

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI MAGNET
NANOKOMPOSIT $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ DAN MAGNET
NANOHIBRIDA $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$**

Skripsi

Digunakan untuk melengkapi syarat-syarat
guna memperoleh gelar Sarjana Sains



Diajukan oleh:

Cynthia Sagita

3225111288

PROGRAM STUDI FISIKA

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2015



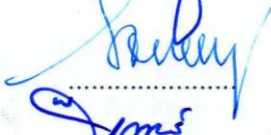
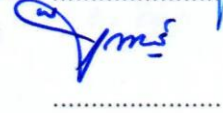

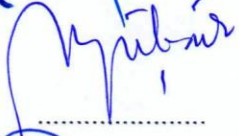



PERSETUJUAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

Sintesis dan Karakterisasi Magnet Nanokomposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ dan Magnet Nanohibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$

Nama : Cynthia Sagita

No. Reg. : 3225111288

Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Penanggung Jawab		
Dekan : Prof. Dr. Suyono, M.Si NIP. 19671218 199303 1 005		29/2015 /7
Wakil Penanggung Jawab		
Pembantu Dekan I : Dr. Muktiningsih, M.Si NIP. 19640511 198903 2 001		28/2015 /7
Ketua : Dr. Sunaryo, M.Si NIP. 19550303 198703 1 002		23/2015 /7
Sekretaris : Dr. Widyaningrum Indrasari, M.Si NIP. 19770510 200604 2 001		13/2015 /7
Anggota		
Pembimbing I : Dr. Erfan Handoko, M.Si NIP. 19730201 200312 1 002		22/2015 /7
Pembimbing II : Dr. Mutia Delina, M.Si NIP. 19801119 200801 2 007		27/2015 /7
Penguji Ahli : Riser Fahdiran, M.Si NIP. 19830717 200912 1 008		23/15 /7

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal 8 Juli 2015

“...Dan Kami menciptakan besi yang mempunyai kekuatan hebat dan banak manfaat bagi manusia dan agar Allah mengetahui siapa yang menolong (agama)-Nya dan Rasul-rasul-Nya walaupun (Allah) tidak dilihatnya. Sesungguhnya Allah Mahakuat Mahaperkasa”.

(QS. Al-Hadid: 25).

“Tidakkah telah Kami lapangkan dadamu untukmu?. Dan Kami lepaskan bebanmu dari padamu. Yang memberatkan punggungmu. Dan Kami meninggikan bagi-Mu sebutan (namamu). **Sebab sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan...**” (QS. Al-Insyirah: 1-5)

Selanjutnya saya berterima kasih kepada Allah Tuhan Yang Maha Luhur dan dengan memuji-Nya. Sehingga dapat mempersembahkan skripsi ini untuk Mama Aryati, Ayah Nasirman, Abang Yugo Andryan, Muhammad Fadry Andryan dan Betta Reflina Andolin serta orang – orang terdekat yang selalu mendoakan Saya.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya yang bertanda tangan di bawah ini, mahasiswa Jurusan Fisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta:

Nama : Cynthia Sagita

No. Reg. : 3225111288

Jurusan : Fisika

Program Studi : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang saya buat dengan judul **“Sintesis dan Karakterisasi Magnet Nanokomposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ dan Magnet Nanohibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ ”** adalah:

1. Dibuat dan diselesaikan oleh saya sendiri, yang telah saya kerjakan selama dua semester.
2. Bukan merupakan duplikat skripsi yang pernah dibuat oleh orang lain atau jiplakan karya tulis orang lain dan bukan terjemahan karya tulis orang lain.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan saya bersedia menanggung segala akibat yang timbul jika pernyataan saya ini tidak benar.

Jakarta, Juli 2015

Cynthia Sagita



KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim, Mahasuci lagi Mahaqudus Tuhan kami, Tuhan para malaikat dan ruh Mahasuci Allah, dan segala puji bagi Allah, dan tiada tuhan yang berhak disembah selain Allah, dan Allah Mahabesar. Dan tiada daya dan upaya kecuali Allah Yang Mahatinggi dan Mahaagung atas segala rahmat dan petunjuk-Nya yang telah diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan pembuatan skripsi yang berjudul **“Sintesis dan Karakterisasi Magnet Nanokomposit BaFe₁₂O₁₉/α-Fe dan Magnet Nanohibrida BaFe₁₂O₁₉/Nd₂Fe₁₄B”**. Skripsi ini disusun dengan tujuan memenuhi persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Jakarta.

Pada kesempatan kali ini Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih Penulis atas segala bantuan, bimbingan, arahan, dorongan semangat serta motivasi yang diberikan kepada Penulis. Penulis ingin menyampaikan ucapan rasa terima kasih kepada:

1. Kedua Orang tua saya, yakni Bapak Nasirman dan Ibu Aryati yang selalu membantu dalam hal baik materi non materi serta do'a yang tiada henti-hentinya demi kebaikan putrinya agar dapat meraih cita-cita yang diinginkan.
2. Dr. Erfan Handoko, M.Si selaku dosen pembimbing I atas saran dan masukan yang diberikan kepada penulis.

3. Dr. Mutia Delina, M.Si selaku dosen pembimbing II atas saran dan masukan yang diberikan kepada penulis.
4. Drs. Anggara Budi Susila, M.Si selaku ketua jurusan Fisika FMIPA, UNJ.
5. Dr. Esmar Budi, M.Si selaku ketua program studi Fisika FMIPA UNJ.
6. Drs. Andreas Handjoko Permana, M.Si selaku dosen pembimbing akademik yang telah membantu penulis selama penulis mengikuti perkuliahan
7. Bapak dan Ibu dosen fisika yang telah memberikan kuliah, ilmu, berbagi pengalaman, dan nasihat selama masa perkuliahan berlangsung.
8. Laboran dan penjaga Laboratorium Fisika Universitas Negeri Jakarta serta Laboratorium Fisika Universitas Indonesia atas kerjasamanya selama ini.
9. Tim *Magnetic Research* 14 Anggita, Desriyan, Nurul dan Tsaniya yang selalu memberikan bantuan selama penelitian.
10. Andi, Andra, Erlina, Muarief dan Ridho atas *sharing* ilmu, pengalaman, dukungan dan waktu yang diberikan.
11. Keluarga tercinta Bang Yugo, Fadry, Betta, Weni dan Makdang yang selalu memberikan dukungan moril maupun materil dan doa yang sangat berarti bagi penulis.
12. Teman-teman fisika 2010, atas segala bantuan, semangat, dan kebersamaan yang diberikan.
13. Semua pihak yang tidak dapat penulis tuliskan satu-persatu atas partisipasinya.

Penulis menyadari tulisan ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari berbagai pihak yang tentunya bersifat membangun demi kesempurnaan penulis berikutnya. Akhirnya semoga tulisan ini bermanfaat untuk banyak pihak. Semoga tulisan ini bermanfaat bagi pembacanya.

Jakarta, Juli 2015

Penulis



ABSTRAK

Cynthia Sagita. Sintesis dan Karakterisasi Magnet Nanokomposit BaFe₁₂O₁₉/α-Fe dan Magnet Nanohibrida BaFe₁₂O₁₉/Nd₂Fe₁₄B. Skripsi. Jakarta : Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, 2015.

Telah disintesis magnet nanokomposit BaFe₁₂O₁₉/α-Fe dan magnet nanohibrida BaFe₁₂O₁₉/Nd₂Fe₁₄B menggunakan metode paduan mekanik. Ukuran partikel nano yang diperoleh melalui proses milling selama 30 jam adalah 21,62 nm. Karakterisasi dengan XRD menghasilkan penurunan banyaknya puncak, hal ini menunjukkan terjadi cacat kristal pada sampel. Nilai magnetisasi saturasi, magnetisasi remanen dari magnet nanokomposit BaFe₁₂O₁₉/α-Fe adalah 0,09 T, 0,026 T serta nilai koersivitas sebesar 39,92-45,53 $\frac{kA}{m}$. Nilai magnetisasi saturasi, magnetisasi remanen dari magnet nanohibrida BaFe₁₂O₁₉/Nd₂Fe₁₄B adalah 0,027 T, 0,08 T serta nilai koersivitas sebesar 45,18-57,13 $\frac{kA}{m}$.

