

**KAJIAN STRUKTUR KRISTAL NANOPARTIKEL MAGNETITE (Fe_3O_4)
SEBAGAI FUNGSI TEMPERATUR DARI HASIL SINTESIS DENGAN
MENGUNAKAN METODE SONOKIMIA**

SKRIPSI

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan
Mencapai derajat sarjana S-1
Program Studi Fisika**



Disusun Oleh:

**Sri Susanti
07620006**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2014**



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : SRI SUSANTI
NIM : 07620006
Judul Skripsi : Kajian Struktur Kristal Nanopartikel Magnetite (Fe_3O_4) Sebagai Fungsi Temperatur Dari Hasil Sintesis Dengan Menggunakan Metode Sonokimia

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Sains

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 18 Juni 2014

Pembimbing

Retno Rahmawati, M.Si

NIP.1982116 200901 2 006



PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Nomor : UIN.02/D.ST/PP.01.1/2388/2014

Skrripsi/Tugas Akhir dengan judul : Kajian Struktur Kristal Nanopartikel Magnetite (Fe_3O_4)
Sebagai Fungsi Temperatur Dari Hasil Sintesis Dengan
Menggunakan Metode Sonokimia

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :
Nama : Sri Susanti
NIM : 07620006
Telah dimunaqasyahkan pada : 03 Juli 2014
Nilai Munaqasyah : A-
Dan dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga

TIM MUNAQASYAH :

Ketua Sidang

Retno Rahmawati, M.Si
NIP.19821116 200901 2 006

Penguji I

Karmanto, S.Si., M.Sc.
NIP.19820504 200912 1 005

Penguji II

Asih Melati, S.Si., M.Sc.
NIP. 198411102011012000

Yogyakarta, 01 September 2014

UIN Sunan Kalijaga

Fakultas Sains dan Teknologi
Dekan



Prof. Drs. H. Akh. Minhaji, M.A, Ph.D
NIP. 19580919 198603 1 002

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah. Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Yogyakarta, 18 juni 2014



Sri Susanti

NIM.07620006

Motto

- Skripsi ini mengajarkanku pada banyak hal,...*
- Belajar sabar dalam menjalani hidup,...*
- Belajar untuk tegar ketika dihadapkan pada masalah besar,...*
- Belajar tersenyum disaat susah,...*
- Belajar berani ketika takut,...*
- Belajar menjadi manusia yang selalu mengintropeksi diri walau disaat genting sekalipun,...*
- Belajar tentang prioritas hidup,...*
- Belajar tentang kebersamaan, persaudaraan yang saling menguatkan, mendoakan dan Allah S.W.T lah yang tetap menguatkan aku,...*

Persembahan

Karya ini aku persembahkan untuk:

- ✚ Mama & papa tercinta, terimakasih atas doa dan dukungannya selama ini dengan kesabaran yang tiada terkira.
- ✚ Adik-adikq tersayang yg selalu memberikan warna dlm hidupku.
- ✚ Dhe' las yang selalu memberi semangat dan perhatian yang tak terkira.
- ✚ Mbah kung(alm) yang selalu sayang serta memberikan seluruh perhatian kepadaku sampai saat kau tiada aku belum bisa membalas semua. semoga mbah bahagia disisi-NYA.
- ✚ Mas Sulis (Aan) yang selalu memberikan dukungan, semangat dan doa.

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya haturkan kehadirat Allah SWT dengan atas segala rahmat dan hidayah-Nya. Sholawat beserta salam semoga selalu tercurah kepada junjungan kita nabi Muhammad SAW yang telah memberikan petunjuk dan bimbingan kepada seluruh ummatnya.

Penyusunan tugas akhir (skripsi) ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan yang datang dari berbagai pihak yang sudah pasti sangat berarti, untuk itu dengan segenap kerendahan hati saya mengucapkan terimakasih kepada :

1. Prof. Dr. H. Musa Asy' ari, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Prof. Drs. H. Akhmad Minhaji, M.A., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Frida Agung Rahmadi, M.Si, selaku Ketua Program Studi Fisika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
4. Thaqibul Fikri Niyartama, M.Si, selaku Penasehat Akademik Program Studi Fisika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
5. Retno Rahmawati, M.Si, selaku Dosen pembimbing dan Penasehat Akademik Program Studi Fisika yang dengan sabar dan tekun memberikan dorongan semangat serta memberikan bimbingan dengan penuh keikhlasan dan keterbukaan sehingga skripsi ini bisa terselesaikan dengan baik.
6. Semua staf Tata Usaha dan karyawan dilingkungan Fakultas Sains dan Teknologi serta Laboratorium Terpadu UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu terselesaikannya skripsi ini.

7. Seluruh keluargaku Mama, Papa, Erwin, Kiki, Sasha, Dhe'Las, Mbah Kung (alm), Mbah Putri (alm), Mas Aan tersayang yang selalu memberi semangat, dukungan, dorongan, kebahagiaan setiap saat tanpa kenal lelah.
8. Seluruh sahabatku tersayang yang tak dapat kusebut satu persatu. Terima kasih banyak atas keceriaan dan kebahagiaan serta kenangan indah yang telah kalian sematkan dalam sejarah hidupku. Sukses buat kita semua. Dan bagi sahabat2 yang belum lulus ayo semangat kalian pasti bisa.
9. Sahabat-sahabat material Ayo semangat cepat lulus bagi yang belum lulus.

Penulis hanya dapat berdoa semoga mereka mendapatkan balasan kebaikan yang berlipat ganda Allah SWT. Penulis berharap semoga karya sederhana ini dapat bermanfaat. Amin....

Dan untuk menjadikan tulisan ini lebih baik, penulis menunggu saran dan kritik para pembaca.

