sampel (King, 2003).

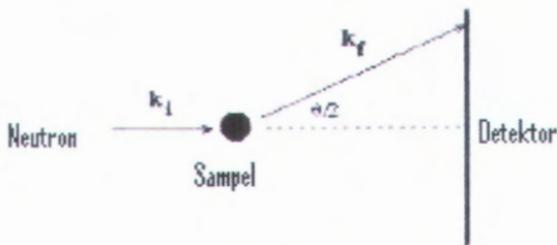
Peralatan hamburan neutron sudut kecil (*Small Angle Neutron Scattering* / SANS) merupakan spektrometer yang diharapkan dapat digunakan untuk mengamati fenomena hamburan neutron elastik pada rentang momentum transfer :

$$Q : 10^{-4} < Q < 0,1 \text{ \AA}^{-1}$$

dengan hubungan momentum transfer terhadap panjang gelombang neutron seperti pada persamaan berikut

$$Q = \frac{\left(4\pi \sin \frac{\theta}{2}\right)}{\lambda} \quad (2.5)$$

dalam hal ini θ dan λ masing-masing merupakan sudut hamburan dan panjang gelombang neutron. Agar diperoleh Q kecil, maka θ harus kecil atau λ harus besar. Untuk mendapatkan θ yang kecil maka diperlukan spektrometer yang panjang untuk mengakomodasi jarak detektor-cuplikan yang panjang. Harga Q juga dapat dibuat kecil dengan menggunakan λ yang besar yang dapat diperoleh dari neutron dingin, tetapi metode yang pertama lebih sering digunakan. Momentum transfer juga dikenal dengan sebutan vektor hamburan yaitu besarnya perubahan momentum dari hamburan neutron disajikan dalam Gambar 2.4. Momentum transfer Q merupakan selisih berkas yang datang dengan berkas yang dihamburkan.



Gambar 2.4
Momentum transfer Q dari berkas neutron dengan sudut hamburan $\theta/2$

Apabila Persamaan (2.5) disubstitusikan pada persamaan difraksi Bragg maka diperoleh

$$\lambda = 2 d \sin \left(\frac{\theta}{2} \right) \quad (2.6)$$

dan diperoleh hubungan antara Q dengan d dengan cara mensubstitusi λ pada Persamaan (2.6) menghasilkan

$$d = \frac{2\pi}{Q} \quad (2.7)$$

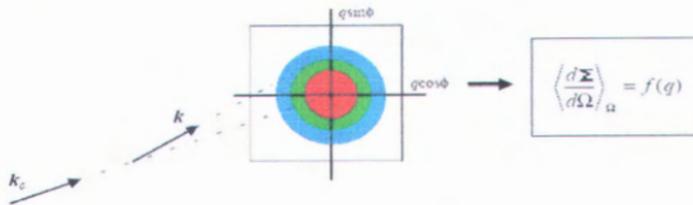
dengan d menggambarkan jarak antar partikel.

Tampang lintang SANS dari presipitat yang terdistribusi secara acak diberikan melalui ekspresi

$$\frac{d\Sigma}{d\Omega} = \left(\frac{n_p \langle V_p^2 \rangle}{N} \right) \langle \Delta\rho \rangle^2 \langle P^2(Q) \rangle S(Q) I(Q) \quad (2.8)$$

dengan n_p adalah jumlah presipitat atau partikel per satuan volume, $\langle V_p^2 \rangle$ adalah kuadrat dari volume rata-rata sebuah partikel, N adalah jumlah atom per satuan volume, $\langle \Delta\rho \rangle$ merupakan perbedaan rata-rata rapat panjang hamburan antara presipitat dan matriksnya, apabila fasenya cair maka $\langle \Delta\rho \rangle$ merupakan faktor kontras dari kerapatan panjang hamburan antara partikel dengan pelarutnya. $P(Q)$ adalah faktor bentuk yang menyatakan hamburan dari sebuah presipitat atau partikel. $S(Q)$ merupakan fungsi struktur dari partikel atau interaksi antar partikel dalam sistem hamburan dan tanda $\langle \rangle$ menyatakan harga rata-rata yang melingkupi berbagai ukuran dan orientasi dari

partikel. $I(Q)$ merupakan hamburan yang disebabkan oleh *interface effect* di antara partikel-partikel tersebut. Pola hamburan neutron oleh partikel yang tertangkap pada detektor mempunyai intensitas yang beragam bergantung pada jumlah partikel penghamburnya. Semakin banyak partikel penghambur maka intensitas yang diperoleh dalam detektor juga semakin tinggi. Skematik pola hamburan yang diamati ditunjukkan seperti dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5
Pola hamburan neutron oleh partikel yang tertangkap pada detektor

Pendekatan daerah Guinier dilakukan apabila bentuk partikel tidak beraturan atau bahkan belum diketahui secara pasti. Fungsi hamburan tetap dapat diturunkan secara umum dalam bentuk persamaan

$$I(Q) = \rho^2 V^2 \exp(-1/3 Q^2 R_g^2) \quad (2.9)$$

dengan $I(Q)$ merupakan intensitas hamburan oleh partikel, R_g adalah jari-jari girasi, ρ dan V masing-masing merupakan kerapatan panjang hamburan dan volume partikel. Persamaan (2.9) berlaku pada rentang momentum transfer Q yang kecil. Pendekatan ini dapat digunakan untuk menentukan jari-jari girasi partikel yang belum diketahui bentuk dan ukurannya dengan menganalisis data hasil pengukuran hamburan sudut kecil.

Pendekatan daerah Guinier akan lebih sesuai apabila memenuhi syarat berikut :

- harga Q lebih kecil dari $1/R_g$,
- sistem hamburan berupa *dilute system* sehingga interaksi antar partikel sangat kecil dan dapat diabaikan,
- sistem hamburan bersifat isotropik karena digunakan asumsi bahwa partikel mempunyai orientasi yang acak (Roe, 2000).

Aproksimasi ini berlaku secara umum untuk $QR_g < 1,0$ dengan R_g (jari-jari girasi atau jari-jari Guinier). Hubungan antara jari-jari girasi dengan jari-jari presipitat atau partikel dapat dinyatakan dalam persamaan berikut

$$\langle P^2(Q) \rangle = \exp \left(-\frac{1}{3} Q^2 R_g^2 \right) \quad (2.10)$$

untuk presipitat berbentuk bola dengan jari-jari R_s ditentukan dengan persamaan

$$R_g = \left(\frac{3}{5} \right)^{\frac{1}{2}} R_s \quad (2.11)$$

untuk presipitat berbentuk jarum (*needle*) dengan panjang L_s ditentukan dengan persamaan

$$R_g = \left(\frac{1}{12} \right)^{\frac{1}{2}} L_s \quad (2.12)$$

Untuk sistem dengan presipitat-presipitat yang terpisah cukup jauh, faktor $I(Q)$ pada Persamaan (2.8) dapat diabaikan, apabila sistem hamburan dalam keadaan encer maka harga faktor struktur $S(Q)$ bernilai 1. Substitusi Persamaan (2.10) pada Persamaan (2.8) dapat ditulis dalam hubungan berikut

$$\begin{aligned} \frac{d\Sigma}{d\Omega} &= \left(\frac{n_p \langle V_p^2 \rangle}{N} \right) \langle \Delta\rho \rangle^2 \exp \left(-\frac{1}{3} Q^2 R_g^2 \right) \\ &= G \exp \left(-\frac{1}{3} Q^2 R_g^2 \right) \end{aligned} \quad (2.13)$$

R_g dapat diperoleh melalui kurva logaritmik tampang lintang sebagai fungsi dari Q^2 . Menggunakan *least square fitting*, kemiringan kurva dan harga konstantanya (perpotongan kurva dengan absisnya) dapat diperoleh melalui bagian linier dari kurva tersebut untuk kemudian digunakan dalam mengevaluasi harga R_g dan G . Untuk presipitat dengan bentuk bola dan jarum, jari-jari dan panjang presipitat dapat diperoleh melalui Persamaan (2.11) dan (2.12). Densitas dari presipitat yang dinyatakan dalam fraksi volume diperoleh melalui konstanta G . Dari Persamaan (2.13) dengan diketahuinya harga-harga V_p , N dan $\langle \Delta\rho \rangle$ maka fraksi volume n_p dapat dihitung (Ikram, 2001).

Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam teknik pengukuran hamburan neutron sudut kecil antara lain :

a. Faktor kontras

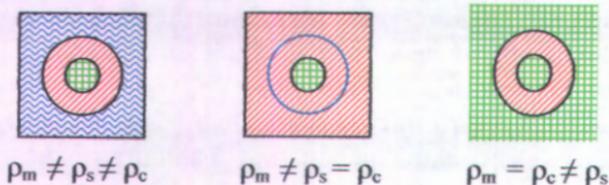
Faktor kontras merupakan salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam teknik pengukuran hamburan neutron sudut kecil terutama apabila sampel berupa cairan, sehingga perlu dibedakan harga kerapatan panjang hamburan antara partikel dengan pelarutnya. Faktor kontras menggambarkan selisih antara kerapatan panjang hamburan yang dimiliki oleh pelarut dengan kerapatan panjang hamburan oleh partikel. Pelarut berupa air (H_2O) memiliki kerapatan panjang hamburan yang negatif sehingga intensitas hampurannya kecil. Secara teknis, pelarut berupa air (H_2O) dapat diganti dengan *deuterated* (D_2O) yang mempunyai harga kerapatan panjang hamburan yang lebih positif sehingga dapat terbedakan dengan partikel dalam larutan. Semakin besar faktor kontras yang dihasilkan maka total tampang lintang hamburan juga semakin besar. Kerapatan panjang

hamburan untuk masing-masing sistem hamburan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$\begin{aligned} \rho_{SLD} &= \frac{\sum b_i}{V} \\ &= N_A (\rho / M_w) (\sum b_i)_{\text{molekul}} \end{aligned} \quad (2.14)$$

dengan N_A merupakan bilangan Avogadro ($6,02 \times 10^{23}$ atom/mol), ρ adalah rapat massa molekul, M_w adalah berat molekul dan b_i merupakan panjang hamburan tiap molekul.

Faktor kontras dapat digambarkan seperti Gambar 2.6, apabila sistem hamburan terdiri dari tiga komponen yaitu partikel, surfaktan dan pelarut dengan kerapatan panjang hamburan masing-masing, ρ_c , ρ_s dan ρ_m . Semakin besar perbedaan kerapatan panjang hamburannya maka intensitas hamburan yang diakibatkan oleh tiap-tiap komponen dalam sistem hamburan memiliki intensitas yang tinggi.



Gambar 2.6

Skematik gambar untuk menjelaskan faktor kontras dengan kerapatan panjang hamburan yang bervariasi

Data panjang hamburan neutron untuk masing-masing atom disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Data panjang hamburan neutron untuk masing masing atom

No.	Jenis Atom	Panjang hamburan neutron (fm)
1.	Hidrogen (H)	- 3,472 (12)
2.	Oksigen (O)	5,805 (5)
3.	Besi (Fe)	10,1 (2)
4.	Nitrogen (N)	9,37 (2)
5.	Karbon (C)	6,653 (14)

b. Faktor bentuk

Faktor bentuk berkaitan dengan ukuran partikel dan bentuknya. Faktor bentuk $P(Q)$ merupakan faktor yang menggambarkan pengaruh efek interferensi radiasi yang dihamburkan oleh partikel. Secara umum, faktor bentuk diberikan dalam persamaan yang dikenal sebagai Persamaan Van de Hulst's di bawah ini

$$P(Q) = \frac{1}{V_p^2} \left[\left| \int_0^V \exp (if(Q\alpha)) dV_p \right|^2 \right] \quad (2.15)$$

Ukuran partikel adalah penentuan dimensi dari sebuah partikel. Ukuran dari sebuah partikel bergantung pada teknik pengukuran, jenis parameter yang akan diukur dan bentuk partikel. Analisis ukuran partikel dalam berbagai teknik pengukuran dapat memberikan hasil yang berbeda apabila parameter yang diukur juga berbeda. Sebagian besar orang melakukan analisis ukuran partikel menggunakan satu bentuk parameter geometri dan membuat asumsi bahwa bentuk partikel

adalah bola. Untuk sebuah partikel yang berbentuk bola, mempunyai parameter ukuran tunggal yaitu diameter. Ukuran partikel merupakan karakteristik tingkat mikroskopik yang penting untuk dipelajari karena akan berpengaruh pada sifat makroskopiknya. Analisis ukuran partikel dapat memberikan informasi distribusi ukuran partikel, bentuk partikel serta karakteristik suatu bahan (King, 2003).

c. Faktor struktur

Faktor struktur $S(Q)$ menyatakan hubungan atau korelasi antar partikel dalam sistem hamburan. Faktor bentuk dan faktor struktur sama-sama mempengaruhi besarnya tampang lintang hamburan yang dihasilkan. Harga faktor struktur memiliki jangkauan harga 0 sampai 1. Faktor struktur akan berharga 1 apabila interaksi antar partikel dalam sistem hamburan diabaikan. Struktur dalam sistem hamburan terbagi dalam beberapa model. Ada empat model yang biasa digunakan untuk mempermudah analisis struktur dalam sistem hamburan yaitu :

a. Sistem partikel encer

Contoh dari sistem ini yaitu molekul polimer, partikel koloid dan sejenisnya. Model ini menggambarkan konsentrasi dari partikel dalam sistem hamburan cukup rendah maka posisi setiap partikel secara individu dapat terbedakan dengan asumsi bahwa dalam sistem tidak ada korelasi antar partikel. Pola hamburan yang dihasilkan merupakan jumlahan dari hamburan tiap partikel secara individu. Apabila bentuk partikel diketahui maka intensitas hamburan dari tiap partikel dapat dihitung dan dibandingkan dengan hasil pengukuran. Namun, apabila bentuk partikel tidak diketahui maka data yang dihasilkan dari pengukuran dapat dianalisis menggunakan pendekatan daerah Guinier untuk menentukan jari-jari girasi partikel yang menunjukkan karakteristik ukuran partikel. Dalam model ini harga faktor struktur $S(Q) = 1$, karena partikel dianggap terpisah satu sama lain sehingga interaksi antar partikel dapat diabaikan.

b. *Sistem dua-fasa non-particulate*

Sistem ini menggambarkan adanya dua fasa yaitu kristalin dan amorf dalam sampel misalnya campuran dua jenis polimer yang menghasilkan dua fasa yang berbeda dalam material tunggal. Analisis data hamburan dalam sistem ini dapat digunakan untuk menentukan parameter karakteristik keadaan dispersi dalam sampel termasuk ukuran panjang korelasi daerah tunggal, interfasa daerah batas serta ketebalan fasa pada daerah batas (Roe, 2000).