Kata kunci: magnet komposit, magnet hibrida, paduan mekanik, partikel nano dan XRD.

Abstract

Cynthia Sagita. Synthesis and Characterization of Nanocomposite Magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ and Nanohibrida Magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19} / \text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$. Script. Jakarta: Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, State University of Jakarta, in 2015.

Has been synthesized a nanocomposite magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ and magnet nanohibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ using mechanical alloying method. Nano particle size obtained by milling for 30 hours was 21,62 nm. Characterization by XRD resulted in decreased amount of peaks, the indicates the crystal defects occur in the sample. The value of saturation magnetization, remanent magnetization of the magnetic nanocomposite $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ was 0,09 T, 0,026 T and the coercivity value of 39,92 to 45,53 kA/m. The value of saturation magnetization, magnetic remanent magnetization nanohibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ was 0,027 T, 0,08 T and the coercivity value of 45,18 to 57,13 kA/m.

Key word: *composite magnet, hybrid magnet, mechanical alloy, nanoprticle and XRD.*



DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Abstrak	iv
Daftar Isi.....	vi
Daftar Gambar.....	viii
Daftar Tabel	x
Bab I Pendahuluan	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Pembatasan Masalah	5
1.4 Perumusan Masalah	5
1.5 Tujuan Penelitian	6
1.6 Manfaat Penelitian	6
Bab II Tinjauan Pustaka	
2.1 BaFe ₁₂ O ₁₉	7
2.2 Ferit	8
2.3 Nd ₂ Fe ₁₄ B	9
2.4 Perekat Polyvinyl Acetate	10
2.5 Magnet Komposit.....	11
2.6 Magnet Hibrida	11
2.8 Kurva Histerisis.....	11

2.9 Energi Produk Maksimum $(HB)_{maks}$	14
2.10 Metode Paduan Mekanik.....	15
2.11 HEM.....	16
2.12 Penelitian-Penelitian yang sudah dilakukan.....	16
Bab III Metodologi Penelitian	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	22
3.2 Metode Penelitian.....	22
3.3 Alat dan Bahan.....	23
3.4 Skema Penelitian.....	24
3.5 Prosedur Penelitian.....	26
Bab IV Hasil dan Pembahasan	
4.1 Hasil	30
4.2 Pembahasan.....	39
Bab V Kesimpulan dan Saran	
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran.....	44
Daftar Pustaka	45
Lampiran	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1: Struktur kristal $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$	8
Gambar 2.2: Struktur kristal $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$	10
Gambar 2.3: Kurva histerisis material feromagnetik	12
Gambar 2.4: Kurva histerisis material magnet keras dan magnet lunak.....	13
Gambar 2.5: Kurva histerisis sintesis $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ menggunakan metode MA dan CR	18
Gambar 2.6: Kurva histerisis dari sintesis serbuk nano $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan metode <i>microwave sol-gel auto combustion</i>	19
Gambar 2.7: Kurva histerisis (a) sintesis $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan CCSO menggunakan 8 dan 11 % <i>wt carbon</i> dan (b) sintering pada temperatur 950 dan 1100 °C selama 3 jam.....	20
Gambar 2.8: Kurva histerisis magnet <i>hybrid</i> $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan matriks epoksi.....	21
Gambar 3.1: Diagram alir penelitian.....	24
Gambar 4.1: Pola XRD material magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebelum dimilling selama 30 jam	31
Gambar 4.2: Grafik distribusi ukuran partikel $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebelum dimilling selama 30 jam	31
Gambar 4.3: Hasil foto SEM magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebelum dimilling selama 30 jam	32

Gambar 4.4: Pola XRD material magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ setelah dimilling selama 30 jam	35
Gambar 4.5: Hasil foto SEM magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ setelah dimilling selama 30 jam	36
Gambar 4.6: Kurva histerisis magnet komposit.....	36
Gambar 4.7: Kurva histerisis magnet hibrida	37
Gambar 4.8: Kurva histerisis magnet.....	38
Gambar 4.9: Pola XRD $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebelum dan setelah dimilling selama 30 jam	40
Gambar 4.10: Kurva histerisis $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebelum dan setelah dimilling selama 30 jam	41
Gambar 4.11: Kurva histerisis magnet komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ sebelum dan setelah dimilling selama 30 jam.....	42
Gambar 4.12: Kurva histerisis magnet magnet hibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ sebelum dan setelah dimilling selama 30 jam	43

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Beberapa sifat-sifat magnetik $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$	7
Tabel 2.2 Sifat-sifat magnetik Fe	9
Tabel 2.3 Sifat magnetik $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ dan $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$	9
Tabel 2.4 Perbedaan material magnet lunak dan magnet keras	14
Tabel 2.5 <i>Magnetic properties of single phase $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ powders (H_c and B_s measured at room temperature under $H_{max}= 15kOe$)</i>	17
Tabel 3.1 Komposisi material penyusun magnet komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ dan magnet hibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$	26
Tabel 4.1 Komposisi material komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ sebelum dan setelah dimilling selama 30 jam.	33
Tabel 4.2 Komposisi material hibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ sebelum dan setelah selama dimilling	33
Tabel 4.3 Ukuran kristal $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ setelah dimilling selama 30 jam	35
Tabel 4.4 Nilai magnetisasi magnet komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ sebelum dan setelah dimilling selama 30 jam	37
Tabel 4.5 Nilai magnetisasi magnet hibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ sebelum dan setelah dimilling selama 30 jam	38
Tabel 4.6 Nilai magnetisasi magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebelum dan setelah dimilling selama 30 jam	39



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi material magnet dan ilmu kemagnetan sudah berkembang sejak lama di kehidupan manusia. Perkembangan teknologi magnet ini dimanfaatkan untuk komponen elektronik, bahan pengolah data, peralatan medis serta peralatan di bidang pertahanan [1]. Pemanfaatan yang meluas ini mendorong dikembangkannya material magnet yang lebih baik lagi, inovatif dan memiliki daya saing. Salah satu caranya adalah dengan mengubah partikel magnet menjadi ukuran nano. Salah satu penelitian terbaru yang berfokus pada inovasi sintesis serbuk nanokristalin dilakukan oleh Martirosyan dkk. Inovasi ini dilakukan untuk meningkatkan sifat-sifat magnetik material dengan cara meningkatkan luas permukaan serbuk nano (*nanopowders*) tersebut [2].

Selain mengubah ukuran partikel menjadi nano, pengembangan lainnya adalah menggabungkan beberapa jenis magnet yang memiliki sifat berbeda. Dimana berdasarkan logam penyusunnya material magnet ini terbagi menjadi 2 macam, yaitu magnet berbasis logam oksida (*oxide*) atau yang lebih dikenal magnet ferit (*ferrite*) dan magnet berbasis logam tanah jarang (*rare earth*). Logam magnet oksida dapat dibedakan lagi menjadi logam oksida yang bersifat magnet lunak (*soft magnet*) dan logam oksida yang bersifat magnet keras (*hard magnet*). Salah satu contoh dari magnet berbasis logam oksida yang bersifat magnet lunak adalah α -Fe

magnet ini memiliki nilai magnetisasi saturasi yang tinggi [3]. Sedangkan contoh dari magnet berbasis logam oksida yang bersifat magnet keras adalah $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (Barium Heksaferit). $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ memiliki sifat kimia yang stabil dan harga yang lebih murah karena bahan dari material ini yang mudah didapatkan yaitu besi oksida. Namun demikian material ini memiliki kekurangan yaitu nilai magnetisasi yang rendah [2]. Aplikasi terbaru dari $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ adalah dikembangkan sebagai media perekaman. Dimana salah satu keunggulan dari material ini adalah struktur kristalnya yang heksagonal. Sehingga material ini sangat cocok digunakan untuk *high density recording* [4].