Yogyakarta, 18 Juni 2014

Penulis

**KAJIAN STRUKTUR KRISTAL NANOPARTIKEL MAGNETITE (Fe₃O₄)
SEBAGAI FUNGSI TEMPERATUR DARI HASIL SINTESIS DENGAN
MENGUNAKAN METODE SONOKIMIA**

Sri susanti

07620006

INTISARI

Penelitian kajian struktur Kristal nanopartikel (Fe₃O₄) sebagai fungsi temperatur dari hasil sintesis dengan menggunakan metode sonokimia ini bertujuan untuk memperoleh nanopartikel *magnetite* berukuran nano dan mempelajari pengaruh fungsi temperatur pada struktur Kristal nanopartikel *magnetite*. Sintesis dilakukan dengan mencampurkan pasir alam dengan HCl sebagai pelarut dan NaOH sebagai pengendap. Fungsi temperatur divariasikan dari 30°C, 50°C, dan 80°C dan dilihat pengaruhnya pada struktur Kristal yang terbentuk dari sampel. Sampel nanopartikel *magnetite* hasil percobaan dikarakterisasi dengan menggunakan alat XRD (X-Ray diffraction) untuk mengetahui pembentukan fasa dan ukuran Kristal yang terbentuk dan SEM (scanning electron microscope) untuk mengetahui morfologi sampel. Dari hasil karakterisasi diketahui fraksi volume sampel menurun karena munculnya fasa lain yang berupa *magnetite* lemah yang mendekati amorf, selain itu sampel nanopartikel *magnetite* memiliki struktur kubik pusat muka (*face centered cubic*) dengan bidang-bidang Kristal sesuai dengan bidang Kristal standar JCPDS (*joint committee powder standart*) no.19-629 dengan ukuran Kristal kurang dari 50nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode sonokimia dengan fungsi temperatur dapat memperkecil ukuran nanopartikel *magnetite* serta tidak berpengaruh pada struktur Kristal nanopartikel *magnetite*.

Kata kunci : nanopartikel *magnetite*, fungsi temperatur, struktur Kristal

**CRYSTAL STRUCTURE STUDY MAGNETIC NANOPARTICLES
(Fe_3O_4) AS A FUNCTION OF TEMPERATURE SYNTHESIS OF
RESULTS USING SONOCHEMICAL**

Sri Susanti
07620006

ABSTRACT

This study aims to obtain nano-sized magnetite nanoparticles and study the effect of temperature on the function of the crystal structure of magnetite nanoparticles. Synthesis is done by mixing natural sand with HCl as solvent and NaOH as a precipitant ultrasonic. Function of temperature was varied from 30°C , 50°C , and 80°C and seen its effect on the cubic crystal structure formed from the sample. Sample test results magnetite nanoparticles were characterized by using XRD (X-Ray Diffraction) to determine the phase formation and the size of the crystals formed and SEM (Scanning Electron Microscope) to determine the morphology of the sample. From the results of the characterization of unknown fraction of the sample volume decreases due to the appearance of another phase in the form ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), in addition to the sample of magnetite nanoparticles have a face-centered cubic structure (Face Centered Cubic) with the crystal fields in accordance with the standard crystal field JCPDS (Joint Committee of Powder standart) no.19-629 with the size of crystals at temperatures 30°C of (22.62 ± 1.56) nm, at a temperature of 50°C (24.30 ± 1.20) nm, and the temperature of 80°C $(20, 60 \pm 0.60)$ nm. The results showed that the sonochemical method with a function of temperature can reduce the size of magnetite nanoparticles and no effect on the crystal structure of magnetite nanoparticles.

Keyword : Magnetite Nanoparticles, Temperature On The Function, The Crystal Structure

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN DAN MOTTO.....	v
KATA PENGANTAR	vi
INTISARI.....	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DARTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II LANDASAN TEORI.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Dasar Teori.....	8

2.2.1 Pasir Besi.....	8
2.2.2 Nano Partikel Magnetit (Fe_3O_4).....	10
2.2.3 Metode Sonokimia.....	12
2.2.4 Kavitasi Akustik.....	14
2.2.5 Struktur Kristal.....	16
BAB III METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	19
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	19
3.3 Metode Penelitian.....	20
3.4 Metode Analisis	24
3.4.1 XRD (<i>X-Ray Diffractometer</i>).....	24
3.4.2 SEM (<i>scanning electron microscopy</i>).....	25
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Hasil Penelitian	27
4.1.1 Hasil Uji XRD Sebelum Disintesis.....	27
4.1.2 Hasil Sintesis.....	27
4.1.3 Hasil Uji XRD Setelah Sintesis.....	28
4.1.4 ukuran partikel dan hasil uji morfologi.....	33
4.2 Pembahasan.....	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	39
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hubungan sistem Kristal dan parameter kisi	18
Tabel 3.1 Alat-alat penelitian.....	19
Tabel 3.2 Bahan-bahan penelitian.....	20
Tabel 4.1 Rata-rata nanopartikel Fe_3O_4 dari 3 gram pasir besi.....	28
Tabel 4.2 Bidang hkl Fe_3O_4 dengan fungsi temperatur 30°C	30
Tabel 4.3 Bidang hkl Fe_3O_4 dengan fungsi temperatur 50°C	31
Tabel 4.4 Bidang hkl Fe_3O_4 dengan fungsi temperatur 80°C	32
Tabel 4.6 Fraksi volume Fe_3O_4 setelah sintesis	33
Tabel 4.7 Ukuran sampel hasil sintesis berdasarkan metode <i>Debye-Scherrer</i> ..	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur kristal Fe_3O_4	12
Gambar 2.2 Gelombang Suara	13
Gambar 2.3 Proses Terjadinya Kavitasi	16
Gambar 2.4 Kristal Tunggal Dan Polikristal.....	17
Gambar 2.5 Unit Sel Dan Kisi Kristal	18
Gambar 3.1 Diagram alir desain penelitian.....	20
Gambar 3.2 Diagram alir tahapan penelitian.....	23
Gambar 4.1 Hasil uji XRD pasir besi Pantai Congot sebelum sintesis.....	27
Gambar 4.2 Serbuk <i>magnetite</i> hasil sintesis	28
Gambar 4.3 Hasil uji XRD nanopartikel Fe_3O_4 dengan fungsi Temperatur 30°C	29
Gambar 4.4 Hasil uji XRD nanopartikel Fe_3O_4 dengan fungsi Temperatur 50°C	30
Gambar 4.5 Hasil uji XRD nanopartikel Fe_3O_4 dengan fungsi Temperatur 80°C	31
Gambar 4.6 Pola XRD Standar Fe_3O_4 (JCPDS Card No. 19-629).....	32
Gambar 4.7 Hasil SEM <i>magnetite</i>	33