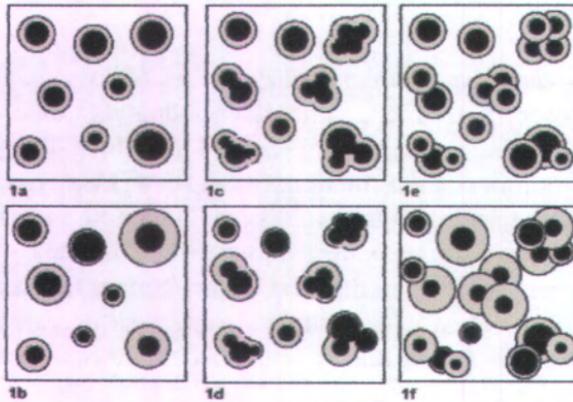
c. *Sistem larutan homogen*

Sistem ini digunakan jika terdapat material berfasa tunggal yang memiliki dua komponen (misalnya dua jenis polimer atau polimer dengan pelarutnya) membentuk larutan yang homogen.

d. *Sistem periodik*

Contoh dari *periodic system* misalnya polimer semikristalin yang terdiri dari susunan lamela kristal dengan susunan *block-copolymer* yang teratur, material biologi meliputi bahan organik dan anorganik yang memiliki keteraturan rantai penyusunnya. Analisis dari sistem ini dapat dikembangkan menggunakan metode difraksi sudut lebar yang dapat meng-cover sistem periodik dalam padatan kristal. Namun derajat keteraturan sistem periodik seringkali lebih kecil dibandingkan ukuran molekul kristal itu sendiri. Hal ini disebabkan oleh adanya distorsi kisi kristal dalam sampel.

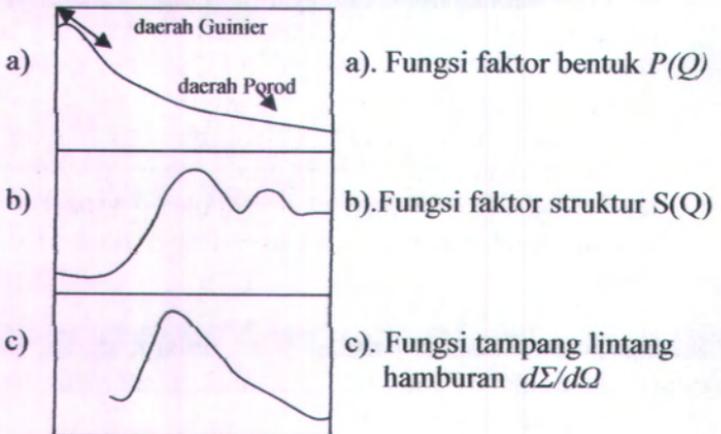
Macam-macam bentuk partikel yang terlarut dalam pelarutnya ditunjukkan dalam Gambar 2.7 sesuai dengan empat model yang telah dijelaskan sebelumnya.



Gambar 2.7

Macam-macam bentuk partikel magnetik dalam sistem hamburan

Keterkaitan antara fungsi faktor bentuk $P(Q)$ dan fungsi faktor struktur $S(Q)$ terhadap pola tampak lintang hamburan yang dihasilkan dapat digambarkan dalam bentuk Gambar 2.8.



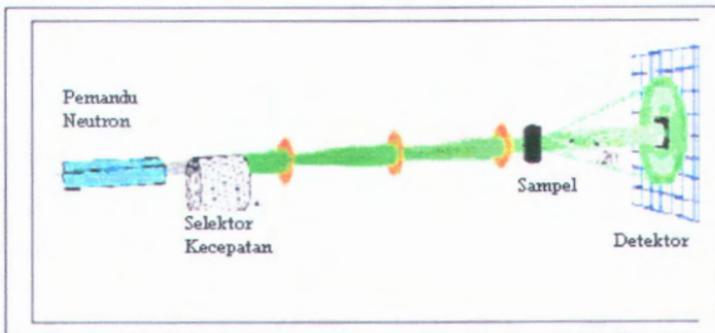
Gambar 2.8 Skematik kurva antara fungsi faktor bentuk $P(Q)$ dan fungsi faktor struktur $S(Q)$ terhadap pola tampak lintang hamburan $d\Sigma/d\Omega$ (Roe, 2000)

Teknik hamburan neutron sudut kecil ini berguna untuk mendeteksi cacat berukuran kecil yang tidak terdeteksi oleh mikroskop elektron. Penggunaannya antara lain untuk :

- menentukan ukuran dan distribusi presipitat, molekul makro bahkan polimer,
- menentukan ukuran dan distribusi porositas dalam batu bara, batuan yang mengandung minyak, semen dan lain-lain,
- menentukan endapan dan agregat dalam paduan logam misalnya pengelompokan Cu dalam baja (Ikram, 2001).

2.2.3.2 Komponen dan Cara Kerja Alat Spektrometer Hamburan Neutron Sudut Kecil (SANS)

Skematik alat spektrometer hamburan neutron sudut kecil memiliki beberapa komponen seperti disajikan pada Gambar 2.9 dan 2.10 (a) – (f) berikut :



Gambar 2.9

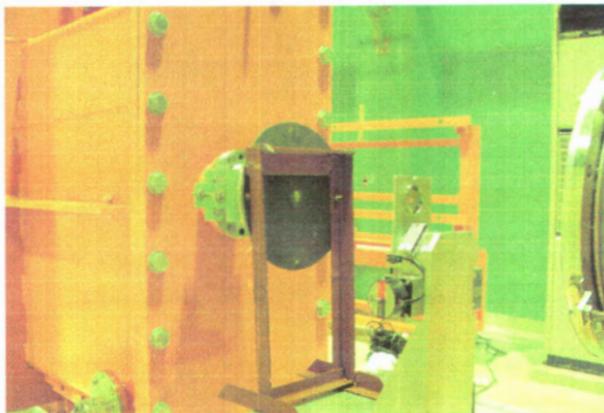
Skematik alat spektrometer hamburan neutron sudut kecil



Gambar 2.10 (a)
Alat Small Angle Neutron Scattering Spectrometer
Di Laboratorium Hamburan Neutron PTBIN-BATAN



Gambar 2.10 (b)
Velocity Selector



Gambar 2.10 (c)
Sample Holder



Gambar 2.10 (d)
Neutron Guide Tube tampak dari depan



Gambar 2.10 (e)
Detector tampak dari depan



Gambar 2.10 (f)
Sistem komputer sebagai kontrol mekanisme dalam alat SANS

Gambar 2.10
Alat Spektrometer Hamburan Neutron Sudut Kecil
dengan masing-masing Komponennya

Keterangan :

❖ *Neutron Source* (Sumber Neutron)

Spektrometer hamburan neutron sudut kecil dipasang pada Tabung Pemandu Neutron 1, yang terdiri dari tabung kolimator yang berisi tabung pemandu neutron sepanjang 18 m dan tabung detektor yang panjangnya juga 18 m dengan detektor yang dapat bergerak secara kontinu. Sumber neutron memiliki fluks maksimum neutron sebesar 4×10^6 neutron $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$.

❖ *Velocity Selector* (Selektor Kecepatan)

Velocity selector biasa dikenal sebagai selektor mekanik/selektor kecepatan yang digunakan sebagai monokromator untuk memilah-milah panjang gelombang neutron yang masuk dalam tabung pemandu neutron. Prinsip kerjanya sama dengan motor penggerak, apabila selektor kecepatan digerakkan dengan kecepatan tinggi maka panjang gelombang yang lolos semakin pendek begitu pula sebaliknya.

Tabel 2.2 Jenis kecepatan selektor dengan variasi panjang gelombang

Kecepatan selektor (rpm)	Panjang gelombang (Å)	Kecepatan selektor (rpm)	Panjang gelombang (Å)
3500	5,66	5500	3,52
4000	4,91	6000	3,22
4500	4,35	6500	3,02
5000	3,90	7000	2,74

❖ *Sample Holder*

Tempat sampel disebut juga dengan *quartz* terbuat dari SiO_2 , *quartz* memiliki 2 jenis ketebalan sebesar 1 mm dan 2 mm dengan panjang 5 cm. Bentuk dari *quartz* bermacam-macam misalnya balok pipih panjang dan berbentuk lingkaran dengan tebal 2 mm.

❖ *Detector*

Detektor dalam spektrometer hamburan neutron sudut kecil merupakan detektor dua dimensi (128 x 128 elemen) berisi gas ^3He . Detektor dapat bergerak secara kontinyu dan dapat diatur dengan menggunakan kontrol komputer, biasanya jarak detektor-sampel dipilih sebesar 1,5 m , 4 m , 8m dan 13 m.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Kualitas hasil penelitian tentunya sangat dipengaruhi oleh efektifitas proses yang dijalani selama penelitian berlangsung. Pada bab berikut akan dijelaskan mengenai proses penyiapan sampel yang digunakan, pengukuran sampel dengan alat *Small Angle Neutron Scattering* (SANS), pengumpulan data, pengolahan data menggunakan bantuan *software SANS Analysis* untuk menghasilkan informasi sesuai dengan tujuan yang telah dipaparkan pada bagian awal.

3.1. Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

Peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pemanas dan pengaduk magnetik
2. Magnet permanen
3. Timbangan digital
4. Gelas ukur
5. Pipet dan pengaduk
6. Kertas saring dan kertas pembersih
7. Alat *Small Angle Neutron Scattering Spectrometer* (SANS)

3.1.2 Bahan

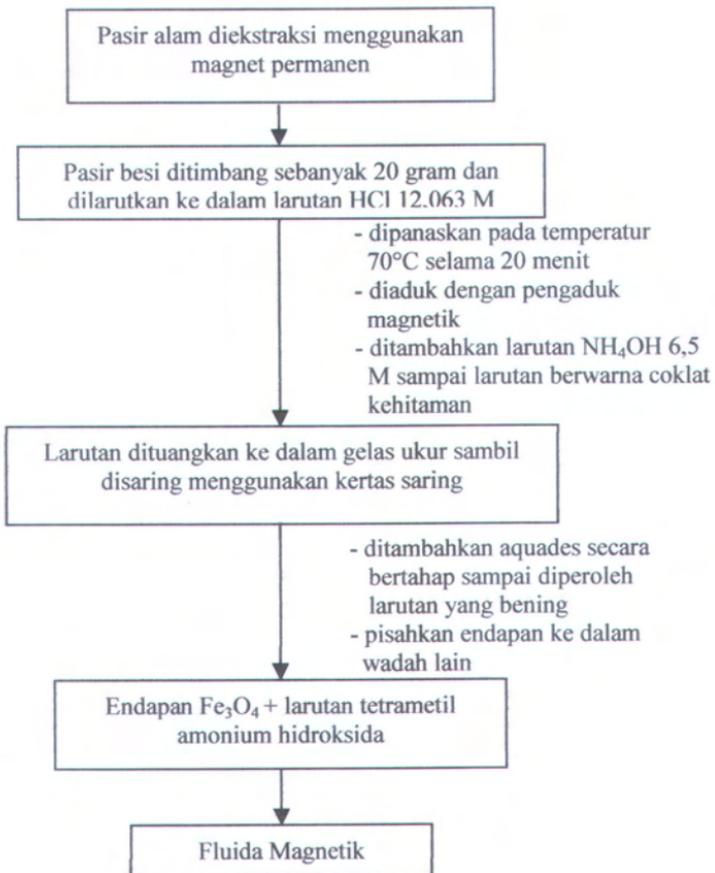
Bahan-bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini terdiri dari :

- a. Aquades
- b. Larutan asam klorida / HCl dengan molaritas 12,063 M
- c. Larutan amonium hidroksida / NH_4OH dengan molaritas 6,5 M
- d. Larutan tetrametil amonium hidroksida

3.2. Penyiapan Sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini berupa cairan magnetik (*ferrofluid*) atau biasa dikenal sebagai fluida magnetik.