Ukuran partikel homogen serbuk $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ yang ideal adalah $\pm 0.1 \mu\text{m}$ [5] sampai dengan kurang dari 100 nm [2]. Partikel berukuran nanometer dapat meningkatkan nilai magnetisasi karena partikel dalam ukuran ini dapat mendekati sifat domain tunggal (*single domain*) [6]. Apabila partikel-partikel magnetik ini disatukan dengan ukuran partikel nanometer, maka akan menghasilkan sifat magnetik permanen yang kuat. Namun apabila partikel penyusunnya terlalu besar, maka secara alami magnet dari partikel tersebut akan membentuk *multidomain* yang menyebabkan medan magnetnya berlawanan dengan medan utamanya. Hal ini akan mengakibatkan menurunnya nilai magnetisasi. Penelitian sebelumnya menunjukkan nilai koersivitas dan magnetisasi saturasi untuk satu domain $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ adalah 6700 Oe dan 72 emu/g [5]. Dan penelitian lain menyebutkan untuk menghaluskan ukuran partikel dapat dilakukan proses *milling* selama 30 jam dengan satu media penggiling yaitu *ball mill* menghasilkan ukuran partikel sebesar $10 \mu\text{m}$ [7].

Selain magnet berbasis logam oksida, magnet berbasis tanah jarang juga banyak digunakan di bidang industri, salah satu contohnya adalah $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ (Neodymium Besi Boron). $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ yang disintesis menggunakan *melt spinning* (pemanasan dengan frekuensi tinggi) memiliki nilai koersivitas, medan magnet remanen dan energi produk maksimum sebesar 0.99 T , 0.87 T dan 117 kJ/m^3 [8]. Keunggulan dari material ini adalah memiliki medan anisotropi dan energi produk yang tinggi. Namun demikian material ini juga memiliki kekurangan, yaitu harga yang relatif lebih mahal jika dibandingkan dengan magnet permanen berbasis logam oksida [1].

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan sintesis magnet hibrida komposit $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan pendinginan cepat (*rapid quenching*) setelah itu di *bonded* dengan resin epoksi (*epoxy*) sebagai matriksnya [9]. Hasil dari hibrida komposit $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ mengalami peningkatan nilai magnetisasi jika dibandingkan nilai magnetisasi $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$. $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ mengalami penurunan nilai magnetisasi dibandingkan nilai magnetisasi $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$. Hal ini disebabkan karena kedua material ini saling meng-*coupling*, sehingga nilai magnetisasinya terletak diantara nilai magnetisasi $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ dan $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$.

Penelitian ini dikembangkan dengan menggunakan metode *milling* dalam penghalusan $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ selama 30 jam menggunakan *high energy milling* (HEM) dengan dua media penggiling, yaitu *ball mill* dan SiC. Dari metode *milling* ini diharapkan ukuran partikel $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dapat berubah menjadi nano. Selanjutnya,

akan disintesis magnet komposit antara material magnet keras $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dan magnet lunak $\alpha\text{-Fe}$, diharapkan tingginya nilai magnetisasi saturasi $\alpha\text{-Fe}$ sebesar 2.15 T [3] dapat meningkatkan nilai magnetisasi remanen magnet komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$. Selanjutnya adalah magnet hibrida yang diperoleh dari menggabungkan dua magnet keras yaitu antara $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dan $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$. Kajian sifat magnetik dari kedua material diharapkan dapat menutupi kekurangan dari masing-masing material. Dimana kekurangan dari magnet komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dapat ditutupi oleh kelebihan magnet $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ dan sebaliknya kekurangan magnet $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ dapat ditutupi oleh kelebihan magnet komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$. Sehingga metode *co-milling* ini diharapkan akan menghasilkan material magnet permanen yang lebih unggul dan murah. Penelitian ini meliputi proses *milling*, kompaksi dan karakteristik dengan menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Scanning Electron Microscope (SEM)*, *Particle Size Analyzer (PSA)* dan *permagraph*.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, dapat diidentifikasi masalah dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh hasil *milling* selama 30 jam menggunakan HEM terhadap ukuran butir partikel $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ yang di analisis dengan menggunakan PSA dan XRD ?
2. Bagaimana pengaruh hasil *milling* selama 30 jam menggunakan HEM terhadap struktur kristal $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ yang di analisis dengan menggunakan XRD ?

3. Bagaimana pengaruh hasil milling selama 30 jam menggunakan HEM terhadap sifat magnetik $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ yang di analisis dengan menggunakan permagraph?
4. Bagaimana pengaruh penggabungan $\alpha\text{-Fe}$ dan $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ dengan $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ terhadap sifat magnetik yang dianalisis dengan menggunakan permagraph?

1.3 Pembatasan Masalah

Untuk memudahkan peneliti, maka penelitian ini akan dibatasi pada analisis ukuran butir, mikrostruktur permukaan partikel material serta struktur kristal $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebelum dan setelah dimilling selama 30 jam dan sifat magnetik material magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ serta $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ dengan menggunakan metode paduan mekanik (*mechanical alloy*) tanpa perlakuan panas yang dilakukan pada skala laboratorium.

1.4 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis struktur material dan mengidentifikasi material dengan menggunakan XRD.
2. Menganalisis sifat magnet material dengan menggunakan permagraph.
3. Menganalisis ukuran butir partikel material dengan menggunakan PSA.
4. Menganalisis mikrostruktur partikel material dengan menggunakan SEM.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh magnet nanokomposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$.
2. Memperoleh magnet nanohibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$.
3. Mengetahui struktur kristal material magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebelum dan setelah dimilling selama 30 jam dengan menggunakan XRD.
4. Mengetahui ukuran butir partikel material magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebelum dan setelah dimilling selama 30 jam dengan menggunakan PSA.
5. Mengetahui mikrostruktur partikel material magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebelum dan setelah dimilling selama 30 jam dengan menggunakan SEM.
6. Mengetahui sifat magnetik dari magnet komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ dan magnet hibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ dengan menggunakan permagraph.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain;

1. Mengetahui pengaruh hasil *milling* selama 30 jam dengan menggunakan HEM terhadap ukuran partikel, sifat magnetik dan karakterisasi magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$.
2. Memahami pembuatan material magnet komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ dan magnet hibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ dengan menggunakan metode paduan mekanik.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 BaFe₁₂O₁₉

BaFe₁₂O₁₉ merupakan salah satu material magnet berbasis logam oksida yang bersifat magnet keras. Keunggulan yang dimilikinya antara lain memiliki sifat mekanik yang sangat kuat, tidak mudah terkorosi, stabil terhadap pengaruh medan magnet luar, harga yang relatif murah dan mudah diproduksi. Dari keunggulan tersebut menempatkan magnet BaFe₁₂O₁₉ sebagai material magnet permanen yang banyak digunakan dalam dunia industri [5]. Walaupun paling unggul magnet ini memiliki beberapa kekurangan yaitu nilai magnetisasi saturasi dan koersivitas yang rendah. Sifat-sifat magnetik BaFe₁₂O₁₉ tercantum pada tabel 2.1 berikut ini

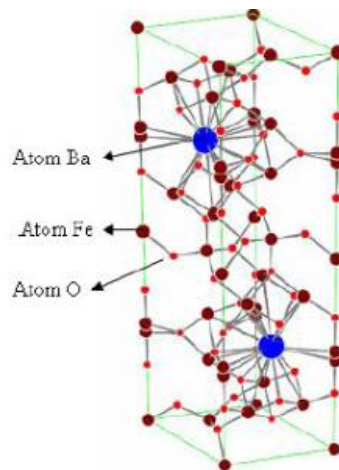
Tabel 2.1 Beberapa sifat-sifat magnetik BaFe₁₂O₁₉ [3].