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Rasio Larutan	43
Lampiran 2 Persen fraksi volume hasil xrd sampel Fe_3O_4	44
Lampiran 3 Perhitungan ukuran partikel dengan metode <i>Debye-Scherrer</i>	46
Lampiran 4 Perhitungan bidang hkl	49
Lampiran 5 Dokumentasi Proses Penelitian	56

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Magnetite (Fe_3O_4) merupakan salah satu bentuk oksida besi di alam selain *maghemite* ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan *hematite* ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$). *Magnetite* dikenal sebagai oksida besi hitam, yang merupakan oksida logam yang paling kuat sifat magnetisnya (Teja dan Koh 2008). Beberapa tahun terakhir *magnetite* (Fe_3O_4) menjadi bahan kajian yang menarik perhatian para ahli karena peluang aplikasinya yang luas, terutama dalam bidang industri. Yang menarik dalam mengembangkan nanoteknologi adalah karena sifat-sifat material yang meliputi sifat fisis, kimiawi, maupun biologi berubah ketika dimensi material masuk ke dalam skala nanometer. Dan yang lebih menarik lagi adalah sifat-sifat tersebut bergantung pada ukuran, bentuk, kemurnian, permukaan, maupun topologi material. Bahan nanopartikel mempunyai ukuran yang bisa dikontrol dalam pembentukannya dari ukuran 1 nanometer sampai 10 nanometer. Karena ukuran yang kecil dibandingkan dengan sel (10-100 μm), virus (20-450 nm), protein (5-50 nm) atau gen (2 nm lebar dan 10-100 nm panjang). Hal tersebut berarti bahan *magnetite* nanopartikel dapat berinteraksi dengan satuan biologi.

Adapun standarisasi ukuran nanopartikel yang diharapkan adalah antara 20-50 nm, partikel yang berukuran lebih kecil dari 20 nm akan cenderung kehilangan sifat magnetisnya sedangkan yang berukuran lebih besar dari 50

nm akan cenderung mengendap karena pengaruh gaya gravitasi. Selain itu, diharapkan bahwa produk nanopartikel magnetit yang dihasilkan memiliki sifat monodispersi dan tak teraglomerasi. Sifat monodispersi dibutuhkan untuk kemudahan aplikasinya, sedangkan sifat tak teraglomerasi dibutuhkan agar diperoleh domain tunggal dari perilaku partikel- partikel tersebut.

Sintesis nanopartikel *magnetite* telah dikembangkan dengan berbagai metode, baik konvensional (seperti kopresipitasi), maupun inovatif (misalnya sol-gel, spray drying, hidrotermal, elektrokimia, dan sonokimia) dengan tujuan mendapatkan metode sintesis yang efektif dan efisien. Salah satu metode sederhana yang efektif dan efisien yang telah dikembangkan adalah metode sonokimia. Prinsip metode sonokimia adalah memanfaatkan gelombang ultrasonik dengan frekuensi sangat tinggi yang diradiasikan kedalam larutan. Ketika suatu larutan diradiasi dengan gelombang ultrasonik, maka dengan larutan tersebut terjadi tumbukan antarpartikel penyusun larutan yang bertekanan tinggi. Ketika antarpartikel penyusun kecil ini saling bertumbukan, maka suhu lokal bisa mencapai 5000 K dengan laju pendingin 1011 K/s (suslick, 1999). Selain metodenya lebih mudah dan lajur reaksinya lebih cepat, metode sonokimia juga memiliki kelebihan dapat memecah agregat kristal berukuran besar menjadi agregat Kristal berukuran kecil hingga dapat berskala nano. Metode ini memanfaatkan efek ultrasonik untuk mendapatkan aktivasi reaksi kimia dalam penelitian ini akan dilakukan sintesis nanopartikel (Fe_3O_4) melalui metode sonokimia yang relatif murah dan sederhana.

Penggunaan gelombang ultrasonik (sonikasi) dalam pembentukan materi berukuran nano sangatlah efektif. Gelombang ultrasonik banyak diterapkan pada berbagai bidang antara lain dalam instrumentasi, kesehatan dan sebagainya. Salah satu yang terpenting dari aplikasi gelombang ultrasonik adalah pemanfaatannya dalam menimbulkan efek kavitasi akustik (Nakahira, 2007). Ketika gelombang ultrasonik menjalar pada fluida, terjadi siklus rapatan dan regangan. Tekanan negatif yang terjadi ketika regangan menyebabkan molekul dalam fluida tertarik dan terbentuk kehampaan, kemudian membentuk gelembung yang akan menyerap energi dari gelombang suara sehingga dapat memuai. Selama osilasi, sejumlah energi berdifusi masuk atau keluar gelembung. Energi masuk terjadi ketika regangan dan keluar ketika rapatan, di mana energi yang keluar lebih kecil daripada energi yang masuk, sehingga gelembung memuai sedikit demi sedikit selama regangan kemudian menyusut selama rapatan. Ukuran kritis gelembung ini disebut ukuran resonan yang tergantung pada fluida dan frekuensi suara.