Pembuatan fluida magnetik dijelaskan dalam diagram alir pada Gambar 3.1. Sampel yang digunakan merupakan pasir alam yang berasal dari daerah yaitu Madiun yang diambil dari aliran anak sungai Brantas. Pasir alam diekstraksi dengan menggunakan magnet permanen sehingga diperoleh pasir yang mengandung besi. Pasir besi ditimbang sebanyak 20 gram. Selanjutnya pasir besi dilarutkan dalam larutan HCl 12,063 M sambil dipanaskan pada temperatur 70°C selama 20 menit dan larutan diaduk menggunakan pengaduk magnetik. Kemudian dilakukan penambahan larutan NH₄OH 6,5 M ke dalam larutan sampai larutan yang terbentuk berwarna coklat kehitaman. Kemudian disiapkan kertas saring di atas gelas ukur. Larutan dituangkan ke dalam gelas ukur sambil disaring menggunakan aquades sampai diperoleh larutan yang bening. Endapan diambil dari kertas saring dan dibagi menjadi dua bagian. Endapan yang terbentuk merupakan partikel magnetit Fe₃O₄. Masing-masing ditimbang sebanyak 5 gram kemudian ditambahkan larutan tetrametil amonium hidroksida yang berfungsi sebagai surfaktan untuk menjaga agar partikel tetap terpisah dan tidak terjadi aglomerasi. Dari fluida magnetik yang telah dibuat, dilakukan pengenceran untuk memvariasi konsentrasi partikel magnetit dalam fluida magnetik yang terbentuk dengan menambahkan surfaktan. Konsentrasi cairan magnetik bervariasi sebesar 0,5 M; 1 M; 2 M; 3 M.



Gambar 3.1
Diagram alir penyiapan sampel

3.3. Pengukuran dengan alat *Small Angle Neutron Scattering Spectrometer (SANS)*

3.3.1 Teknik Pengukuran dengan Spektrometer Hamburan Neutron Sudut Kecil

Pengukuran SANS dilakukan di Laboratorium Hamburan Neutron Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir-Badan Tenaga Nuklir Nasional, Serpong-Tangerang yang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

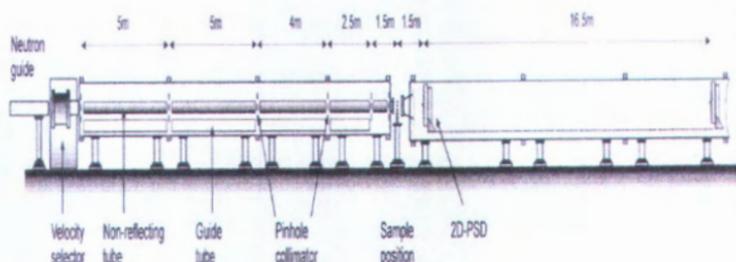
Sumber neutron	: pemandu neutron (NG1) – 33 x 90 mm ²
Daya reaktor	: 22 MW
Monokromator	: selektor kecepatan mekanik (tipe MDR-14-460-420)
Panjang gelombang	: 3 – 6 Å (3500 – 7000 rpm)
Resolusi panjang gelombang	: 15 – 25 %
Jarak sumber dengan sampel	: 1,5 – 18 m
Jarak detektor dengan sampel	: 1,5 – 18 m dengan step sebesar 0,5 m
Kolimator	: 6 buah pinhole (dengan diameter 30, 20, 14, 10, 7 dan 5 mm)
Tempat sampel	: quartz dengan tebal 1 mm dan 2 mm
Jangkauan Q	: $0,005 < Q < 0,3 \text{ \AA}^{-1}$
Fluks maksimum	: $4 \times 10^6 \text{ neutron cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($\lambda = 3,4 \text{ \AA}$, pinhole = 30 mm)
Daerah yang diukur	: 20 – 1250 Å
Detektor	: detektor dua dimensi berisi gas ³ He dengan daerah sensitif 128 x 128 cm ²

Langkah-langkah yang dilakukan selama proses pengukuran dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Pengukuran *center* menggunakan SDS
- Pengukuran *sensitivitas* atau *efisiensi detektor*
 - menggunakan sampel berupa air

- background berupa *quartz* (tempat sampel yang masih kosong)
 - *noise* yang digunakan adalah Cadmium
- c. Pengukuran intensitas transmisi
- d. Pengukuran sampel

Sampel berupa fluida magnetik dengan konsentrasi yang bervariasi masing-masing dimasukkan ke dalam quartz dengan tebal 1 mm. Selanjutnya quartz ditempatkan pada *sample holder*. Tiap-tiap pengukuran dilakukan pada jarak detektor dengan sampel sebesar 1,5 m; 4 m; dan 13 m. Pengambilan data untuk setiap jarak detektor dilakukan selama 2 jam. Panjang kolimator, letak pinhole dan jarak sampel - detektor dapat diubah-ubah dengan menggunakan kontrol mekanisme melalui komputer yang sudah dihubungkan dengan alat SANS. Panjang gelombang yang digunakan adalah 0,39 nm – 0,49 nm dengan selektor kecepatan 5000 rpm dan 4000 rpm.



Gambar 3.2
 Diagram skematik alat Spektrometer Hamburan Neutron Sudut
 Kecil (Putra, 2006)

3.3.2 Analisis Data Hamburan Neutron Sudut Kecil

Analisis hamburan neutron sudut kecil menghasilkan pola intensitas yang tergambar pada komputer yang telah dihubungkan dengan alat *SANS*. Langkah-langkah dalam menganalisis hasil pola hamburan dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Memindahkan data pola hamburan berupa kumpulan warna yang membentuk lingkaran 2 dimensi dari komputer yang dihubungkan dengan alat ke komputer untuk analisis.
2. Mengubah pola hamburan berupa data intensitas (I) dengan vektor hamburan (Q) menjadi bentuk data digital yang dapat dianalisis dengan bantuan program *SANS Analysis*.
3. Memasukkan parameter yang dibutuhkan yaitu data pengukuran *center*, efisiensi detektor, *calculation I-Q* dan *noise*.
4. Memasukkan parameter yang akan dihitung yaitu nama sampel, *background*, jarak detektor-sampel, panjang gelombang yang digunakan, harga faktor transmisi.

Setelah intensitas pola hamburan dianalisis dengan memperhitungkan parameter-parameter selama pengukuran, maka telah diperoleh intensitas (I) yang telah terkoreksi sehingga dapat digunakan untuk analisis berikutnya.

a. Penentuan Ukuran Partikel Magnetit Fe_3O_4

Analisis ukuran partikel dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu :

1. Menggunakan program *fitting* dengan pendekatan daerah Guinier pada jangkauan Q yang kecil.
Langkah awal yaitu membuat grafik hubungan antara intensitas pola hamburan (I) terhadap vektor hamburan (Q) dengan bantuan program *Igor-Pro*. Daerah Guinier berada pada daerah jangkauan Q sebesar $0,04 - 0,1 \text{ nm}^{-1}$. Penentuan ukuran partikel menggunakan pendekatan daerah Guinier sesuai dengan Persamaan (2.9), untuk mendapatkan jari-jari girasi partikel (R_g) maka harus dibuat grafik hubungan antara $\ln I$ terhadap Q^2 , kemudian

dibuat grafik hubungan antara $\ln I$ terhadap Q^2 , kemudian dipilih program *fitting* yang ada dalam program *Igor-Pro*. Gradien garis pada hasil *fitting* daerah Guinier dapat digunakan untuk penentuan jari-jari girasi partikel (R_g) yang selanjutnya digunakan dalam penentuan ukuran partikel dengan asumsi bentuk bola (*spherical*). Persamaan yang digunakan adalah :

$$\ln I = - \frac{1}{3} R_g^2 Q^2,$$

sehingga gradien garis merupakan $\frac{1}{3} R_g^2$. Untuk partikel dengan asumsi berbentuk bola, jari-jari partikel dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (2.11).

2. Menggunakan program analisis NIST yang dikembangkan oleh ANSTO

Penentuan ukuran partikel dengan bantuan program NIST diawali dengan memilih bentuk atau pola yang sesuai dengan hasil pengukuran dan memperhatikan sistem hamburan yang diukur. Analisis dengan program NIST menggunakan konsep *refinement* atau pencocokan pola/model dari *data base* dengan pola dari grafik intensitas (I) terhadap vektor hamburan (Q) dengan memasukkan parameter yang dapat diubah-ubah yaitu skala dari model, rata-rata jejari partikel, rata-rata ketebalan lapisan surfaktan dan *background*. Sedangkan parameter yang tetap yaitu kerapatan panjang hamburan masing-masing untuk partikel Fe_3O_4 , surfaktan (larutan tetrametil amonium hidroksida) dan pelarut (air).

b. Analisis Pengaruh Konsentrasi Fluida Magnetik terhadap Ketebalan Lapisan Surfaktan dan Ukuran Partikel Magnetit Fe_3O_4

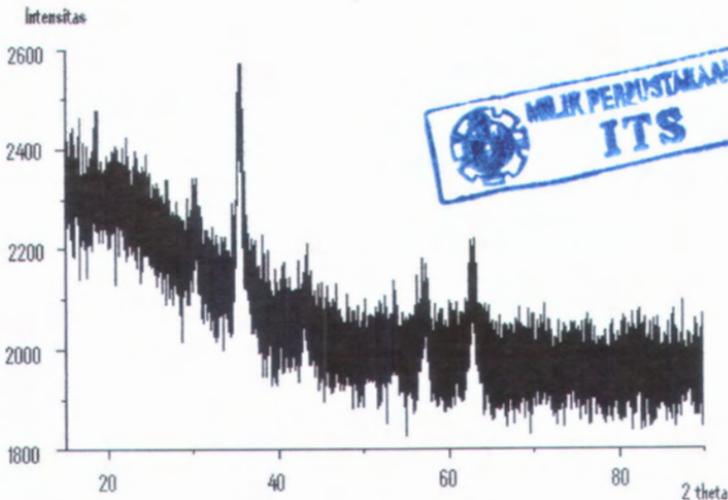
Pengaruh ketebalan lapisan surfaktan ditentukan dengan melakukan pengukuran terhadap fluida magnetik yang memiliki variasi konsentrasi 0,5 M, 1 M, 2 M dan 3 M. Masing-masing sampel dimasukkan ke dalam quartz setebal 1 mm yang telah tersedia. Pengukuran dilakukan dengan jarak

detektor-sampel 1,5 m, 4 m dan 13 m dalam waktu masing-masing 2 jam. Langkah yang sama dilakukan seperti pada bagian 3.3.2 untuk memperoleh intensitas (I) yang telah terkoreksi. Selanjutnya dibuat grafik hubungan antara intensitas (I) terhadap vektor hamburan (Q) dengan bantuan program *Igor-Pro* untuk masing-masing konsentrasi fluida magnetik dalam satu grafik agar dapat dibandingkan, sehingga dapat diperoleh informasi tentang pengaruh ketebalan lapisan surfaktan terhadap kestabilan partikel.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

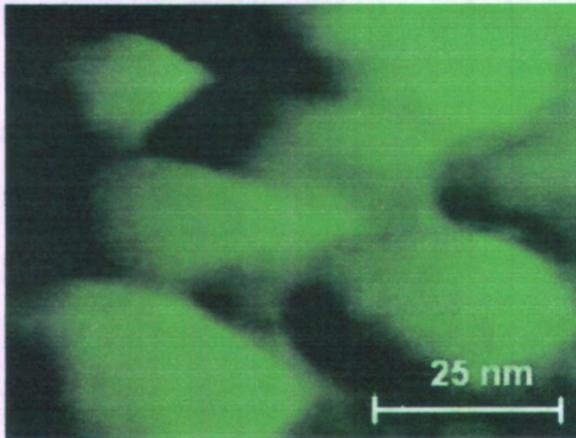
4.1. Sekilas Mengenai Penelitian Sebelumnya

Analisis mengenai ukuran partikel telah dilakukan pada penelitian sebelumnya (Kurniawan, 2006) dengan menggunakan sampel yang sama yaitu endapan magnetik Fe_3O_4 yang telah dibuat menjadi serbuk melalui pemanasan. Pengukuran dengan alat difraktometer sinar-x JEOL JDX 3530 dilakukan di Laboratorium Dasar Bersama Universitas Airlangga. Hasil penelitian menggunakan metode difraksi sinar-x menghasilkan pola seperti pada Gambar 4.1 dan memperoleh hasil ukuran kristal sebesar 7,06 nm. Ukuran ini berlaku jika partikel merupakan partikel primer yang terdiri dari kristal tunggal.