Magnetisasi Saturasi (<i>T</i>)	0.2 – 0.38
Induksi Remanen (<i>kG</i>)	2.12 – 4
Koersivitas (<i>kG</i>)	1.7 – 3.2
Energi produk maksimum (<i>MGOe</i>)	0.92 -3.5
Densitas (<i>g/cm³</i>)	4.6 – 4.9

BaFe₁₂O₁₉ memiliki parameter kisi $a = b = 5.8920 \text{ \AA}$ dan $c = 23.1830 \text{ \AA}$. Nilai sudut $\alpha = \beta = 90^\circ$ dan nilai $\gamma = 120^\circ$. Setiap satu kristal Barium Heksaferit terdapat 2 molekul atom Ba, 24 atom Fe dan 38 atom O. BaFe₁₂O₁₉ terdiri dari beberapa lapisan dengan arah momen magnet berbeda. Sehingga BaFe₁₂O₁₉ adalah bahan

ferimagnet. Setiap atom Fe pada $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ memiliki momen dipol magnet sebesar

5.9 *magneton bohr*.



Gambar 2.1: Struktur kristal $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ [10].

2.2 Ferit

Ferit adalah fasa larutan padat yang memiliki struktur BCC (*Body Center Cubic*).

Dalam keadaan setimbang, Ferit dapat ditemukan dalam fase α - Ferit pada temperatur ruang atau dalam fase *delta ferrite* pada temperatur tinggi. Dimana

secara umum fase ini bersifat lunak (*soft*), ulet (*ductile*), dan magnetik hingga

temperatur T_c (temperatur currie) yaitu temperatur dimana terjadi perubahan fasa

feromagnetik menjadi paramagnetik. Ferit lunak mempunyai formula MFe_2O_4 ,

dimana $M = \text{Cu, Zn, Ni, Co, Fe, Mn, Mg}$ dengan struktur kristal seperti mineral

spinel. Sifat bahan ini mempunyai magnetisasi saturasi, permeabilitas dan

hambatan jenis yang tinggi, serta koersivitas yang rendah. Sifat-sifat dari magnetik

Ferit ditunjukkan oleh tabel 2.2 berikut ini

Tabel 2.2 Sifat-sifat magnetik Fe [3].

<i>Saturation Magnetization (T)</i>	2.15
<i>Curie Temperatur (°C)</i>	768
<i>Coercivity (kA/m)</i>	95-200
<i>Spesific Surface Area (m²/g)</i>	30-60
<i>Density (g/cm³)</i>	5.6-5.8
<i>Magnetism</i>	<i>Ferromagnetic</i>
<i>Shape</i>	<i>Needles</i>
<i>Particle Size (μm)</i>	0.05-0.3

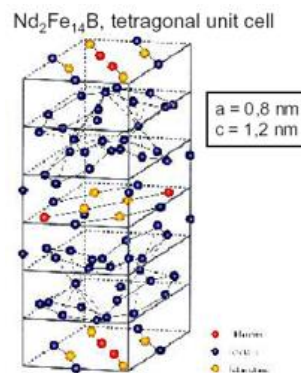
2.3 Nd₂Fe₁₄B

Nd₂Fe₁₄B adalah material magnet jenis permanen tanah jarang. Material ini terbentuk dari 2 atom Neodymium (Nd), 14 atom Besi (Fe) dan 1 atom Boron (B), sehingga rumus molekul yang terbentuk adalah Nd₂Fe₁₄B atau Neodymium Besi Boron. Nd₂Fe₁₄B memiliki karakteristik magnet permanen yang paling tinggi saat ini karena material ini memiliki nilai produk energi maksimum sampai dengan 400 kJ/m³. Karena memiliki karakteristik magnet yang tinggi, maka dalam aplikasinya magnet Nd₂Fe₁₄B memiliki dimensi dan volume yang kecil. Dalam beberapa aplikasi, magnet ini juga dapat menggantikan penggunaan magnet Samarium Cobalt, khususnya pada suhu kurang dari 80 °C [12]. Jika dibandingkan dengan BaFe₁₂O₁₉, magnet Nd₂Fe₁₄B memiliki nilai energi produk yang lebih tinggi, hal ini terlihat pada gambar 2.3.

Tabel 2.3 Sifat magnetik Nd₂Fe₁₄B dan BaFe₁₂O₁₉ [9].

Material	B_r/kG	H_{cb}/kOe	H_{cj}/kOe	$BH_{max}/MGoe$
Neodymium Besi Boron	8.2	6.0	8.7	13.1
Barium Ferrite	2.3	1.9	3.6	1.3

Keunggulan yang dimiliki oleh magnet $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ adalah energi produk dan gaya koersivitasnya yang tinggi. Namun demikian magnet ini juga memiliki kekurangan yaitu tidak dapat diaplikasikan pada suhu tinggi. Magnet $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ hanya dapat diaplikasikan pada suhu maksimum $200\text{ }^\circ\text{C}$. Selain itu magnet ini cukup mahal dan ketahanan korosinya rendah, sehingga dalam aplikasinya diperlukan perlakuan panas, seperti dilapisi dengan nikel, seng atau emas.



Gambar 2.3: Struktur kristal $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ [13].

2.4 Perekat Polyvinyl Acetate

Polyvinyl Acetate (PVAc) merupakan polimer yang mempunyai sifat kerekatan yang sangat kuat. PVAc memiliki sifat tidak berbau, tidak mudah terbakar dan lebih cepat solid. Sifat ini menyebabkan PVAc banyak digunakan pada matriks beberapa material komposit. Kelebihan dari PVAc adalah dapat merekat dalam waktu singkat, karena kemampuannya menghasilkan ikatan secara ekstrim dan cepat pada suhu kamar. Perekat ini memiliki sifat termoplastik, hal ini dapat menjaga tekanan kempa selama pembentukan ikatan sampai ikatan merekat.

2.5 Magnet Komposit

Magnet komposit adalah magnet yang terdiri dari dua bahan berbeda yang dicampur secara makroskopis. Pada umumnya magnet komposit terdiri dari dua unsur, yaitu serbuk bahan magnet dan bahan pengikat (*filler*) serbuk yang disebut matrik. Magnet komposit ini dibuat dengan pencampuran serbuk bahan magnet dengan pengikat bahan bukan magnet, seperti polimer, dengan komposisi yang diinginkan didalam alat pencampur.

2.6 Magnet Hibrida

Magnet hibrida adalah magnet yang terdiri dari dua buah magnet keras dengan karakteristik berbeda. Tujuan dari Penggabungan magnet ini adalah memperoleh material magnet baru dengan karakteristik magnetik yang lebih unggul daripada karakteristik material magnet penyusunnya. Penggabungan dua buah magnet ini dapat meningkatkan nilai intrinsik magnet. Nilai intrinsik magnet terdiri dari koersivitas, magnetisasi remanen, polarisasi total, medan anisotopi, energi produk maksimum, dan *temperatur curie*.

2.7 Kurva Histerisis

Kurva histerisis merupakan kurva yang menggambarkan proses terjadinya magnetisasi dan demagnetisasi pada material magnet. Kurva ini menjelaskan karakteristik kebergantungan magnetisasi (M) terhadap medan magnet luar (H). Hasil pengukurannya diperoleh informasi mengenai medan saturasi, remanen dan

koersivitas yang ketiganya berkaitan dengan sifat bahan dalam aplikasi medan magnetik dan ataupun medan magnet luar dengan persamaan:

$$B = \mu_o(H + M), \quad (1)$$

Dimana

B = Induksi magnet (T)

H = Medan magnet luar (A/m)

M = Magnetisasi (A/m)

μ_o = Permeabilitas ruang hampa

Karena

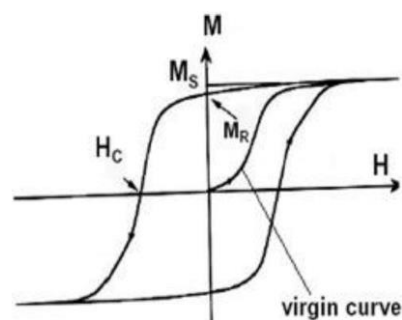
$$J = \mu_o M, \quad (2)$$

Dimana

J = Polarisasi (T)

Maka, persamaan (1) menjadi:

$$B = \mu_o H + J, \quad (3)$$

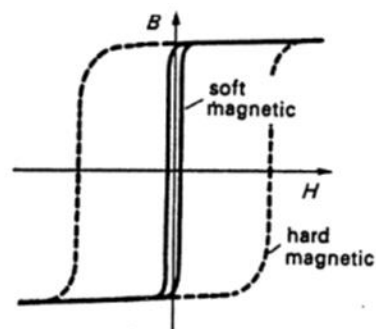


Gambar 2.3: Kurva histeresis material feromagnetik [11].