Dalam kondisi ini, gelembung tidak dapat lagi menyerap energi secara efisien. Tanpa energi input, gelembung tidak dapat mempertahankan dirinya, fluida di sekitarnya akan menekannya dan gelembung akan mengalami ledakan hebat, yang menghasilkan tekanan sangat besar hingga dianalogkan dengan tekanan di dasar lautan dan suhu yang sangat tinggi dianalogkan dengan suhu pada permukaan matahari. Gelembung inilah yang disebut sebagai gelembung kavitasi. Fenomena kavitasi ini terjadi pada satu titik dalam fluida. Tekanan dalam kavitasi diubah menjadi panas dengan sangat

cepat, sedangkan fluida di sekitar kavitas memiliki suhu yang jauh lebih rendah. Ketika panas dilepaskan saat kavitas pecah, fluida di sekitarnya akan dengan sangat cepat mendingin dalam waktu kurang dari mikrosekon. Pemanasan dan pendinginan dalam waktu yang singkat ini memiliki kecepatan perubahan suhu 10^9 C/s. Aliran turbulen dan gelombang kejut akibat kavitas menyebabkan terjadinya tumbukan antar partikel dan pemanasan lokal pada titik tumbukan (Suslick, 1994).

Dalam penelitian sebelumnya telah dilakukan upaya sintesis nanopartikel dengan menggunakan metode sonokimia yang menghasilkan partikel yang berukuran antara 100nm-500nm dengan menggunakan temperatur antara 100°C - 1000°C dan menghasilkan ukuran partikel antara 10nm-50nm dengan variasi temperatur antara 10°C - 100°C . Dari penelitian tersebut, dilakukan upaya untuk mendapatkan ukuran partikel yang kecil dengan ultrasonik dengan variasi temperatur.

Dalam penelitian ini, Dengan menggunakan variabel tetap dari penelitian sebelumnya yang menunjukkan hasil yang paling optimal dan didukung dengan penggunaan ultrasonik diharapkan nanopartikel dapat berukuran standar. Sintesis nanopartikel ini dilakukan dengan proses sonikasi dengan ultrasonik. Pengaruh fungsi temperatur terhadap ukuran dan struktur Kristal akan dipelajari. Selanjutnya nanopartikel akan dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD) untuk identifikasi fasa sampel, *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengetahui morfologi dan distribusi ukuran sampel.

1.2 Rumusan masalah

Adapun permasalahan yang dihadapi dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana mensintesis pasir alam agar diperoleh nanopartikel *magnetite* (Fe_3O_4) sebagai fungsi temperatur dengan metode sonokimia?
2. Bagaimana bentuk struktur Kristal nanopartikel *magnetite* (Fe_3O_4) dari hasil sintesis sebagai fungsi temperatur?

1.3 Tujuan penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mensintesis nanopartikel *magnetite* (Fe_3O_4) dari pasir besi alam dengan variasi fungsi temperatur.
2. Mengetahui bentuk struktur Kristal nanopartikel *magnetite* (Fe_3O_4) dari hasil sintesis sebagai fungsi temperatur.

1.4 Batasan penelitian

Untuk mencapai perencanaan yang diinginkan maka batasan penelitian yang ditentukan sebagai berikut:

1. Sampel yang digunakan adalah menggunakan pasir alam yang berasal dari pantai congot kabupaten kulonprogo.
2. Sintesis nanopartikel *magnetite* (Fe_3O_4) menggunakan metode sonokimia dengan menggunakan pelarut HCl dan NaOH.
3. Sintesis dilakukan dengan menggunakan fungsi temperatur 30°C , 50°C , dan 80°C .

4. Sintesis dilakukan dengan menggunakan Frekuensi 20KHz.
5. Karakterisasi struktur dilihat dari hasil uji XRD dan hasil uji SEM.

1.5 Manfaat penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai masukan data untuk meningkatkan fungsi dan kegunaan nanopartikel Fe₃O₄ sebagai bahan industri.
2. Menciptakan aplikasi-aplikasi baru yang berbasis industri nanopartikel Fe₃O₄ melalui proses sonokimia.
3. Mempelajari efek parameter ukuran menggunakan fungsi temperatur dengan menggunakan metode sonokimia.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil karakterisasi dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Penelitian ini menghasilkan serbuk nanopartikel *magnetite* (Fe_3O_4) yang disintesis dengan metode sonokimia dengan fungsi temperatur dan memiliki ukuran partikel sebesar $(22,62 \pm 1,59)$ nm pada temperatur 30°C , $(24,30 \pm 1,20)$ nm pada temperatur 50°C , $(20,60 \pm 0,60)$ nm pada temperatur 80°C .
2. Struktur Kristal dari *magnetite* (Fe_3O_4) adalah kubik pusat muka (face centered cubic). Fungsi temperatur yang digunakan tidak berpengaruh terhadap struktur Kristal *magnetite* (Fe_3O_4), tetapi muncul peak baru yang diduga itu magnetite lemah yang berbentuk ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$).