Gambar 4.1 Pola hasil XRD pada serbuk Fe_3O_4

Penentuan ukuran partikel dilakukan menggunakan *Magnetic Force Microscope* (Darminto, 2006) di Malaysia. Hasil pengujian dengan MFM menunjukkan adanya ukuran partikel sebesar 25 nm seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2

Gambar mikrostruktur dari fluida magnetik + tetrametil amonium hidroksida menggunakan *Magnetic Force Microscope*

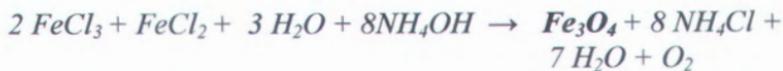
4.2. Hasil Pembuatan Sampel

Sampel yang akan diuji berupa fluida magnetik yang mengandung Fe_3O_4 yang terlarut dalam dua jenis surfaktan yaitu larutan tetrametil amonium hidroksida. Preparasi sampel dilakukan dalam beberapa tahap yaitu pasir alam diekstraksi menggunakan magnet permanen agar diperoleh pasir yang memiliki kandungan besi cukup banyak kemudian ditimbang menggunakan timbangan digital. Berat pasir besi yang digunakan sebesar 20 gram. Dalam proses penyiapan sampel terdapat 2 macam reaksi, pada reaksi pertama pasir besi ditambah dengan HCl 12,063 M sebanyak 38 ml sambil dipanaskan pada suhu

70°C dan diaduk dengan pengaduk magnetik agar larutan tercampur sempurna. Larutan yang dihasilkan berwarna coklat kehitaman yang menunjukkan adanya fase Fe_3O_4 dalam larutan. Selanjutnya larutan tersebut disaring untuk memisahkan fase Fe_2O_3 dari larutan dengan menggunakan kertas saring. Reaksi pertama dapat dijelaskan dalam persamaan reaksi berikut



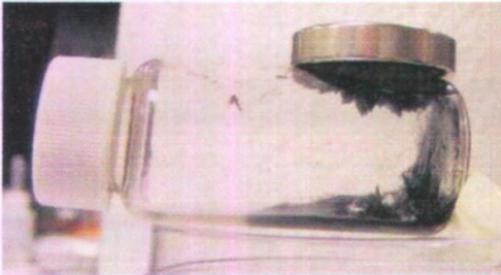
Pada reaksi kedua, larutan yang telah dihasilkan dalam reaksi yang pertama ditambah dengan larutan NH_4OH 6,5 M sebanyak 24 ml. Pada saat dilakukan penambahan larutan NH_4OH terjadi letupan kecil pada larutan namun tidak disertai adanya perubahan warna yang signifikan pada larutan. Reaksi yang terjadi yaitu



Reaksi ini menghasilkan endapan Fe_3O_4 dan masih mengandung partikel Fe_2O_3 , oleh karena itu dilakukan penyaringan kembali menggunakan aquades secara bertahap agar dihasilkan endapan Fe_3O_4 murni. Partikel Fe_2O_3 akan ikut tersaring karena memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dibandingkan dengan partikel Fe_3O_4 sehingga endapan Fe_3O_4 tetap berada pada kertas saring.

Karena partikel Fe_3O_4 merupakan partikel feromagnetik yang memiliki sifat magnet yang kuat maka tiap-tiap partikel Fe_3O_4 akan cenderung mendekat dan beraglomerasi satu dengan yang lain sehingga membentuk sekumpulan partikel Fe_3O_4 . Untuk mencegah terjadinya aglomerasi, biasanya ditambahkan surfaktan ke dalam endapan Fe_3O_4 dengan dosis tertentu agar partikel tetap terpisah. Surfaktan yang digunakan dalam penelitian ini adalah larutan tetrametil amonium hidroksida.

Endapan Fe_3O_4 ditimbang sebanyak 5 gram. Penambahan surfaktan dilakukan pada saat kondisi endapan Fe_3O_4 masih basah atau masih mengandung air karena pada kondisi ini partikel Fe_3O_4 masih terpisah satu sama lain dan ukuran partikelnya relatif kecil karena belum terjadi aglomerasi. Surfaktan ditambahkan menggunakan pipet sambil diaduk dengan cepat untuk mengurangi adanya aglomerasi partikel Fe_3O_4 . Pada endapan Fe_3O_4 sebanyak 5 gram dibutuhkan larutan tetrametil amonium hidroksida sebanyak 1,2 ml agar cairan magnetik menjadi jenuh dan tercampur sempurna (*dilute*) sehingga volume total cairan magnetik sebanyak 6 ml. Bentuk fluida magnetik ditunjukkan dalam Gambar 4.3. Pada saat didekatkan dengan magnet permanen maka fluida magnetik akan menunjukkan perilaku yang sama dengan bahan magnet padat yaitu cenderung mendekatkan diri ke arah pemberian magnet permanen.



Gambar 4.3

Fluida magnetik Fe_3O_4 + tetrametil amonium hidroksida dalam pengaruh magnet permanen

Untuk mengetahui pengaruh ketebalan lapisan surfaktan terhadap korelasi antar partikel, maka disiapkan 4 variasi konsentrasi cairan magnetik yaitu 0,5 M, 1 M, 2 M dan 3 M melalui metode pengenceran dengan menambahkan surfaktan, masing-masing dengan komposisi seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Komposisi dan prosen volume partikel Fe_3O_4

No.	Volume fluida magnetik (ml)	Volume surfaktan yang ditambahkan (ml)	Konsentrasi fluida magnetik (Molar)	Prosen volume partikel Fe_3O_4 (%)
1.	0,1	0,63	0,5	0,28
2.	0,2	0,53	1	0,55
3.	0,4	0,33	2	1,11
4.	0,6	0,13	3	1,67

4.3. Analisis Data Hamburan

4.3.1. Prosedur Pengukuran dengan Teknik Hamburan Neutron Sudut Kecil

Data hamburan yang diperoleh berupa besarnya intensitas hamburan (I) dan vektor hamburan (Q). Data intensitas yang diperoleh merupakan data intensitas yang belum terkoreksi sehingga ada beberapa langkah yang perlu diperhatikan sebelum menganalisis data lebih lanjut. Intensitas terkoreksi diperoleh setelah memperhitungkan faktor sampel dalam *quartz*, parameter latar belakang (*background*) berupa *empty beam*, *noise* dan efisiensi detektor.

Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan sebelum dan selama pengukuran dilakukan diantaranya sebagai berikut :

a. Faktor kontras

Faktor kontras masing-masing komponen sistem hamburan yang terdiri dari partikel magnetit Fe_3O_4 , air sebagai pelarut dan larutan tetrametil amonium hidroksida sebagai surfaktan yang melapisi permukaan partikel. Kerapatan panjang hamburan untuk masing-masing komponen ditentukan menggunakan Persamaan (2.14) dan diperoleh hasil seperti disajikan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perhitungan kerapatan panjang hamburan masing-masing komponen dalam sistem hamburan

Variabel	Komponen dalam sistem hamburan		
	H ₂ O	Fe ₃ O ₄	N (CH ₃) ₄ OH
Rapat massa ($\frac{\text{gram}}{\text{cm}^3}$)	1	5	0,866
Berat molekul (M_w)	18	232	91
Σb_i (fm)	-1,68	53,52	-6,86
ρ_{SLD} (cm ⁻²)	$-0,56 \times 10^{10}$	$6,92 \times 10^{11}$	$-0,39 \times 10^{11}$

b. Faktor Transmisi

Faktor transmisi dipengaruhi oleh besarnya transmisi oleh air, *quartz* (tempat sampel), *empty beam* (udara) serta partikel magnetit itu sendiri. Harga faktor transmisi untuk masing-masing untuk masing-masing partikel magnetit dalam berbagai konsentrasi tidak menunjukkan perubahan harga yang signifikan yaitu sebesar 1,8. Faktor transmisi untuk air memiliki harga yang sama besar dengan faktor transmisi dari partikel yaitu sebesar 1,8 dan faktor transmisi untuk *quartz* sebesar 1,1. Harga faktor transmisi akan digunakan dalam proses analisis dengan bantuan program *SANS Analysis* yang akan menentukan besarnya harga intensitas hamburan yang telah terkoreksi.

c. Pengukuran *Background*

Pengukuran *background* dilakukan sebanyak dua kali yaitu untuk pengukuran efisiensi detektor dengan menggunakan sampel berupa *quartz* dan pengukuran intensitas hamburan terkoreksi dengan sampel pengukuran berupa air. Pengukuran dilakukan pada jarak

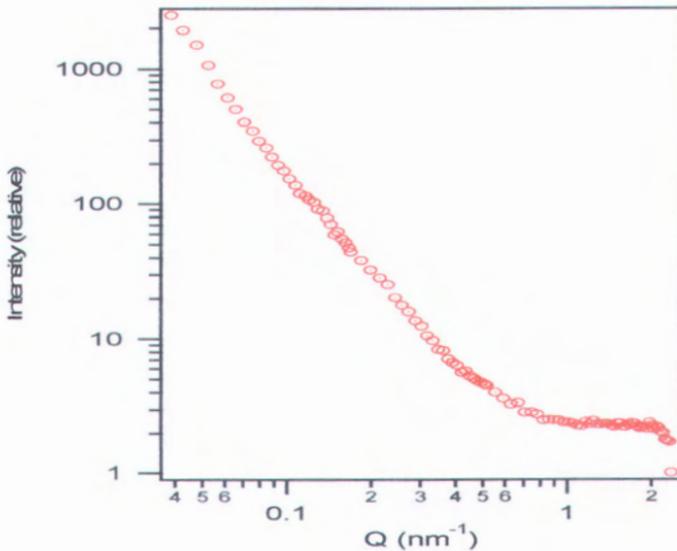
4.3.2. Penentuan ukuran partikel Fe_3O_4 dari data Hamburan Neutron Sudut Kecil

Analisis data hamburan untuk penentuan ukuran partikel magnetit Fe_3O_4 dilakukan dalam 2 cara yaitu :

- menggunakan program *fitting* dengan pendekatan daerah Guinier
- menggunakan program analisis NIST yang dikembangkan oleh ANSTO

Penentuan ukuran partikel dilakukan menggunakan cairan magnetik dengan konsentrasi 0,5 M yang memiliki konsentrasi partikel magnetit Fe_3O_4 sebesar 0,28 % dengan menggunakan surfaktan berupa larutan tetrametil amonium hidroksida.

Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan diperoleh data seperti dalam Tabel 4.3 (lampiran) dan diperoleh pola hamburan seperti pada Gambar 4.5.

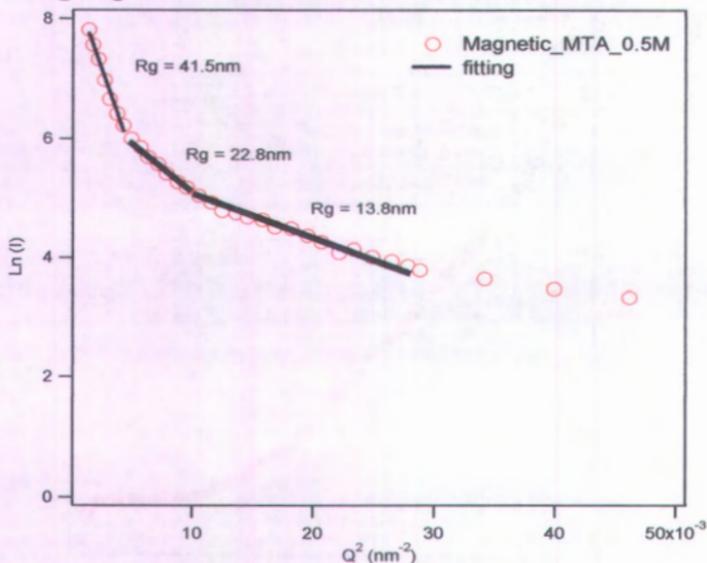


Gambar 4.5

Pola hamburan dari fluida magnetik dengan konsentrasi 0,5 M

Gambar 4.5 menunjukkan adanya pola hamburan yang *tercover* selama pengukuran dalam jarak detektor-sampel sebesar 1,5 m, 4 m dan 13 m. Vektor hamburan (Q) yang berkisar dalam harga $0,8 \text{ nm}^{-1}$ hingga $1,2 \text{ nm}^{-1}$ menunjukkan adanya pola yang datar atau *flat* berasal dari air yang berperanan sebagai *background*. Semakin besar konsentrasi fluida magnetik maka *background* akan semakin turun. Pada jarak detektor-sampel sebesar 4 m mulai menunjukkan adanya pola hamburan yang diakibatkan oleh partikel magnetit Fe_3O_4 . Intensitas pola hamburan semakin meningkat seiring dengan harga jangkauan Q yang semakin kecil yang menunjukkan kemiringan garis linier.

a. Penentuan ukuran partikel menggunakan program *fitting* dengan pendekatan daerah Guinier



Gambar 4.6

Hasil fitting dari fluida magnetik + larutan tetrametil amonium hidroksida pada konsentrasi 0,5 M untuk penentuan ukuran partikel

detektor-sampel sebesar 1,5 m, 4 m dan 13 m masing-masing selama 10 jam. Hal ini dilakukan agar dapat diperoleh pola hamburan dari air sebagai *background*. Air memiliki pola hamburan yang datar (*flat*) dengan intensitas hamburan yang tidak terlalu tinggi.

d. Pengukuran Noise

Sampel yang digunakan untuk pengukuran *noise* berupa Cadmium, pengukuran dilakukan sebanyak satu kali pada jarak detektor-sampel sebesar 2 m selama 12 jam. Pengukuran untuk *noise* hanya dilakukan satu kali karena memiliki harga yang sama pada semua jarak detektor-sampel.