Gambar 2.3 menjelaskan terjadinya proses magnetisasi. Ketika material magnet diberi medan magnet luar, maka magnetisasinya akan meningkat hingga titik

magnetisasi saturasinya (M_s) pada titik ini hampir semua dipol-dipol atom sudah searah dan ketika medan luar ditambahkan kembali, magnetisasinya tidak akan bertambah kembali (jenuh). Ketika medan magnet luar diturunkan hingga nol, nilai magnetisasinya tidak menurun hingga nol pula, melainkan masih ada nilai magnetisasi yang tertinggal sebesar magnetisasi remanen (M_r), yaitu sisa medan magnet saat intensitas medan magnetik luar berharga nol. Untuk menghilangkan nilai magnetisasinya dibutuhkan koersivitas (H_c), yaitu ketahanan bahan magnetik untuk mengubah magnetisasinya yang di aplikasikan untuk mendemagnetisasi bahan dari keadaan termagnetisasi saturasi [3].

Koersivitas digunakan untuk membedakan magnet lunak dan magnet keras. Semakin besar gaya koersivitasnya maka semakin keras sifat magnetnya (gambar 2.4). Bahan dengan koersivitas tinggi tidak mudah hilang kemagnetannya. Untuk menghilangkan kemagnetannya diperlukan intensitas medan magnet luar yang besar. Bahan seperti itu baik untuk membuat magnet permanen.



Gambar 2.4: Kurva histerisis material magnet magnet keras dan magnet lunak [3].

Tabel 2.4 Perbedaan material magnet lunak dan magnet keras [3].

Parameter	Material Magnet Lunak	Material Magnet Keras
Gaya koersivitas	Lebih rendah ($<100A/m$)	Tinggi (80-400 kA/m)
Magnetisasi saturasi	Setinggi mungkin (0.8–2 T)	Setinggi mungkin (0.2-1.5 T)
Permeabilitas	Tinggi (10000-200000)	Tidak penting
Penyimpanan energi	Rendah, bergantung pada frekuensi	Tinggi, daerah kurva
Bentuk kurva	Ramping	Gemuk
Remanen	Tidak penting	Tinggi
Konduktivitas	Menentukan kehilangan	Penting untuk prosedur magnetisasi

2.8 Energi Produk Maksimum $(HB)_{maks}$

Energi produk maksimum dari suatu material magnetik memiliki peranan yang sangat penting, terutama penggunaan magnet terhadap keperluan industri. Energi ini menyatakan jumlah energi yang tersimpan dalam magnet persatuan volume. Nilai energi ini sangat dipengaruhi oleh nilai remanen, koersivitas dan bentuk kurva histerisis. Makin ideal bentuk kurva histerisis, maka nilai energi produk maksimumnya akan semakin tinggi.

Dari persamaan (1) maka didapatkan persamaan energi produk sebagai berikut.

$$HB = \mu_0 H^2 + JH, \quad (4)$$

Nilai maksimum dari HB dapat diperoleh dengan syarat $\left[\frac{\partial(HB)}{\partial H}\right] = 0$

Sehingga

$$H_c = -\frac{J_s}{2\mu_0}, \quad (5)$$

Persamaan (5) merupakan nilai medan arah balik yang diperlukan untuk membalik arah polarisasi J . Maka nilainya adalah

$$(HB)_{maks} = \mu_o \left[-\frac{J_s}{2\mu_o} \right]^2 + J \left[-\frac{J_s}{2\mu_o} \right]. \quad (6)$$

2.9 Metode Paduan Mekanik

Metode paduan mekanik merupakan proses pencampuran dimana campuran serbuk (logam berbeda atau *alloy*) digerus atau di *milling* bersamaan. Paduan mekanik ini merupakan proses kompleks yang memunculkan optimalisasi jumlah variabel untuk mendapatkan struktur, komposisi fasa dan mikrostruktur yang diinginkan. Parameter yang penting dari proses ini adalah tipe *mill*, wadah *milling*, waktu *milling*, kecepatan *milling*, media penggiling, rasio berat bola dan serbuk, ruang kosong pada vial, atmosfer *milling*, proses kontrol dan temperatur *milling*.

Metode ini meliputi proses penghalusan (*milling*), pencampuran (*alloying*), pemadatan dan perlakuan panas (*sintering*) dari bahan-bahan dasar yang dilakukan secara sistematis sehingga optimalisasi struktur fasa magnet berukuran nanometer dapat tercapai. Namun pada penelitian ini tidak dilakukan perlakuan panas. Karena pada penelitian sebelumnya, material yang di sintering menghasilkan ukuran butir yang besar sedangkan material yang dilakukan pendinginan cepat (*melt-quenching*) menghasilkan ukuran butir yang jauh lebih kecil [14].

Pada tahapan proses *milling*, material akan diubah dalam bentuk serbuk. Proses ini menggunakan alat yang disebut *ball mill*. Proses selanjutnya yaitu pemaduan (*alloying*). Dalam proses ini, material dipadu menjadi satu hingga membentuk suatu paduan yang diinginkan.

2.10 HEM

HEM merupakan mesin penghalus berbentuk silinder yang digunakan untuk mencampurkan material seperti biji, bahan baku keramik dan cat. HEM berputar melalui sumbu horizontal yang dipenuhi dengan material yang ingin digiling beserta dengan medium penggiling. Berbagai material dapat digunakan sebagai media penggiling seperti bola keramik, batu api, dan bola yang terbuat dari *stainless steel*.

Salah satu jenis HEM adalah *SPEX shaker mills*. Alat ini sering digunakan untuk paduan mekanik. Karena alat ini dapat memilling 10-20 g material dalam 1 kali *milling*. Alat ini bekerja dengan menggerakkan serbuk dan bola-bola pada tiga gerakan yang saling tegak lurus dengan kecepatan ± 1200 rpm.

2.11 Penelitian–Penelitian yang sudah dilakukan

Telah banyak dilakukan penelitian untuk meningkatkan sifat magnetik dari $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$. Berikut penelitian yang sudah dilakukan.