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan sintesis dengan menggunakan metode sonokimia dengan temperatur diatas 100°C supaya tidak terdapat aglomerasi pada sampel.
2. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan optimalisasi parameter sintesis dengan menggunakan variasi kecepatan pengadukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi,S.2006. *Analisis Fasa Dan Struktur Mikro Paduan Sistem Mg-Ni Dan Mg-Al Untuk Aplikasi Hydrogen Storage*. Badan Teknologi Nuklir Nasional : Tangerang.
- Arisandi, Dhesi Mia. 2007. *Pengaruh Pemanasan dan Jenis Surfaktan pada Sifat Magnetik Ferrofluida Berbahan Dasar Pasir Besi*.TA : ITS Surabaya
- Ariyandi, Nono. 2006. *Pembuatan Nanosfer Berbasis Biodegradable Polilaktat Dengan Metode Sonifikasi*. Skripsi Institut Pertanian Bogor : Bogor
- B.D Cullity.2001. *Element Of X-Ray Diffraction 3rd Edition*. Addition Wesley Publishing Company Inc: London
- Brennen, C.E. 1995. *Cavitation And Bubble Dynamics*. California Institute Of Technology. Oxford University Press : New York.
- Callister, William, D, Jr.2007. *Material Science And Engineering An Introduction 7rd Edition*. John Willey And Son, Inc : Salt Lake City,Utah
- Cullity, B. D. 1972. *Introduction to Magnetic Materials*. Addison-Wesley Series in Metalurgi and Materials : University of Noter Dame.
- Fatih Inayahtur Rahma,dkk (2010). *Penggunaan sonokimia untuk pengukuran dielektrisitas senyawa nanokristal BiMnO₃ dengan variasi suhu Annealing*. Malang: Program Kreativitas Mahasiswa-Gagasan Tertulis (PKM-GT).
- Fauziatul Fajaroh, dkk. 2009. *Sintesis Nanopartikel Magnetite dengan Metode Elektrokimia Sederhana*.Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi Edisi Khusus Agustus 2009.
- Gabriel, B.L. 1992. *SEM : A User's Manual For Materials Science*. American Society For Metals: USA
- Gareth, J.P. 1995 *Ultrasonically Enhanced Polymer Synthesis*. Elsevier Ultrasonic Chemistry.
- Gerald ensang timudda,dkk (2010). *Sintesis nanopartikel nanocrystallin Tio₂ untuk aplikasi sel surya menggunakan metode sonokimia*. jakarta: pusat penelitian fisika, lembaga ilmu pengetahuan Indonesia, kompleks puspipetek serpong.

- Javier A. Lopez et all, (2010). *Synthesis And Characterization Of Fe₃O₄ Magnetic Nanofluid*. Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales **vol.30 : 60-65**
- Joint Committee On Powder Diffraction Standard.1967.Powder Diffraction File.USA
- Mansilla, Vasquez M., Zysler, R.D., Arciprete, C., Dimitrijewits, M. (2001). *Annealing Effects on Structural and Magnetic Properties of α -Fe₂O₃ Nanoparticles*. *Journal of Magnetism and Magnetic Material* 226-230.
- Prof. K. S. Suslick, Dr. J. H. Bang School (2010.) *of Chemical Sciences University of Illinois at Urbana-Champaign 600 South Mathews Avenue, Urbana, Illinois 61801 (USA)*.
- Sudaryanto,dkk (2007). *Pembuatan nanopartikel magnetic berlapis polimer biodegradable dengan metode sonokimia*. Tangerang: pusat teknologi bahan industry nuklir(PTBIN) batan, kawasan puspitek serpong.
- Sari hasnah dewi,dkk (2010). *Sintesis dan karakterisasi nanopartikel Fe₃O₄ magnetik untuk adsorpsi kromium heksavalen*. Tangerang: pusat teknologi bahan industri nuklir (PTBIN)-batan.
- Sholihah, Lia Kurnia. 2010. *Sintesis dan Karakteristik Partikel Nano Fe₃O₄ yang berasal dari pasir besi dan Fe₃O₄ Bahan Komersial (Aldrich)*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Fisika Fakultas MIPA ITS.
- Suslick,S.K. 1994. *The Chemistry Of Ultrasound. The Yearbook Of Science And The Future Enclyclopedia Britannicxa*, Page 138-155.
- Suslick, S.K,M.M. Fang T. Hyeon, M.M. Medleleni. 1999. *Application Of Sonochemistry To Material Synthesis. Sonochemistry And Sonoluminescence*, Kluwar Publisher : Netherland. Page 291-320.
- Sofyan, Bondan. T. 2007. *Crystallography, Lecture Notes. Department Of Metallurgy And Materials Engineering, Faculty Of Engineering, University Of Indonesia : Depok*
- Tippler, P.A. 1990. *Fisika Untuk Sains*, Erlangga :Jakarta.
- Timuda GE, dkk (2009). *Pengaruh waktu pemaparan gelombang ultrasonik terhadap komposisi fase,ukuran dan parameter kisi Kristal dari nanopartikel TiO₂ yang disintesis menggunakan metode sonokimia*. Prosiding seminar nasional sains 2009 institut pertanian bogor.
- Taufiq, Ahmad. 2008. *Sintesis Partikel Nano Fe₃-xMnxO₄ Berbasis Pasir Besi dan*

Karakterisasi Struktur serta Kemagnetannya. Indonesia: Instsitut Teknologi Sepuluh November (ITS).