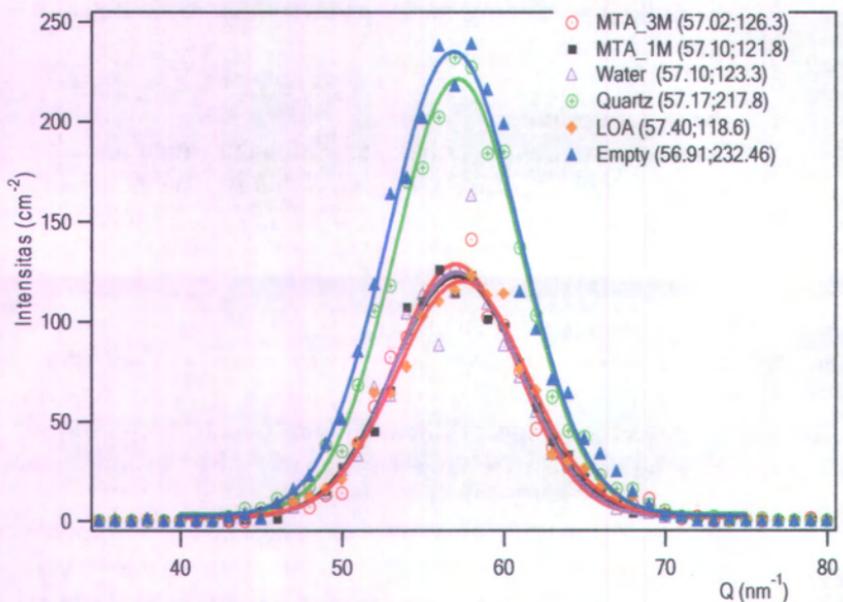
e. Pengukuran Center

Pengukuran *center* dilakukan dengan menggunakan sampel SDS (*Sodium Dodecyl Sulphate*) pada masing-masing jarak detektor 1,5 m, 4 m dan 13 m selama 10 jam.

Masing-masing pengukuran dilakukan dengan menggunakan *pinhole* 065543 dan *velocity selector* 4000 rpm – 5000 rpm. Semua pengaturan kondisi *pinhole*, *velocity selector* dan jarak detektor-sampel dikendalikan penuh oleh kontrol komputer yang telah dihubungkan dengan alat spektrometer hamburan neutron sudut kecil.

Pola hamburan transmisi oleh masing-masing komponen yaitu berkas kosong (*empty beam*), tempat sampel (*quartz*), air dan fluida magnetik dengan konsentrasi 1 M dan 3 M. Data ini akan digunakan dalam program untuk menganalisis ukuran partikel dan pengaruh konsentrasi terhadap ketebalan lapisan surfaktan dan ukuran partikel magnetit Fe_3O_4 . Berdasarkan pola hamburan transmisi yang disajikan pada Gambar 4.4 untuk masing-masing komponen dalam sistem hamburan menunjukkan besarnya intensitas transmisi yang sama untuk fluida magnetik

dengan konsentrasi yang berbeda. Hal ini berarti partikel penghambur untuk masing-masing konsentrasi fluida magnetik memiliki jumlah yang tidak jauh berbeda. Faktor transmisi ini bergantung pada jumlah larutan atau pelarut dalam sistem hamburan yang dalam hal ini adalah surfaktan dan air. Sedangkan untuk *empty beam* dan tempat sampel (*quartz*) memiliki harga intensitas transmisi yang paling tinggi karena semua berkas neutron yang masuk akan ditransmisikan jika tidak ada partikel penghamburnya.



Gambar 4.4
Pola hamburan faktor transmisi
dari masing-masing komponen dalam sistem hamburan

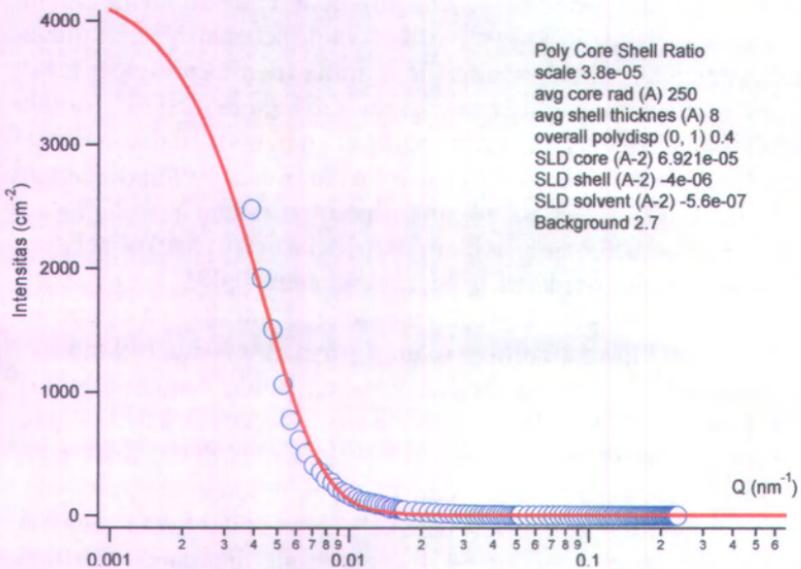
Ukuran partikel dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (2.9). Gradien grafik pada hubungan $\ln I$ terhadap Q^2 dapat digunakan untuk menentukan jari-jari girasi (R_g) yang selanjutnya dapat digunakan untuk penentuan jari-jari sebuah partikel. Gradien pada daerah Guinier sebanding dengan $^{-1/3} R_g^2$. Proses *fitting* yang dilakukan pada daerah Guinier menghasilkan tiga jenis ukuran partikel yang berbeda. Hal ini menunjukkan adanya sekumpulan partikel yang *polidispersif* atau memiliki ukuran jari-jari Girasi yang beragam dalam kisaran 13,8 nm – 41,5 nm. Namun program *fitting* ini belum dapat menjelaskan bagaimana distribusi ukuran partikel yang sebenarnya, sehingga dapat digunakan sebuah analisis lain untuk membandingkan hasil tersebut dengan bantuan program misalnya NIST untuk mengetahui distribusi ukuran partikel magnetit dalam fluida magnetik. Salah satu contohnya yaitu pada proses *fitting* di daerah jangkauan $0,001 < Q < 0,004 \text{ nm}^{-2}$ diperoleh fungsi $Y = -574,48 \pm 29 X + 8,63 \pm 0,08$ menghasilkan ukuran jari-jari partikel sebesar 53,6 nm, analisis berikutnya pada jangkauan $0,005 < Q < 0,01 \text{ nm}^{-2}$ diperoleh ukuran partikel sebesar 29,4 nm dan pada daerah $0,01 < Q < 0,02 \text{ nm}^{-2}$ diperoleh ukuran partikel sebesar 17,8 nm.

Konsentrasi partikel magnetit dalam fluida magnetik relatif kecil yaitu sebesar 0,28 % dan sisanya berupa surfaktan dan pelarut (air). Perhitungan ukuran partikel partikel diatas dilakukan dengan menggunakan asumsi bahwa partikel berbentuk *spherical* atau bola sehingga ukuran partikel dapat ditentukan dengan mudah dari jari-jari girasi (R_g) yang telah diketahui. Partikel diasumsikan terpisah satu sama lain karena partikel sudah berada pada *dilute system* sehingga interaksi antar partikel dapat diabaikan atau $S(Q) = 1$.

b. Penentuan ukuran partikel menggunakan program analisis NIST

Program ini dikembangkan oleh ANSTO di Australia. Pertama kali yang dilakukan dalam menganalisis pola hamburan dengan bantuan program NIST adalah memilih model yang sesuai

dengan pola hamburan hasil pengukuran dan memperhatikan sistem hamburan yang diukur. Pada penelitian ini digunakan model hamburan *Poly Core Shell Ratio*, model ini dipilih karena lebih sesuai dengan sistem hamburan yang diukur yaitu terdiri dari partikel magnetit sebagai *core* dan surfaktan sebagai *shell*. Selain itu model ini diharapkan dapat menjawab pertanyaan yang timbul dari analisis pendekatan daerah Guinier yang berhubungan dengan *polidispersitas* dari ukuran partikel dalam fluida magnetik.



Gambar 4.7

Penentuan ukuran partikel dengan bantuan Poly Core Shell Ratio Model

Hasil pencocokan pada Gambar 4.7 di atas diperoleh setelah melalui proses iterasi sebanyak 5 kali. Berdasarkan hasil pencocokan dengan model *poly core shell ratio* dapat diperoleh beberapa informasi tentang ukuran rata-rata jejari partikel magnetit yaitu sebesar 25 nm dengan harga kepolidispersifan

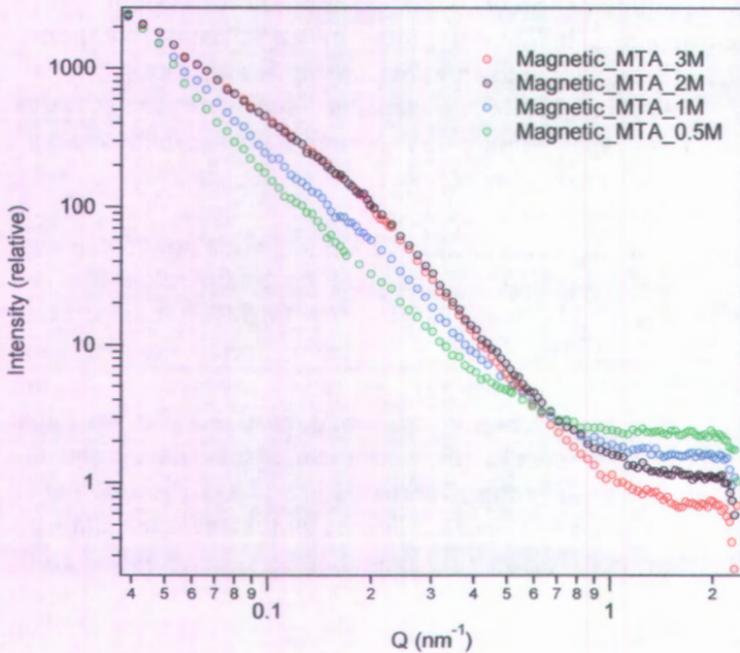
sebesar 0,4 yang berarti hampir sebagian partikel magnetit berukuran rata-rata 50 nm. Ketebalan lapisan surfaktan juga dapat ditentukan dari model ini yaitu rata-rata tebal lapisan sebesar 8 Å. Parameter-parameter yang tidak boleh diubah yaitu harga kerapatan panjang hamburan untuk masing-masing komponen sistem hamburan. Sedangkan skala, *background*, rata-rata jejari partikel, rata-rata ketebalan lapisan surfaktan dan harga polidispersitas dapat diubah-ubah selama proses pencocokkan sampai diperoleh hasil yang sesuai.

Berdasarkan dua cara analisis berbeda yang telah dilakukan, keduanya memiliki keunggulan dalam penentuan ukuran partikel. Hasil ukuran partikel yang diperoleh berkisar antar 17,8 nm – 53,6 nm dengan distribusi kepolidisperditan sebesar 0,4. Hasil *fitting* pada pendekatan daerah Guinier yang menunjukkan ukuran jari-jari partikel sebesar 53,6 nm memungkinkan adanya aglomerasi antar partikel. Hal ini dapat terjadi karena kurangnya kontrol mekanisme pada saat pembuatan sampel sehingga di antara partikel telah terjadi aglomerasi sebelum surfaktan tercampur sempurna untuk melapisi tiap-tiap partikel. Partikel magnetit mudah beraglomerasi karena mempunyai sifat magnet yang kuat dan didukung oleh sifat ingin menstabilkan diri dengan cara bergabung dengan partikel lain karena ukuran partikel yang sangat kecil.