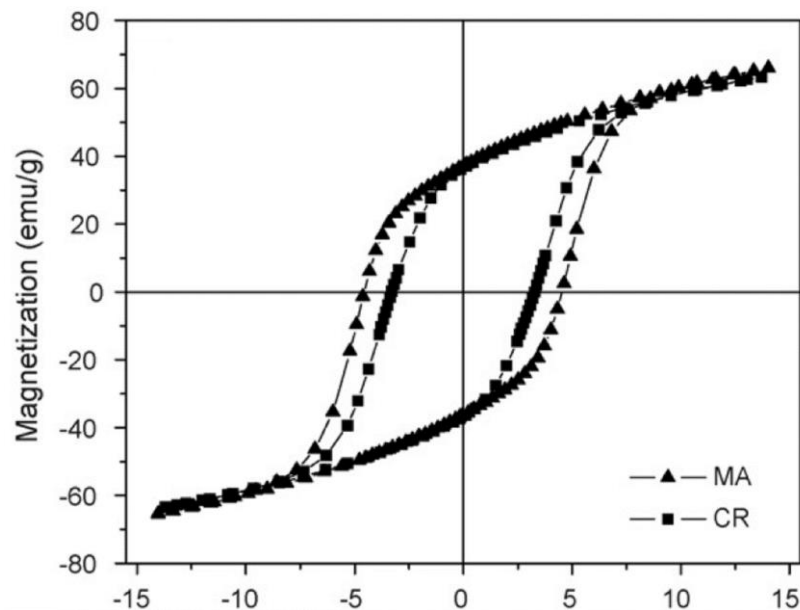
1. Pada tahun 2006 M. Radwan, dkk melaporkan hasil studi pembuatan nanopartikel $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan metode *co-precipitation–calcination route* yaitu penggabungan metode *co-precipitation* (metode kimia basah) dan metode kalsinasi (metode penghilangan karbon). Serbuk $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ultrafine murni (150-200 nm) diperoleh dari prekursor dengan $\text{Fe}^{3+}/\text{Ba}^{2+}$ dengan rasio mol 8 setelah kalsinasi pada suhu ≥ 1000 °C. Penambahan surfaktan untuk larutan awal

barium dan kation *ferric* ($\text{Fe}^{3+}/\text{Ba}^{2+}=8$) sebelum *co-presipitasi* ditemukan untuk meningkatkan pembentukan fase tunggal serbuk $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ suhu kalsinasi rendah yaitu 800 °C. Penambahan surfaktan *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS) menghasilkan ukuran $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ berukuran nanometer dengan homogen. Penambahan surfaktan *Cetyltrimethyl Ammonium Bromide* (CTAB) menghasilkan ukuran partikel mikrometer laminasi atau membentuk bagian seperti yang mengandung $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ultrafine. Surfaktan Triton X-100 non-ion menghasilkan partikel nanometer yang tidak beraturan. Nilai magnetisasi saturasi tertinggi adalah 50.02 *emu/g* dan gaya koersivitas yang dihasilkan adalah 642.4 sampai dengan 4580 *Oe*.

Tabel 2.5 *Magnetic properties of single phase $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ powders (H_c and B_s measured at room temperature under $H_{max}=15\text{kOe}$) [5].*

Kondisi preparasi			Sifat magnetik	
$\text{Fe}^{3+}/\text{Ba}^{2+}$	Surfaktan	Temperatur Kalsinasi (°C)	H_c (Oe)	M_s (emu/g)
10.9	-	1200	2556	44.9
8	-	1000	3923	22.8
8	-	1200	1670	44.12
8	CTAB	800	4347	45.13
8	CTAB	1000	4358	46.65
8	CTAB	1200	669.9	49.85
8	SDS	800	4518	46.66
8	SDS	1000	4327	45.29
8	SDS	1200	976.6	50.02
8	X-100	800	2050	47.22
8	X-100	1000	4580	46.84
8	X-100	1200	642.4	49.81

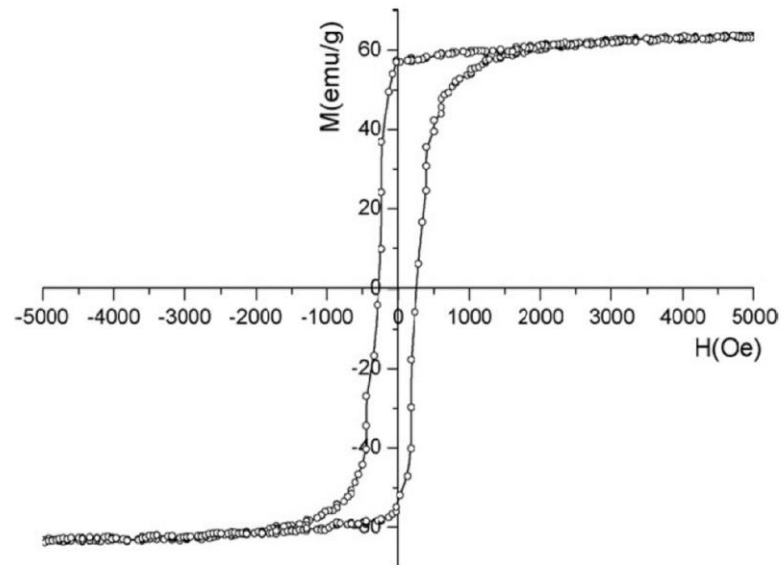
2. Pada tahun 2006 P. Sharma, dkk melaporkan hasil studi pembuatan $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ oleh *Mechanicall Alloy* (MA) dan *Conventional Route* (CR). Pada gambar 2.5 Terlihat bahwa kurva histerisis MA lebih besar daripada CR. Hal ini dikarenakan ukuran partikel yang dihasilkan oleh MA lebih halus daripada CR.



Gambar 2.5: Kurva histerisis sintesis $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ menggunakan metode MA dan CR [4].

3. Pada tahun 2009 Liu Junliang, dkk melaporkan hasil studi sintesis serbuk nano $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan metode *microwave sol-gel auto combustion* yaitu pembentukan $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan bantuan gelombang mikro selama pembakarannya. Pada gambar 2.6 menjelaskan sifat magnetiknya yaitu, titik saturasinya sekitar 64.1 emu/g dengan medan magnet diluar. Ketika $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ menunjukkan medan *high uniaxial anisotropic* $3.3 \times 10^5 \text{ J/m}^3$, dengan volume kritis nanopartikel sekitar 300 nm^3 , jauh lebih kecil daripada magnet lunak *spinel magnetic* ($K = 4 \times 10^4 \text{ J/m}^3$), yang merupakan sekitar 7200 nm^3 . Dari

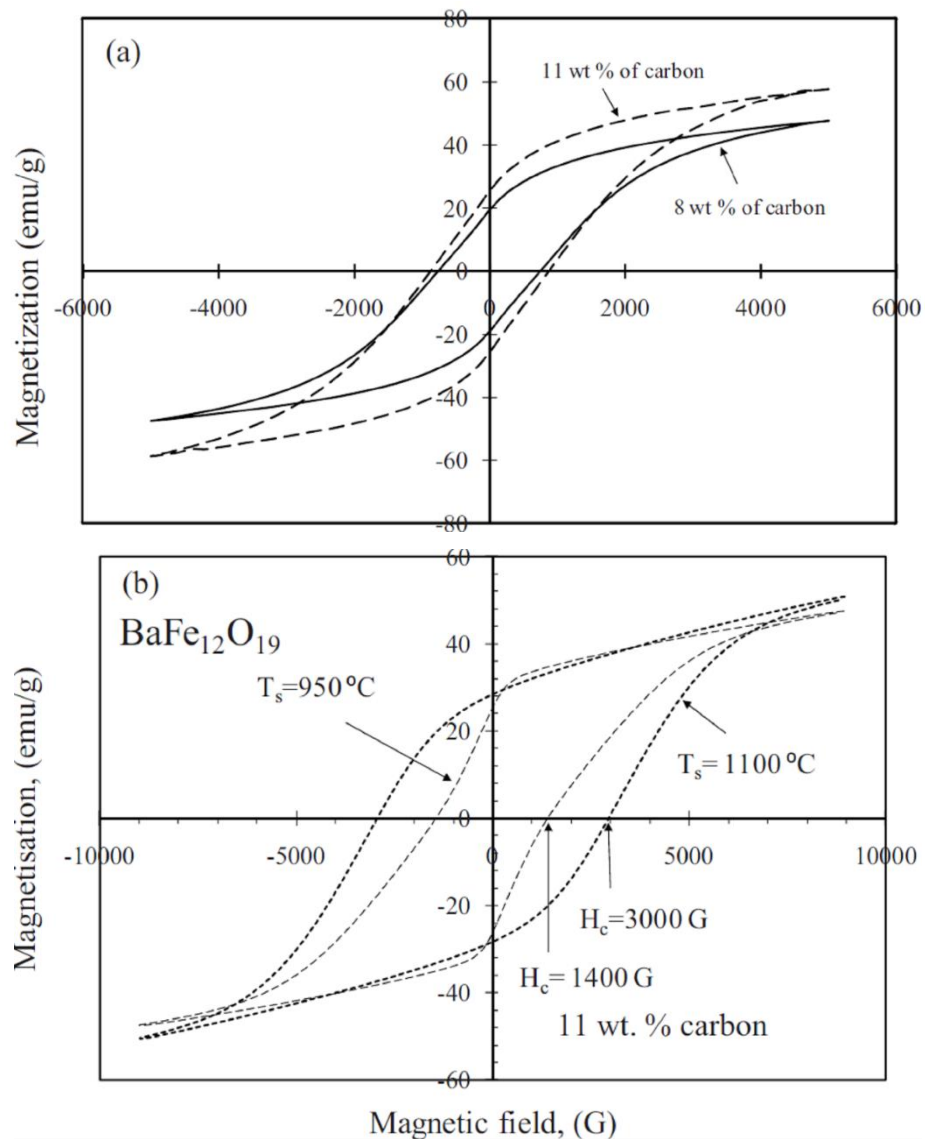
data ini, dapat disimpulkan range partikel harus dalam range partikel feromagnetik yaitu sekitar 50-100 nm dan berisi domain tunggal dengan medan koersivitas yang rendah yaitu 260 Oe.