Yulianti, Evy. 2008. *Enkapsulinasi Nanopartikel Magnetite Fe₃O₄ Menggunakan Polimer Poli Asam Laktat Dengan Ultrasonic Probe.* Skripsi, Universitas Indonesia: Depok

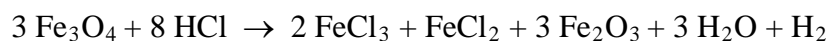


Lampiran 1

PERHITUNGAN RASIO LARUTAN

1. Menentukan perbandingan sampel dengan HCl 12 M

Persamaan reaksi



- M_R masing-masing senyawa

$$M_R \text{Fe}_3\text{O}_4 = (56 \times 3) + (16 \times 4) = 232 \text{ gr/mol}$$

$$M_R \text{HCl} = (1 \times 1) + (35,5 \times 1) = 36,5 \text{ gr/mol}$$

- Massa masing-masing senyawa

$$\text{gr Fe}_3\text{O}_4 = \text{mol} \times M_R = 3 \times 232 = 696 \text{ gr}$$

$$\text{gr HCl} = \text{mol} \times M_R = 8 \times 36,5 = 292 \text{ gr}$$

- Perbandingan (rasio)

$$\text{Fe}_3\text{O}_4 : \text{HCl} = 696 \text{ g} : 292 \text{ g} = 1 \text{ g} : 0,5 \text{ g}$$

- Volume HCl 12 M, 0,5 kg

$$\text{Mol} = \frac{\text{gr}}{\text{mr}} = \frac{0,5 \text{ gr}}{36,5 \text{ gr/mol}} = 0,014 \text{ mol}$$

$$V = \frac{\text{mol}}{M} = \frac{0,014 \text{ mol}}{12} = 0,001 \text{ Liter} = 1 \text{ ml}$$

Jadi untuk 1 gr sampel dibutuhkan 1 ml HCl

2. Menentukan perbandingan garam besi dengan NaOH 3,5 M

Persamaan reaksi :



- M_R masing-masing senyawa

$$M_R \text{FeCl}_3 = (56 \times 1) + (35,5 \times 3) = 56 + 106,5 = 162,5 \text{ gr/mol}$$

$$M_R \text{FeCl}_2 = (56 \times 1) + (35,5 \times 2) = 56 + 71 = 127 \text{ gr/mol}$$

$$M_R \text{H}_2\text{O} = (1 \times 2) + (16 \times 1) = 2 + 16 = 18 \text{ gr/mol}$$

$$M_R \text{NaOH} = (30 \times 1) + (16 \times 1) + (1 \times 1) = 30 + 16 + 1 = 47 \text{ gr/mol}$$

- M_R masing-masing senyawa

$$\text{gr FeCl}_3 = \text{mol} \times M_R = 2 \times 162,5 = 325 \text{ gr}$$

$$\text{gr FeCl}_2 = \text{mol} \times M_R = 1 \times 127 = 127 \text{ gr}$$

$$\text{gr H}_2\text{O} = \text{mol} \times M_R = 1 \times 18 = 18 \text{ gr}$$

$$470 \text{ gr}$$

$$\text{gr NaOH} = \text{mol} \times M_R = 8 \times 47 = 376 \text{ gr}$$

- Perbandingan (rasio)

$$\text{Garam besi} : \text{NaOH} = 470 \text{ gr} : 376 \text{ gr} = 1 \text{ gr} : 0,8 \text{ gr}$$

- Volume NaOH 3,5 M 0,8 gr

$$\text{Mol} = \frac{\text{gr}}{\text{mr}} = \frac{0,8 \text{ gr}}{47 \text{ gr/mol}} = 0,02 \text{ mol}$$

$$V = \frac{\text{mol}}{M} = \frac{0,02 \text{ mol}}{3,5} = 0,005 \text{ Liter} = 5 \text{ ml}$$

Jadi untuk 1 gr sampel garam besi dibutuhkan 5 ml NaOH.

Lampiran 2

% FRAKSI KEMURNIAN HASIL XRD SAMPEL Fe₃O₄

1. Pada temperatur 30° C

d(Å)	I/II	2θ(deg)	Intensity(Counts)
4.85985	19	18.2400	30
2.95061	45	30.2665	71
2.52002	100	35.5972	159
2.41090	13	37.2662	21
2.09257	25	43.1985	39
1.71786	9	53.2830	14
1.62827	11	56.4685	17
1.47982	38	62.7366	60
1.42032	9	65.6866	14
1.33091	17	70.7291	27
1.28053	18	73.9616	28
1.27370	13	74.4250	20
1.21200	8	78.9230	13
Intensitas Fe ₃ O ₄			513

Intensitas fasa yang terdeteksi = 2739 counts

$$\% \text{ Fraksi kemurnian Fe}_3\text{O}_4 = \frac{513}{2739} \times 100\% = 19\%$$

2. Pada temperatur 50°C

d(Å)	I/II	2θ(deg)	Intensity(Counts)
4.86440	14	18.2228	37
2.97270	26	30.0363	67
2.53277	100	35.4120	258
2.40110	4	37.4240	11
2.09980	17	43.0422	44
1.71200	13	53.4800	27
1.61676	24	56.9070	62
1.48422	49	62.5295	126
1.41979	10	65.7140	26
1.32824	7	70.8930	17
1.28915	10	73.3860	27
1.26824	6	74.8000	16
1.21317	17	78.8320	43
Intensitas Fe ₃ O ₄			761

Intensitas fasa yang terdeteksi = 2739 counts

$$\% \text{ Fraksi kemurnian Fe}_3\text{O}_4 = \frac{761}{3560} \times 100\% = 21\%$$

3. Pada temperatur 80°C

d(Å)	I/II	2θ(deg)	Intensity(Counts)
4.84581	14	18.2933	45
2.95446	28	30.2261	91
2.52346	100	35.5470	327
2.41379	7	37.2200	23
2.09396	17	43.1683	57
1.70927	15	53.5720	50
1.62217	8	56.7000	27
1.48112	39	62.6753	129
1.42198	4	65.6000	13
1.33188	7	70.6700	22
1.28337	9	73.7710	28
1.27579	9	74.2825	30
1.21313	5	78.8350	17
Intensitas Fe ₃ O ₄			859