4.3.3. Pengaruh konsentrasi fluida magnetik terhadap ketebalan lapisan surfaktan dan ukuran partikel magnetit dalam fluida magnetik

Untuk mengetahui pengaruh ketebalan lapisan surfaktan terhadap korelasi antar partikel, pada penelitian ini digunakan cairan magnetik Fe_3O_4 dengan konsentrasi masing-masing 0,5 M, 1 M, 2 M dan 3 M. Masing-masing sampel diukur dalam waktu 2 jam pada jarak detektor-sampel sebesar 1,5 m, 4 m dan 13 m. Data yang dihasilkan disajikan dalam Tabel 4.4 pada lampiran. Dari hasil analisis data seperti yang telah dilakukan pada percobaan sebelumnya, maka dapat diperoleh hubungan antar

intensitas hamburan (I) terhadap vektor hamburan (Q) untuk masing-masing konsentrasi cairan magnetik seperti terlihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8

Grafik hubungan antara intensitas (I) vs Q pada konsentrasi fluida magnetik yang bervariasi

Berdasarkan Gambar 4.8 dapat dijelaskan bahwa semakin tinggi konsentrasi cairan magnetik maka intensitas hamburan yang dihasilkan juga semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi cairan magnetik berarti kandungan partikel magnetit sebagai partikel penghambur semakin besar, sedangkan jumlah surfaktannya lebih sedikit. Hal inilah yang menyebabkan intensitas *background* semakin turun

dengan bertambahnya kandungan partikel magnetit Fe_3O_4 . Pada saat konsentrasi partikel magnetit sebesar 2 M dan 3 M menunjukkan pola hamburan yang hampir berhimpit meskipun intensitas *background* pada konsentrasi 3 M lebih kecil dibandingkan dengan intensitas *background* pada konsentrasi cairan magnetik sebesar 2 M. Hasil analisis pola hamburan pada variasi konsentrasi cairan magnetik disajikan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil analisis pola hamburan pada variasi konsentrasi cairan magnetik

Konsentrasi fluida magnetik (M)	Prosen volume partikel magnetit Fe_3O_4 (%)	Q (nm^{-1})	Intensitas (cm^{-2})	Tebal lapisan surfaktan (\AA)
0,5	0,28	0,112	118,65	8
1	0,55	0,112	193,73	7
2	1,11	0,112	344,18	6
3	1,67	0,112	344,18	6

Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh melalui proses pencocokkan (*refinement*) dengan pendekatan model *Poly Core Shell Ratio* seperti disajikan dalam Tabel 4.5 maka dapat disimpulkan bahwa ketebalan lapisan surfaktan yang melingkupi partikel magnetit berubah terhadap variasi konsentrasi fluida magnetik. Ketebalan lapisan surfaktan menurun ketika konsentrasi fluida magnetik dibuat lebih besar. Hal ini disebabkan karena jumlah fraksi volume dari surfaktan dan pelarut akan semakin rendah ketika konsentrasi fluida magnetik semakin tinggi. Saat konsentrasi fluida magnetik sebesar 2 M dan 3 M, dihasilkan tebal lapisan surfaktan yang sama yaitu sebesar 6 \AA . Hal ini menunjukkan bahwa ada batasan tertentu untuk ketebalan lapisan surfaktan yang melapisi permukaan partikel magnetit baik untuk konsentrasi fluida magnetik yang rendah maupun tinggi, ketebalan lapisan surfaktan akan sedikit lebih besar apabila fluida

magnetik sangat encer. Namun ukuran partikel magnetiknya tidak mengalami perubahan. Ukuran partikel tetap berada pada kisaran 17,8 nm – 53,6 nm yang menandakan bahwa dalam kisaran konsentrasi yang digunakan dalam penelitian belum ada korelasi partikel magnetik dalam fluida magnetik. Peningkatan konsentrasi fluida magnetik akan menurunkan intensitas background yang disebabkan oleh pelarut dan surfaktan karena jumlah partikel penghamburnya semakin besar. Hal ini tampak dalam intensitas hamburan yang semakin tinggi dengan meningkatnya konsentrasi partikel magnetik menunjukkan adanya partikel penghambur yang semakin besar sehingga intensitas surfaktan dan pelarut yang berperan sebagai *background* semakin rendah.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diperoleh beberapa simpulan sebagai berikut :

1. Metode pengukuran menggunakan teknik hamburan neutron sudut kecil cukup efektif untuk menentukan ukuran partikel dan mengetahui pengaruh ketebalan lapisan surfaktan terhadap korelasi antar partikel dalam fluida magnetik.
2. Hasil pengukuran dengan menggunakan pendekatan daerah Guinier menunjukkan ukuran jari-jari partikel sebesar 17,8 nm – 53,6 nm.
3. Hasil pengukuran dengan menggunakan model *poly core shell ratio* menunjukkan ukuran rata-rata jejari partikel sebesar 25 nm dengan derajat polidispersif 0,4 dan ketebalan lapisan surfaktan sebesar 8 Å.
4. Pengaruh konsentrasi fluida magnetik terhadap ketebalan lapisan surfaktan dan ukuran partikel magnetit dapat dianalisis dengan teknik hamburan neutron sudut kecil dan diperoleh hasil bahwa semakin besar konsentrasi fluida magnetik (jumlah partikel magnetit Fe_3O_4 semakin besar) maka intensitas hamburan yang dihasilkan juga semakin tinggi namun sebaliknya ketebalan lapisan surfaktan semakin menurun.
5. Korelasi antar partikel belum ditemukan dalam kisaran variasi konsentrasi fluida magnetik yang digunakan sehingga distribusi ukuran partikel magnetit mempunyai ukuran jari-jari partikel berkisar antara 17,8 nm - 53,6 nm.

5.2. Saran

Untuk menyempurnakan hasil penelitian yang telah diperoleh maka perlu diajukan beberapa saran sebagai berikut :

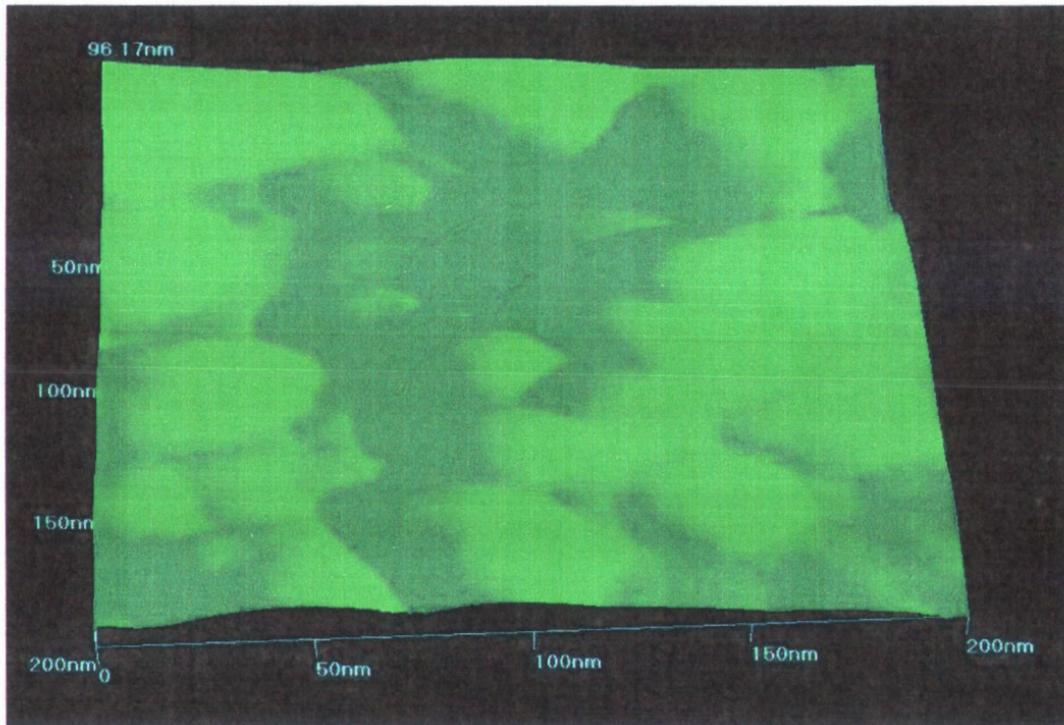
1. Kontrol mekanisme dalam pembuatan fluida magnetik lebih diperhatikan agar jangan sampai terjadi aglomerasi dari partikel magnetit yang menyebabkan ukuran partikel menjadi lebih besar dari yang diharapkan.
2. Sebaiknya digunakan surfaktan yang mempunyai gugus hidrofilik (selain minyak) sehingga tidak terjadi pemisahan antara air dengan surfaktan dalam fluida magnetik.
3. Untuk mengamati fenomena lebih lanjut, dapat digunakan variasi temperatur maupun medan magnet eksternal yang ditempatkan pada sampel dengan menggunakan neutron terpolarisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aswal, Dr. V. K. 2005. **Different Contrast Variation Methods in Small-Angle Scattering**. Solid State Physics Division, Bhabha Atomic Research Centre, Mumbai.
- Avdeev, M. V., M. Balasoiu, V. L. Aksenov, D. Bica, L. Vekas. 2004. **Structural Studies of Ferrofluids in Bulk and Interface by Neutron Scattering**, Frank Laboratory of Neutron Physics, JINR, Dubna, Rusia.
- Avdeev, M. V., M. Balasoiu, V. L. Aksenov, V. M. Garamus, J. Kohlbrecher, D. Bica, L. Vekas. 2004. **On the Magnetic Structure of Magnetit / Oleic Acid / Benzene Ferrofluids by Small Angle Neutron Scattering**, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 270, page 371-379, www.elsevier.com.
- Bacon, G.E. 1969. **Neutron Physics**, Wykeham Publications, London.
- Balasoiu, M., M. V. Avdeev, V. L. Aksenov, V. Ghenescu, M. Ghenescu, D. Bica, L. Vekas. 2004. **Structural Studies of Ferrofluids by Small Angle Neutron Scattering**, Romanian Reports in Physics, Vol. 56, No. 4, page 601-607.
- Choi, Sung Min. 2000. **SANS Experimental Methods**, NCNR Summer School, National Institute of Standards and Technology.
- Chun, D., Steven Karlen, Chris Kolodziej, Bob Jost. 2005. **Synthesis of an Aqueous Ferrofluids**, The California Nanosystems Institute and Materials Creation Training Program, University of California, Los Angeles.
- Copley, John R. D. 2001. **The Fundamentals of Neutron Powder Diffraction**, National Institute of Standarts and Technology, Washington.
- Darminto. 2004. **Diktat Fisika Zat Padat I**, Jurusan Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

- Darminto. 2006. **Pengembangan Prototipe Bahan Pelapisan-Nano, Laporan Insentif Litbangrap Teknologi Nano**, Kementerian Negara Riset dan Teknologi, Jakarta.
- Farrell, D. F., Y. Ijiri, C. V. Kelly, J. A. Borchers, J. J. Rhyne, Y. Ding, S. A. Majetich. 2006. **Small Angle Neutron Scattering Study of Disordered and Crystalline Iron Nanoparticle Assemblies**, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 303, page 318-322, www.elsevier.com.
- Goyal, P. S. 2000. **Small Angle Neutron Scattering**, Solid State Physics Division, Bhabha Atomic Research Centre, Mumbai.
- Ikram, A. 2001. **Kegiatan Hamburan Neutron di Serpong**, Seminar Nasional Hamburan Neutron dan Sinar-X ke 4, Laboratorium Hamburan Neutron, BATAN, Serpong, Indonesia.
- King, Stephen M. 2003. **Small Angle Neutron Scattering**, ISIS Facility, Rutherford Appleton Laboratory, Chilton, Didcot.
- Kohlbrecher, J. 2005. **Characterization of Nanomagnetic Structures by Polarized Small Angle Neutron Scattering**, Condensed Matter Research with Neutron and Muons, Paul Scherrer Institute.
- Kurniawan, D. 2006. **Sintesis dan Karakteristik Nanopartikel Ferrit MFe_2O_4 ($M = Fe, Ni, Zn, Mn$) dari Pasir Besi untuk Preparasi Fluida Magnet**, Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Putra, Eddy Giri R., A. Ikram, E. Santoso, Bharoto. 2006. **Performance of 36m SANS BATAN (SMARTer) at Serpong Indonesia**, Presented in the XIII-th International Conference On Small Angle Scattering Kyoto Japan, National Nuclear Energy Agency-BATAN, Serpong, Indonesia.