Gambar 2.6: Kurva histerisis dari sintesis serbuk nano $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan metode *microwave sol-gel auto combustion* oleh Liu Junliang, Zeng Yanwei, Guo Cuijing, Zhang Wei dan Yang Xiaowei [15].

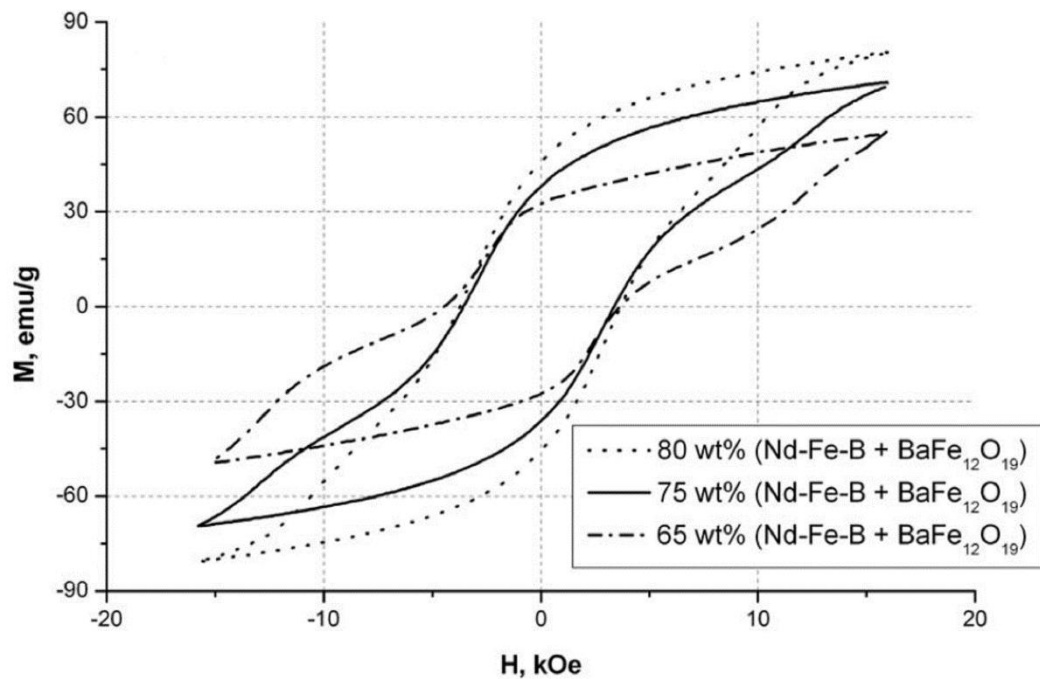
4. Pada tahun 2010 K.S. Martirosyana, dkk melaporkan hasil studi sintesis nanopartikel $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$. Metode *Carbon Combustion Synthesis of Oxides* (CCSO) yaitu metode yang menggantikan bahan bakar logam dengan karbon. Gambar 2.7(a) menunjukkan hasil magnetisasi dengan konsentrasi carbon 8 dan 11 % wt. Nilai magnetisasi saturasi dan koersivitas pada sample 8 % wt carbon adalah 47 emu/g dan 700 Oe nilai ini lebih kecil dibandingkan dengan sample 11 % carbon yaitu 58 emu/g dan 900 Oe. Pada gambar 2.7(b) menunjukkan bahwa meningkatnya temperatur sintering menyebabkan peningkatan nilai koersivitas dari 1400 menjadi 3000 Oe dengan peningkatan temperatur sintering

dari 950–1100 °C. Pada temperatur 1100 °C menghasilkan nilai magnetisasi saturasi sebesar 50.3 emu/g dan nilai energi produk maksimum $(HB)_{max}=0.45 \times 10^6 Oe \text{ emu}/g$. Dari hasil ini menunjukkan bahwa metode CCSO menghasilkan nilai magnetisasi yang lebih optimal dibandingkan metode yang lain.



Gambar 2.7: Kurva histerisis (a) sintesis $BaFe_{12}O_{19}$ dengan CCSO menggunakan 8 dan 11 % wt carbon dan (b) sintering pada temperatur 950 dan 1100 °C selama 3 jam [2].

5. Pada tahun 2012 Aleksandar P. Stajčić, dkk melakukan penelitian magnet hibrid $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan matriks epoksi. Hibrida komposit $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ mengalami peningkatan nilai magnetisasi dibandingkan nilai magnetisasi $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dan mengalami penurunan nilai magnetisasi dibandingkan nilai magnetisasi $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$. Hal ini, disebabkan karena kedua material ini saling meng-*coupling* sehingga nilai magnetisasinya terletak di antara nilai magnetisasi $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ dan $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$.



Gambar 2.8: Kurva histerisis magnet *hybrid* $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan matriks epoksi [9].



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Nopember 2014 sampai dengan bulan Juni 2015. Preparasi bahan dan pengujian SEM dilakukan di Laboratorium Fisika Material Universitas Negeri Jakarta, untuk pengujian permagraph dan PSA dilakukan pada Laboratorium Fisika Material FMIPA Universitas Indonesia dan untuk pengujian XRD dilakukan pada Laboratorium Terpadu Universitas Islam Negeri Jakarta.

3.2 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode studi literatur sert ariset dan pengembangan. Metode studi literatur dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat magnetik $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$, $\alpha\text{-Fe}$ dan $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Metode riset dan pengembangan dilakukan penghalusan magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ selama 30 jam yang sebelumnya telah dilakukan menggunakan *planetary ball mill* dengan satu media penggiling, yaitu *ball mill* [7] pada penelitian ini akan dikembangkan menggunakan HEM dengan dua media penggiling, yaitu *ball mill* dan SiC. Selanjutnya mensistensis magnet komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ dan magnet hibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ dengan metode paduan mekanik tanpa perlakuan panas. Kemudian dilakukan proses karakterisasi dengan menggunakan SEM, PSA, permagraph dan XRD pada seluruh material magnet tersebut.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Bahan Utama