Intensitas fasa yang terdeteksi = 3770 counts

$$\% \text{ Fraksi kemurnian Fe}_3\text{O}_4 = \frac{859}{3770} \times 100\% = 23\%$$

Lampiran 3

PERHITUNGAN UKURAN PARTIKEL DENGAN DEBYE-SCHERRER

Diketahui : $\lambda \text{ Cu} = 1.54056 \text{ \AA} = 0.154056 \text{ nm}$

1 rad = 57.3 deg

Metode Debye- Scherrer $D = 0.9\lambda/L \cos\theta$

1. Sampel *magnetite* pada temperatur 30° C

2 theta(deg)	Theta(deg)	FWHM(rad)	Intensity count
35.5972	17.7986	0.41270	159
30.2665	15.13325	0.32300	71
62.7366	31.3683	0.42670	60

$$D_1 = \frac{(0,9)(0,15406)}{0,41270 \text{ rad} \cdot \cos 17,7986} = \frac{0,138654}{(0,00720)(0,95)} = \frac{0,138654}{0,00684} = 20,27 \text{ nm}$$

$$D_2 = \frac{(0,9)(0,15406)}{0,32300 \text{ rad} \cdot \cos 15,13325} = \frac{0,138654}{(0,00563)(0,96)} = \frac{0,138654}{0,00540} = 25,67 \text{ nm}$$

$$D_3 = \frac{(0,9)(0,15406)}{0,42670 \text{ rad} \cdot \cos 31,3683} = \frac{0,138654}{(0,00744)(0,85)} = \frac{0,138654}{0,00632} = 21,93 \text{ nm}$$

$$D_{\text{rata-rata}} = \frac{20,27 + 25,67 + 21,93}{3} = \frac{67,87}{3} = 22,62 \text{ nm}$$

$$AD = \sqrt{\frac{(20,27 - 22,62)^2 + (25,67 - 22,62)^2 + (21,93 - 22,62)^2}{3(3 - 1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{5,52 + 9,30 + 0,47}{6}}$$

$$= 1,59 \text{ nm}$$

$$D_{\text{rata-rata}} \pm AD = 22,62 \pm 1,59 \text{ nm}$$

2. Sampel *magnetite* pada temperatur 50° C

2 theta(deg)	Theta(deg)	FWHM(rad)	Intensity count
35.4120	17.7060	0.35960	258
62.5295	31.264	0.35690	126
30.0363	15.0180	0.36730	67

$$D_1 = \frac{(0,9)(0,15406)}{0,35960 \text{ rad} \cdot \cos 17,706} = \frac{0,138654}{(0,00627)(0,95)} = \frac{0,138654}{0,0059} = 23,50 \text{ nm}$$

$$D_2 = \frac{(0,9)(0,15406)}{0,35690 \text{ rad} \cdot \cos 31,264} = \frac{0,138654}{(0,00622)(0,85)} = \frac{0,138654}{0,0052} = 26,67 \text{ nm}$$

$$D_3 = \frac{(0,9)(0,15406)}{0,36730 \text{ rad} \cdot \cos 15,018} = \frac{0,138654}{(0,00641)(0,96)} = \frac{0,138654}{0,0061} = 22,73 \text{ nm}$$

$$D_{\text{rata-rata}} = \frac{23,50 + 26,67 + 22,73}{3} = \frac{72,9}{3} = 24,3 \text{ nm}$$

$$AD = \sqrt{\frac{(23,50 - 24,30)^2 + (26,67 - 24,30)^2 + (22,73 - 24,30)^2}{3(3 - 1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,64 + 5,61 + 2,46}{6}}$$

$$= 1,20 \text{ nm}$$

$$D_{\text{rata-rata}} \pm AD = 24,30 \pm 1,20 \text{ nm}$$

3. Sampel *magnetite* pada temperatur 80° C

2 theta(deg)	Theta(deg)	FWHM(rad)	Intensity count
35.5470	17.7735	0.39400	327
62.6753	31.3376	0.48210	129
30.2261	15.1130	0.39220	91

$$D_1 = \frac{(0,9)(0,15406)}{0,39400 \text{ rad} \cdot \cos 17,7735} = \frac{0,138654}{(0,00687)(0,95)} = \frac{0,138654}{0,00652} = 21,26 \text{ nm}$$

$$D_2 = \frac{(0,9)(0,15406)}{0,48210 \text{ rad} \cdot \cos 31,3376} = \frac{0,138654}{(0,00841)(0,85)} = \frac{0,138654}{0,00714} = 19,41 \text{ nm}$$

$$D_3 = \frac{(0,9)(0,15406)}{0,39220 \text{ rad} \cdot \cos 15,1130} = \frac{0,138654}{(0,00684)(0,96)} = \frac{0,138654}{0,00656} = 21,13 \text{ nm}$$

$$D_{\text{rata-rata}} = \frac{21,66 + 19,52 + 21,33}{3} = \frac{62,51}{3} = 20,60 \text{ nm}$$

$$AD = \sqrt{\frac{(21,26 - 20,60)^2 + (19,41 - 20,60)^2 + (21,13 - 20,60)^2}{3(3 - 1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,43 + 1,41 + 0,28}{6}}$$

$$= 0,60 \text{ nm}$$

$$D_{\text{rata-rata}} \pm AD = 20,60 \pm 0,60 \text{ nm}$$

Lampiran 4

PERHITUNGAN INDEKS MILLER

Diketahui : $a = 8.39 \text{ \AA} = 0.839 \text{ nm}$
 $\lambda = 1.54056 \text{ \AA} = 0.154056 \text{ nm}$

$$\alpha = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

Dengan : a = Parameter kisi (nm)
 λ Cu = panjang gelombang (nm)
 h, k, l = *indeks miller*