- Putra, Eddy Giri R., E. Santoso, Bharoto, Y. A. Mulyana. 2006. **Small Angle Neutron Scattering Spectrometer (SMARTer) for Nanostructure Studies of Soft Condensed Matters**, Submitted to Neutron News, Neutron Scattering Laboratory, Centre for Nuclear Industrials Materials Technology, National Nuclear Energy Agency-BATAN, Serpong, Indonesia.
- Roe, Ryong Joon. 2000. **Methods of X-Ray and Neutron Scattering in Polymer Science**, Department of Materials Science and Engineering University of Cincinnati, Oxford University Press, New York.
- Schmidt, Paul W., D. J. Voss, Randall D. Rice, Rainer Bruckner, Laura Shulse. 1997. **Small-Angle Scattering Studies of Solids with Structure On More Than One Length Scale in the interval between 5 Å and 10⁴ Å**, Proceedings of the 17th Conference on Applied Crystallography, Singapore.
- Shi-Young Zao, Don Keun Lee, Chang Woo Kim, Hun Gil Cha, Young Hwan Kim, Yong Soo Kang. 2006. **Synthesis of Magnetic Nanoparticles of Fe₃O₄ and CoFe₂O₄ and Their Surface Modification by Surfactant Adsorption**, Department of Chemistry, Pukyong National University, Bull. Korea Chem. Soc. Vol 27, No.2.
- Squires, G.L. 1978. **Introduction to the Theory of Thermal Neutron Scattering**, Cambridge University Press, London.
- Wiedenmann, A., Martin Kammel, Andre Heinemann. 2005. **Magnetic Nanostructure Studied by Polarized Small Angle Neutron Scattering**, Proceedings of the International Symposium on Research Reactor and Neutron Science, Daejeon, Korea.



Lampiran 1. Gambar hasil pengujian dengan Magnetic Force Microscopy (MFM) pada fluida magnetik

Lampiran 2. Data pola hamburan untuk penentuan ukuran partikel magnetit Fe_3O_4

Tabel 4.3. Data pola hamburan dari fluida magnetik dengan konsentrasi 0,5 M

Point	q_0p5M	i_0p5M	error_0p5M	LN_i_0p5M	'q_0p5M^2
0	0.039	2479.76	12.28	7.81592	0.001521
1	0.043	1919.87	9.347	7.56002	0.001849
2	0.048	1506.94	7.523	7.31784	0.002304
3	0.053	1062.54	5.886	6.96842	0.002809
4	0.057	771.562	4.578	6.64842	0.003249
5	0.062	607.43	3.894	6.40924	0.003844
6	0.066	501.034	3.341	6.21667	0.004356
7	0.071	401.72	2.833	5.99575	0.005041
8	0.076	347.822	2.475	5.85169	0.005776
9	0.08	294.846	2.203	5.68645	0.0064
10	0.085	261.082	1.951	5.56484	0.007225
11	0.089	223.432	1.733	5.40911	0.007921
12	0.094	193.037	1.564	5.26288	0.008836
13	0.098	175.99	1.445	5.17043	0.009604
14	0.103	153.533	1.323	5.03392	0.010609
15	0.108	137.154	1.21	4.9211	0.011664
16	0.112	118.65	1.113	4.77618	0.012544
17	0.117	113.923	1.025	4.73552	0.013689
18	0.121	106.701	0.969	4.67003	0.014641
19	0.126	102.106	0.93	4.62601	0.015876
20	0.13	90.725	0.848	4.50783	0.0169
21	0.135	88.5757	0.824	4.48386	0.018225
22	0.14	78.6443	0.769	4.36493	0.0196
23	0.144	70.8786	0.718	4.26097	0.020736
24	0.149	59.2508	0.673	4.08178	0.022201
25	0.153	62.3801	0.666	4.13325	0.023409
26	0.158	54.9851	0.62	4.00706	0.024964
27	0.163	51.617	0.579	3.94385	0.026569
28	0.167	47.3677	0.546	3.85794	0.027889
29	0.17	44.2044	0.465	3.78882	0.0289
30	0.185	38.2293	0.407	3.6436	0.034225
31	0.2	32.4756	0.367	3.48049	0.04
32	0.215	28.1961	0.332	3.33918	0.046225
33	0.23	25.2747	0.307	3.2298	0.0529
34	0.244	20.223	0.27	3.00682	0.059536
35	0.259	17.7363	0.247	2.87561	0.067081
36	0.274	15.9111	0.234	2.76702	0.075076
37	0.289	13.7268	0.214	2.61935	0.083521
38	0.304	12.4983	0.203	2.52559	0.092416
39	0.318	10.6029	0.187	2.36113	0.101124
40	0.333	9.7227	0.178	2.27446	0.110889
41	0.348	8.4078	0.166	2.12916	0.121104
42	0.363	8.2296	0.161	2.10774	0.131799
43	0.378	7.1037	0.15	1.96062	0.142884
44	0.392	6.6447	0.144	1.89382	0.153664
45	0.407	6.3531	0.141	1.84894	0.165649
46	0.422	5.6214	0.131	1.72658	0.178084
47	0.437	5.7699	0.133	1.75265	0.190969
48	0.452	5.3136	0.129	1.67027	0.204304
49	0.467	5.0706	0.125	1.62346	0.218089
50	0.481	4.8681	0.121	1.5827	0.231361
51	0.496	4.7358	0.118	1.55515	0.246016
52	0.511	4.5846	0.115	1.5227	0.261121
53	0.518	4.49971	0.065	1.50401	0.268324

Point	q_0p5M	i_0p5M	error_0p5M	LN_i_0p5M	'q_0p5M^2'
56	0.633	3.27629	0.054	1.18671	0.400689
57	0.672	3.3359	0.053	1.20474	0.451584
58	0.71	2.86416	0.051	1.05228	0.5041
59	0.749	2.86416	0.05	1.05228	0.561001
60	0.787	2.76307	0.049	1.01634	0.619369
61	0.825	2.50128	0.046	0.916803	0.680625
62	0.864	2.51683	0.045	0.923001	0.746496
63	0.902	2.51165	0.044	0.920939	0.813604
64	0.94	2.50387	0.043	0.917838	0.8836
65	0.979	2.40538	0.041	0.877706	0.958441
66	1.017	2.40797	0.04	0.878783	1.03429
67	1.056	2.36131	0.04	0.859217	1.11514
68	1.094	2.28096	0.039	0.824596	1.19684
69	1.132	2.25504	0.038	0.813168	1.28142
70	1.171	2.41834	0.039	0.88308	1.37124
71	1.209	2.33539	0.038	0.84818	1.46168
72	1.248	2.46758	0.038	0.90324	1.5575
73	1.286	2.3328	0.037	0.847069	1.6538
74	1.324	2.31206	0.036	0.838141	1.75298
75	1.363	2.34058	0.035	0.850397	1.85777
76	1.401	2.35354	0.034	0.855919	1.9628
77	1.44	2.27318	0.034	0.821181	2.0736
78	1.478	2.23171	0.033	0.802769	2.18448
79	1.516	2.36909	0.034	0.862505	2.29826
80	1.555	2.36909	0.033	0.862505	2.41802
81	1.593	2.22394	0.032	0.799279	2.53765
82	1.631	2.22394	0.032	0.799279	2.66016
83	1.67	2.2991	0.032	0.832519	2.7889
84	1.708	2.37946	0.032	0.866872	2.91726
85	1.747	2.34576	0.031	0.852609	3.05201
86	1.785	2.23171	0.03	0.802769	3.18623
87	1.823	2.1695	0.029	0.774499	3.32333
88	1.862	2.19283	0.029	0.785194	3.46704
89	1.9	2.23949	0.028	0.806247	3.61
90	1.939	2.14618	0.028	0.763688	3.75972
91	1.977	2.39242	0.029	0.872304	3.90853
92	2.015	2.27059	0.028	0.820041	4.06023
93	2.054	2.12544	0.028	0.753979	4.21892
94	2.092	2.24726	0.029	0.809713	4.37646
95	2.13	2.1721	0.029	0.775693	4.5369
96	2.169	2.05027	0.031	0.717972	4.70456
97	2.207	2.0088	0.035	0.697538	4.87085
98	2.246	1.79626	0.042	0.585704	5.04452
99	2.284	1.75738	0.058	0.563822	5.21666
100	2.322	1.72886	0.103	0.547465	5.39168
101	2.361	1.01347	0.258	0.0133821	5.57432

Lampiran 3. Data- data pola hamburan dari alat *SANS*
 Tabel 4.4.(a) Data pola hamburan dari fluida magnetik dengan konsentrasi 0,5 M

Point	q_0p5M	i_0p5M	error_0p5M	i_0p5M1
0	0.039	2479.76	12.28	918.428
1	0.043	1919.87	9.347	711.065
2	0.048	1506.94	7.523	558.126
3	0.053	1062.54	5.886	393.532
4	0.057	771.562	4.578	285.764
5	0.062	607.43	3.894	224.974
6	0.066	501.034	3.341	185.588
7	0.071	401.72	2.833	148.785
8	0.076	347.822	2.475	128.823
9	0.08	294.846	2.203	109.202
10	0.085	261.082	1.951	96.6972
11	0.089	223.432	1.733	82.7526
12	0.094	193.037	1.564	71.4951
13	0.098	175.99	1.445	65.1816
14	0.103	153.533	1.323	56.8642
15	0.108	137.154	1.21	50.7978
16	0.112	118.65	1.113	43.9444
17	0.117	113.923	1.025	42.1937
18	0.121	106.701	0.969	39.5189
19	0.126	102.106	0.93	37.817
20	0.13	90.725	0.848	33.6018
21	0.135	88.5757	0.824	32.8058
22	0.14	78.6443	0.769	29.1275
23	0.144	70.8786	0.718	26.2514
24	0.149	59.2508	0.673	21.9447
25	0.153	62.3801	0.666	23.1037
26	0.158	54.9851	0.62	20.3649
27	0.163	51.617	0.579	19.1174
28	0.167	47.3677	0.546	17.5436
29	0.17	44.2044	0.465	16.372
30	0.185	38.2293	0.407	14.159
31	0.2	32.4756	0.367	12.028
32	0.215	28.1961	0.332	10.443
33	0.23	25.2747	0.307	9.361
34	0.244	20.223	0.27	7.49
35	0.259	17.7363	0.247	6.569
36	0.274	15.9111	0.234	5.893
37	0.289	13.7268	0.214	5.084
38	0.304	12.4983	0.203	4.629
39	0.318	10.6029	0.187	3.927
40	0.333	9.7227	0.178	3.601
41	0.348	8.4078	0.166	3.114
42	0.363	8.2296	0.161	3.048
43	0.378	7.1037	0.15	2.631
44	0.392	6.6447	0.144	2.461
45	0.407	6.3531	0.141	2.353
46	0.422	5.6214	0.131	2.082
47	0.437	5.7699	0.133	2.137
48	0.452	5.3136	0.129	1.968
49	0.467	5.0706	0.125	1.878
50	0.481	4.8681	0.121	1.803
51	0.496	4.7358	0.118	1.754
52	0.511	4.5846	0.115	1.698
53	0.518	4.49971	0.065	1.66656
54	0.557	3.99946	0.061	1.48128
55	0.595	3.5951	0.058	1.33152

Point	q_0p5M	i_0p5M	error_0p5M	i_0p5M1
56	0.633	3.27629	0.054	1.21344
57	0.672	3.3359	0.053	1.23552
58	0.71	2.86416	0.051	1.0608
59	0.749	2.86416	0.05	1.0608
60	0.787	2.76307	0.049	1.02336
61	0.825	2.50128	0.046	0.9264
62	0.864	2.51683	0.045	0.93216
63	0.902	2.51165	0.044	0.93024
64	0.94	2.50387	0.043	0.92736
65	0.979	2.40538	0.041	0.89088
66	1.017	2.40797	0.04	0.89184
67	1.056	2.36131	0.04	0.87456
68	1.094	2.28096	0.039	0.8448
69	1.132	2.25504	0.038	0.8352
70	1.171	2.41834	0.039	0.89568
71	1.209	2.33539	0.038	0.86496
72	1.248	2.46758	0.038	0.91392
73	1.286	2.3328	0.037	0.864
74	1.324	2.31206	0.036	0.85632
75	1.363	2.34058	0.035	0.86688
76	1.401	2.35354	0.034	0.87168
77	1.44	2.27318	0.034	0.84192
78	1.478	2.23171	0.033	0.82656
79	1.516	2.36909	0.034	0.87744
80	1.555	2.36909	0.033	0.87744
81	1.593	2.22394	0.032	0.82368
82	1.631	2.22394	0.032	0.82368
83	1.67	2.2991	0.032	0.85152
84	1.708	2.37946	0.032	0.88128
85	1.747	2.34576	0.031	0.8688
86	1.785	2.23171	0.03	0.82656
87	1.823	2.1695	0.029	0.80352
88	1.862	2.19283	0.029	0.81216
89	1.9	2.23949	0.028	0.82944
90	1.939	2.14618	0.028	0.79488
91	1.977	2.39242	0.029	0.88608
92	2.015	2.27059	0.028	0.84096
93	2.054	2.12544	0.028	0.7872
94	2.092	2.24726	0.029	0.83232
95	2.13	2.1721	0.029	0.80448
96	2.169	2.05027	0.031	0.75936
97	2.207	2.0088	0.035	0.744
98	2.246	1.79626	0.042	0.66528
99	2.284	1.75738	0.058	0.65088
100	2.322	1.72886	0.103	0.64032
101	2.361	1.01347	0.258	0.37536