1. Fungsi temperatur 30° C

2θ	$h^2+k^2+l^2$	h	k	l
35.5972	11	3	1	1
30.2665	32	4	4	0
62.7366	8	2	2	0
43.1985	16	4	0	0
56.4685	27	5	1	1

$$\alpha = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \sin 17,706} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2,03041} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{0,60826} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = 0,25327 \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$h^2 + k^2 + l^2 = \frac{0,839}{0,25327}$$

$$h^2 + k^2 + l^2 = (3,31267)^2$$

$$h + k + l = 11$$

$$h + k + l = 311$$

$$\bullet \alpha = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \sin 31,26475} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2,05189} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{1,03798} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = 0,14841 \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$h^2 + k^2 + l^2 = \frac{0,839}{0,14841}$$

$$h + k + l = (5,65325)^2$$

$$h + k + l = 32$$

$$h + k + l = 440$$

$$\bullet \quad a = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \sin 15,01815} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \cdot 0,25011} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{0,51825} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = 0,29726 \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$h^2 + k^2 + l^2 = \frac{0,839}{0,29726}$$

$$h + k + l = (2,82244)^2$$

$$h + k + l = 8$$

$$h + k + l = 220$$

$$\bullet \quad a = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \sin 21,5992} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \cdot 0,3681} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{0,7362} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = 0,20925 \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$h^2 + k^2 + l^2 = \frac{0,839}{0,20925}$$

$$h + k + l = (4,00955)^2$$

$$h + k + l = 16,0765$$

$$h + k + l = 400$$

$$\bullet \quad \alpha = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \sin 28,2342} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \cdot 0,4730} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{0,9461} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = 0,16283 \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$h^2 + k^2 + l^2 = \frac{0,839}{0,16283}$$

$$h + k + l = (5,15261)^2$$

$$h + k + l = 27$$

2. Fungsi temperatur 50° C

2 θ	h ² +k ² +l ²	h	k	l
35.4120	11	3	1	1
62.5295	32	4	4	0
30.0363	8	2	2	0
43.0422	16	4	0	0
56.9070	27	5	1	1

$$\alpha = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \sin 17,706} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \cdot 0,3041} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{0,60826} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = 0,25327 \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$h^2 + k^2 + l^2 = \frac{0,839}{0,25327}$$

$$h^2 + k^2 + l^2 = (3,31267)^2$$

$$h + k + l = 11$$

$$h + k + l = 311$$

$$a = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \sin 31,26475} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \cdot 0,5189} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{1,03798} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = 0,14841 \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$h^2 + k^2 + l^2 = \frac{0,839}{0,14841}$$

$$h + k + l = (5,65325)^2$$

$$h + k + l = 32$$

$$h + k + l = 440$$

$$a = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \sin 15,01815} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \cdot 0,25011} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{0,51825} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = 0,29726 \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$h^2 + k^2 + l^2 = \frac{0,839}{0,29726}$$

$$h + k + l = (2,82244)^2$$

$$h + k + l = 8$$

$$h + k + l = 220$$

$$a = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \sin 21,3211} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \cdot 0,3668} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{0,7336} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = 0,21 \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$h^2 + k^2 + l^2 = \frac{0,839}{0,21}$$

$$h + k + l = (3,9952)^2$$

$$h + k + l = 15,961$$

$$h + k + l = 16$$

$$hkl = 400$$

$$\alpha = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \sin 28,4535} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \cdot 0,4764} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{0,9528} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = 0,16168 \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$h^2 + k^2 + l^2 = \frac{0,839}{0,16168}$$

$$h + k + l = (5,1892)^2$$

$$h + k + l = 26,9284$$

$$h + k + l = 27$$

$$hkl = 511$$

3. Fungsi temperatur 80° C

2θ	$h^2+k^2+l^2$	h	k	l
35.5470	11	3	1	1
62.6753	32	4	4	0
30.2261	8	2	2	0
43.1683	16	4	0	0
56.7000	27	3	1	1

$$\bullet \alpha = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \sin 17,7735} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \cdot 0,30525} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{0,61050} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = 0,25234 \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$h^2 + k^2 + l^2 = \frac{0,839}{0,25234}$$

$$h + k + l = (3,32487)^2$$

$$h + k + l = 11,0548$$

$$h + k + l = 311$$

- $$a = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \sin 31,33765} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \cdot 0,52008} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{1,04016} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = 0,14810 \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$h^2 + k^2 + l^2 = \frac{0,839}{0,14810}$$

$$h + k + l = (5,6650)^2$$

$$h + k + l = 32$$

$$hkl = 440$$

- $$a = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \sin 15,11305} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \cdot 0,26072} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{0,52144} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = 0,29544 \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$h^2 + k^2 + l^2 = \frac{0,839}{0,29544}$$

$$h + k + l = (2,83983)^2$$

$$h + k + l = 8$$

$$hkl = 220$$

- $$\alpha = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \sin 21,58415} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \cdot 0,36786} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{0,73573} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = 0,20939 \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$h^2 + k^2 + l^2 = \frac{0,839}{0,20939}$$

$$h + k + l = (4,0068)^2$$

$$h + k + l = 16$$

$$hkl = 400$$

- $$\alpha = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \sin 28,35} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{2 \cdot 0,4748} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = \frac{0,154056}{0,9497} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$0,839 = 0,16221 \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$h^2 + k^2 + l^2 = \frac{0,839}{0,16221}$$

$$h + k + l = (5,17230)^2$$

$$h + k + l = 27$$

$$hkl = 511$$

Lampiran 5

Dokumentasi penelitian