Tabel 4.4.(b) Data pola hamburan dari fluida magnetik dengan konsentrasi 1 M

Point	q_1M	i_1M	i_1M1
0	0.039	2374.24	1032.28
1	0.043	1923.11	836.135
2	0.048	1523.39	662.344
3	0.053	1206.92	524.749
4	0.057	936.736	407.277
5	0.062	812.348	353.195
6	0.066	701.993	305.214
7	0.071	561.668	244.203
8	0.076	476.168	207.03
9	0.08	411.809	179.047
10	0.085	376.711	163.787
11	0.089	326.099	141.782
12	0.094	279.912	121.701
13	0.098	246.958	107.373
14	0.103	223.365	97.1154
15	0.108	222.248	96.6297
16	0.112	193.726	84.2286
17	0.117	169.818	73.8341
18	0.121	158.654	68.98
19	0.126	150.654	65.5016
20	0.13	141.266	61.42
21	0.135	128.523	55.8797
22	0.14	124.699	54.2171
23	0.144	116.114	50.4844
24	0.149	103.495	44.9978
25	0.153	92.3341	40.1453
26	0.158	84.0526	36.5446
27	0.163	85.2298	37.0564
28	0.167	83.7677	36.4207
29	0.172	77.1057	33.5242
30	0.176	76.7983	33.3906
31	0.181	72.4269	31.49
32	0.185	66.0086	28.6994
33	0.19	64.3141	27.9627
34	0.195	60.2127	26.1794
35	0.2	57.4747	24.989
36	0.215	48.4311	21.057
37	0.23	41.7703	18.161
38	0.244	33.9687	14.769
39	0.259	29.4814	12.818
40	0.274	25.2954	10.998
41	0.289	22.0064	9.568
42	0.304	18.5288	8.056
43	0.318	15.6193	6.791
44	0.333	14.536	6.32
45	0.348	12.2475	5.325
46	0.363	11.3827	4.949
47	0.378	10.051	4.37
48	0.392	9.1701	3.987
49	0.407	8.74	3.8
50	0.422	7.8453	3.411
51	0.441	7.17483	3.11949
52	0.48	5.96346	2.59281
53	0.518	5.0686	2.20374
54	0.557	4.47886	1.94733
55	0.595	3.93693	1.71171

Point	q_1M	i_1M	i_1M1
56	0.633	3.32897	1.44738
57	0.672	3.03069	1.31769
58	0.71	2.80526	1.21968
59	0.749	2.79616	1.21572
60	0.787	2.43411	1.05831
61	0.825	2.19958	0.95634
62	0.864	2.0197	0.87813
63	0.902	2.15632	0.93753
64	0.94	2.00831	0.87318
65	0.979	1.83299	0.79695
66	1.017	1.89446	0.82368
67	1.056	1.78745	0.77715
68	1.094	1.82388	0.79299
69	1.132	1.65083	0.71775
70	1.171	1.73735	0.75537
71	1.209	1.74191	0.75735
72	1.248	1.77834	0.77319
73	1.286	1.77834	0.77319
74	1.324	1.59162	0.69201
75	1.363	1.77151	0.77022
76	1.401	1.59162	0.69201
77	1.44	1.54153	0.67023
78	1.478	1.56658	0.68112
79	1.516	1.60301	0.69696
80	1.555	1.59618	0.69399
81	1.593	1.5643	0.68013
82	1.631	1.55064	0.67419
83	1.67	1.56885	0.68211
84	1.708	1.62578	0.70686
85	1.747	1.63944	0.7128
86	1.785	1.54153	0.67023
87	1.823	1.64399	0.71478
88	1.862	1.55747	0.67716
89	1.9	1.60529	0.69795
90	1.939	1.58479	0.68904
91	1.977	1.61212	0.70092
92	2.015	1.52787	0.66429
93	2.054	1.48233	0.64449
94	2.092	1.59618	0.69399
95	2.13	1.56885	0.68211
96	2.169	1.46867	0.63855
97	2.207	1.5051	0.65439
98	2.246	1.23641	0.53757
99	2.284	0.958617	0.41679
100	2.322	1.08385	0.47124

Tabel 4.4.(c) Data pola hamburan dari fluida magnetik dengan konsentrasi 2 M

Point	q_2M	i_2M	error_2M	i_2M1
0	0.039	2436.56	15.092	1571.97
1	0.043	2089.27	11.918	1347.92
2	0.048	1809.81	9.935	1167.62
3	0.053	1480.21	8.196	954.971
4	0.057	1186.33	6.628	765.375
5	0.062	1064.13	6.006	686.538
6	0.066	955.908	5.413	616.715
7	0.071	816.163	4.773	526.557
8	0.076	693.728	4.193	447.566
9	0.08	649.528	3.951	419.05
10	0.085	578.032	3.569	372.924
11	0.089	512.501	3.254	330.646
12	0.094	480.306	3.059	309.875
13	0.098	449.677	2.893	290.114
14	0.103	396.324	2.665	255.693
15	0.108	370.84	2.497	239.252
16	0.112	344.176	2.354	222.049
17	0.117	316.657	2.167	204.295
18	0.121	301.086	2.083	194.249
19	0.126	284.441	2.01	183.51
20	0.13	247.147	1.806	159.45
21	0.135	239.57	1.776	154.561
22	0.14	228.13	1.701	147.181
23	0.144	214.842	1.62	138.608
24	0.149	195.663	1.528	126.234
25	0.153	187.528	1.472	120.986
26	0.158	173.406	1.39	111.875
27	0.163	171.297	1.347	110.514
28	0.167	159.684	1.279	103.022
29	0.172	147.873	1.228	95.402
30	0.176	140.628	1.181	90.728
31	0.181	129.549	1.116	83.5802
32	0.185	125.577	1.092	81.0175
33	0.19	125.761	1.087	81.1361
34	0.195	114.184	1.023	73.6668
35	0.199	104.264	0.96	67.2668
36	0.204	98.5456	0.92	63.5778
37	0.215	88.1671	0.698	56.882
38	0.23	74.2528	0.621	47.905
39	0.244	61.3971	0.55	39.611
40	0.259	52.6225	0.496	33.95
41	0.274	44.6136	0.452	28.783
42	0.289	37.2822	0.404	24.053
43	0.304	32.9019	0.375	21.227
44	0.318	26.9545	0.334	17.39
45	0.333	23.6778	0.308	15.276
46	0.348	20.2105	0.28	13.039
47	0.363	17.8312	0.26	11.504
48	0.378	15.4675	0.238	9.979
49	0.392	13.9841	0.223	9.022
50	0.407	12.941	0.215	8.349
51	0.422	10.9848	0.194	7.087
52	0.437	10.3587	0.191	6.683
53	0.452	9.393	0.183	6.06
54	0.467	8.9807	0.176	5.794
55	0.481	8.0166	0.165	5.172

Point	q_2M	i_2M	error_2M	i_2M1
56	0.496	7.3842	0.157	4.764
57	0.511	6.72235	0.149	4.337
58	0.526	6.045	0.141	3.9
59	0.541	5.90705	0.138	3.811
60	0.555	5.21265	0.131	3.363
61	0.57	4.83135	0.128	3.117
62	0.585	4.5694	0.123	2.948
63	0.6	4.5508	0.122	2.936
64	0.615	4.1664	0.119	2.688
65	0.633	3.81725	0.065	2.46274
66	0.672	3.26585	0.061	2.107
67	0.71	2.78129	0.057	1.79438
68	0.749	2.53217	0.055	1.63366
69	0.787	2.41521	0.054	1.5582
70	0.825	2.2785	0.051	1.47
71	0.864	1.90786	0.047	1.23088
72	0.902	1.77267	0.046	1.14366
73	0.94	1.73166	0.044	1.1172
74	0.979	1.66331	0.043	1.0731
75	1.017	1.59647	0.041	1.02998
76	1.056	1.56305	0.041	1.00842
77	1.094	1.54179	0.04	0.9947
78	1.132	1.33216	0.038	0.85946
79	1.171	1.32912	0.038	0.8575
80	1.209	1.27292	0.038	0.82124
81	1.248	1.40052	0.038	0.90356
82	1.286	1.2714	0.036	0.82026
83	1.324	1.20912	0.035	0.78008
84	1.363	1.20912	0.034	0.78008
85	1.401	1.18178	0.033	0.76244
86	1.44	1.22431	0.033	0.78988
87	1.478	1.1514	0.033	0.74284
88	1.516	1.13469	0.033	0.73206
89	1.555	1.23039	0.033	0.7938
90	1.593	1.20457	0.032	0.77714
91	1.631	1.14077	0.032	0.73598
92	1.67	1.14077	0.031	0.73598
93	1.708	1.13621	0.031	0.73304
94	1.747	1.05419	0.03	0.68012
95	1.785	1.09976	0.029	0.70952
96	1.823	1.13925	0.029	0.735
97	1.862	1.11343	0.029	0.71834
98	1.9	1.06634	0.027	0.68796
99	1.939	1.10279	0.028	0.71148
100	1.977	1.11798	0.028	0.72128
101	2.015	1.09216	0.027	0.70462
102	2.054	1.07393	0.027	0.69286
103	2.092	1.10279	0.028	0.71148
104	2.13	1.12862	0.029	0.72814
105	2.169	0.988869	0.03	0.63798
106	2.207	0.990388	0.034	0.63896
107	2.246	0.852159	0.041	0.54978
108	2.284	0.747348	0.055	0.48216
109	2.322	0.586334	0.094	0.37828

Tabel 4.4.(d) Data pola hamburan dari fluida magnetik dengan konsentrasi 3 M

Point	q_3M	i_3M
0	0.039	2356.56
1	0.043	2047.7
2	0.048	1810.04
3	0.053	1480.12
4	0.057	1207.78
5	0.062	1056.26
6	0.066	952.079
7	0.071	824.329
8	0.076	721.569
9	0.08	653.344
10	0.085	594.984
11	0.089	527.024
12	0.094	481.408
13	0.098	448.22
14	0.103	410.316
15	0.108	377.166
16	0.112	354.529
17	0.117	324.166
18	0.121	301.376
19	0.126	285.588
20	0.13	262.967
21	0.135	249.514
22	0.14	231.504
23	0.144	219.716
24	0.149	204.799
25	0.153	187.439
26	0.158	176.459
27	0.163	164.859
28	0.167	158.709
29	0.172	147.816
30	0.176	142.039
31	0.181	133.336
32	0.185	122.67
33	0.19	120.003
34	0.195	111.845
35	0.199	102.121
36	0.204	96.5574
37	0.208	88.209
38	0.213	82.1976
39	0.217	80.9445
40	0.222	78.007
41	0.227	72.8064
42	0.23	70.964
43	0.244	57.324
44	0.259	49.288
45	0.274	40.431
46	0.289	33.58
47	0.304	29.645
48	0.318	24.091
49	0.333	22.302
50	0.348	19.107
51	0.363	16.466
52	0.378	14.889
53	0.392	13.003
54	0.407	11.674
55	0.422	10.043

Point	q_3M	i_3M
56	0.437	9.505
57	0.452	8.255
58	0.467	7.528
59	0.481	6.957
60	0.496	6.132
61	0.511	5.71
62	0.526	5.155
63	0.541	5.049
64	0.557	4.64876
65	0.595	3.749
66	0.633	3.19332
67	0.672	2.62752
68	0.71	2.31104
69	0.749	2.04424
70	0.787	1.8216
71	0.825	1.61736
72	0.864	1.4858
73	0.902	1.3386
74	0.94	1.14172
75	0.979	1.06444
76	1.017	1.13804
77	1.056	0.9982
78	1.094	1.0028
79	1.132	0.95864
80	1.171	0.90068
81	1.209	0.874
82	1.248	0.8326
83	1.286	0.8878
84	1.324	0.851
85	1.363	0.85652
86	1.401	0.80776
87	1.44	0.75808
88	1.478	0.7912
89	1.516	0.71576
90	1.555	0.69644
91	1.593	0.66516
92	1.631	0.67068
93	1.67	0.73232
94	1.708	0.71208
95	1.747	0.71392
96	1.785	0.6946
97	1.823	0.67344
98	1.862	0.71208
99	1.9	0.70196
100	1.939	0.66884
101	1.977	0.74612
102	2.015	0.73324
103	2.054	0.69184
104	2.092	0.69644
105	2.13	0.62744
106	2.169	0.65596
107	2.207	0.57316
108	2.246	0.52348
109	2.284	0.3726
110	2.322	0.2392
111	2.361	0.68632
...		

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Pasuruan, 11 Januari 1986, merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK.PGRI Suwayuwo Pasuruan, SDN Suwayuwo 01 Sukorejo, SLTPN 1 Sukorejo, SMUN 1 Pandaan. Setelah lulus dari SMUN tahun 2003, Penulis mengikuti program PMDK dan

diterima di Jurusan Fisika FMIPA – ITS pada tahun 2003 dan terdaftar dengan NRP. 1103 100 016.

Di Jurusan Fisika ini, Penulis mengambil Bidang Fisika Material. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan karya tulis ilmiah yang diselenggarakan oleh Himpunan Mahasiswa Jurusan Fisika dan ITS, finalis Mahasiswa Berprestasi (Mawapres) ITS periode 2005-2006 dan aktif sebagai Asisten Praktikum Fisika Dasar.