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

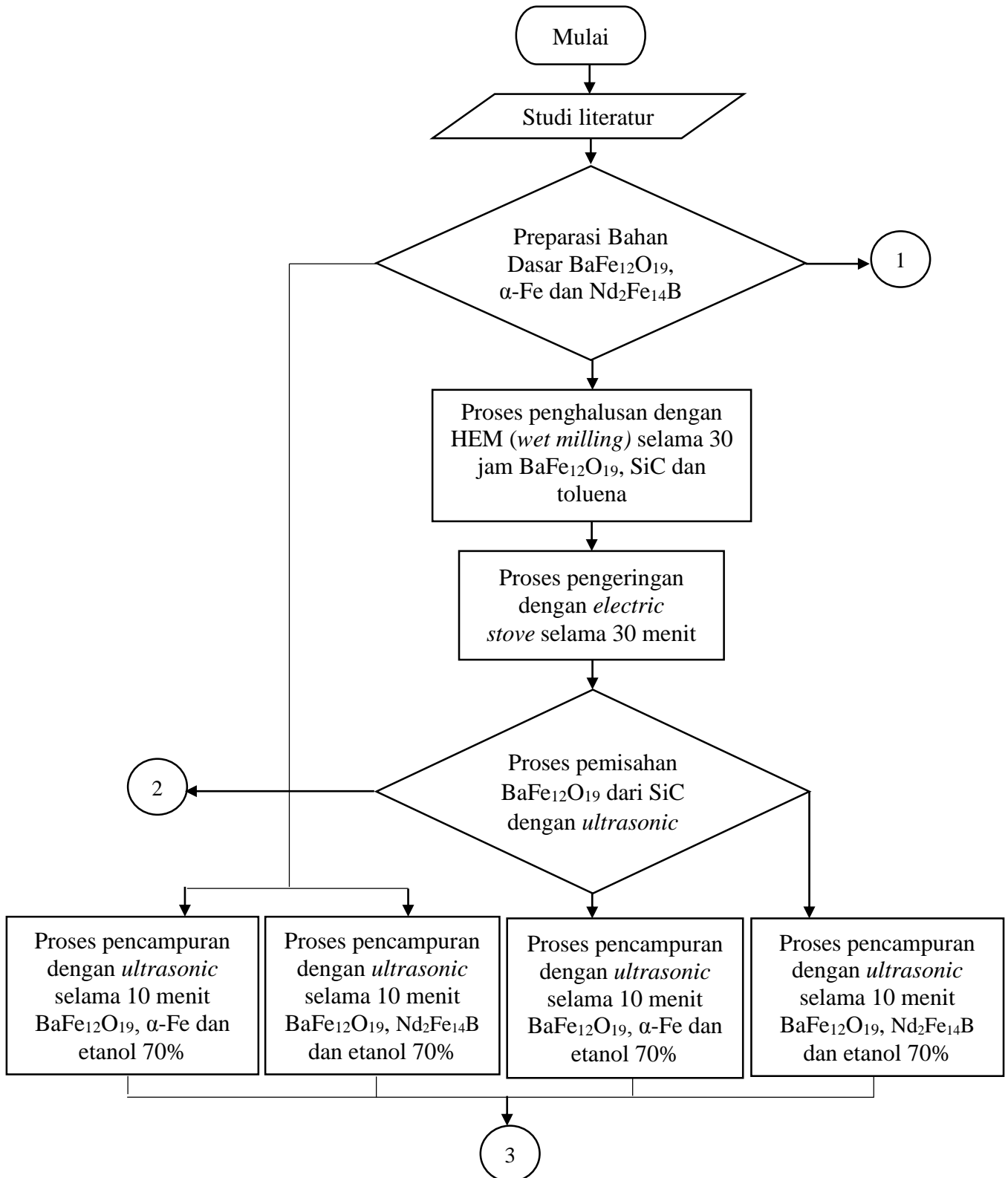
1. Serbuk $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$
2. Serbuk $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$
3. Serbuk α –Fe
4. PVAc
5. SiC
6. Toluena
7. Etanol 70 %

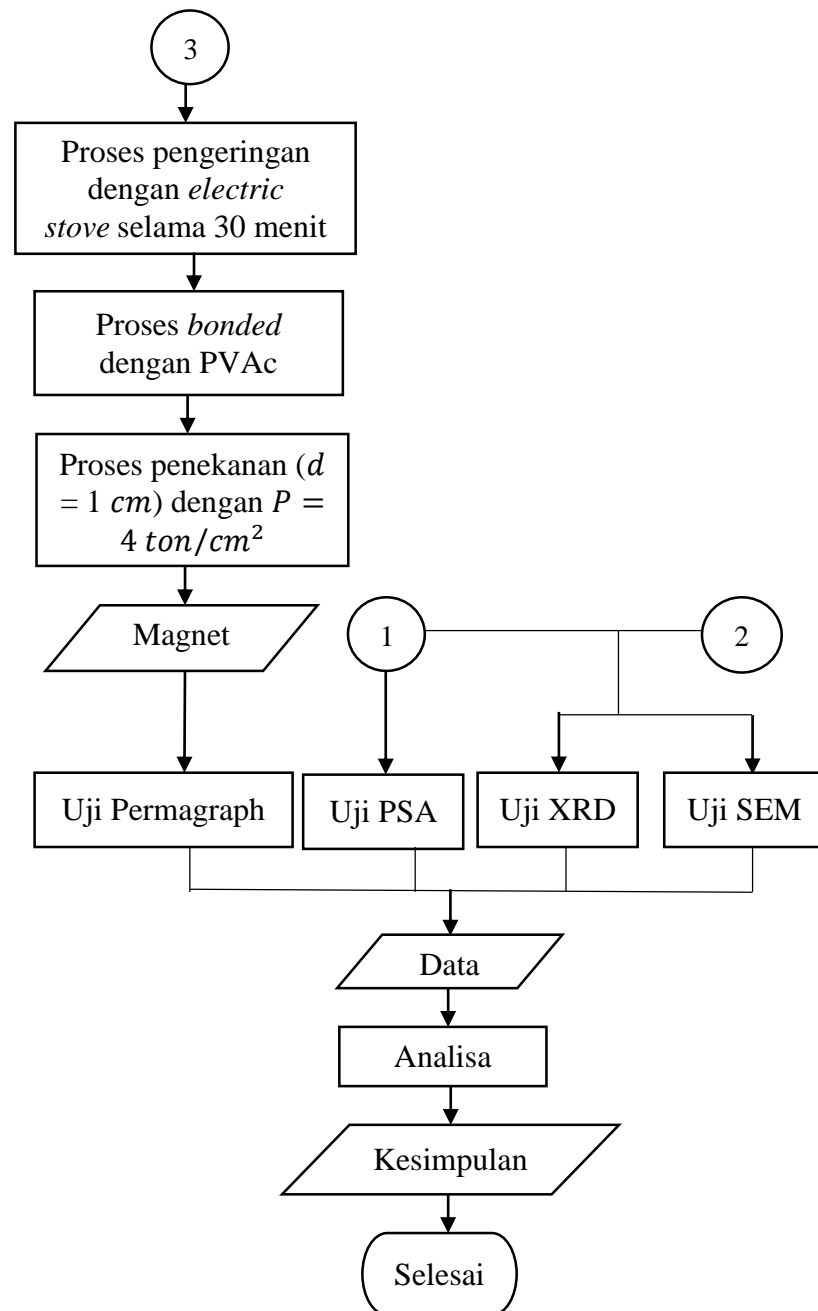
3.3.2 Alat

Alat-alat pendukung yang digunakan selama proses preparasi sampel pada penelitian ini antara lain:

1. Neraca digital
2. Kertas timbang (*vercamen*)
3. Gelas kimia
4. Spatula
5. HEM
6. *Electric stove*
7. *Ultrasonic*
8. Cetakan (*die*)
9. Kompaktor hidrolik

3.4 Skema Penelitian





Gambar 3.1: Diagram alir penelitian.

3.5 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan penghalusan $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ serta sintesis dan karakterisasi magnet komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ dan magnet hibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$. Pada proses sintesis dilakukan beberapa tahap, yaitu proses preparasi material, proses penggerusan halus, proses pemisahan, proses pencampuran, proses pengeringan, proses *bonded* dan proses penekanan. Sedangkan pada karakterisasi dilakukan proses permagraph, PSA, SEM dan XRD.

3.5.1 Preparasi Material

Bahan utama pada penelitian ini adalah serbuk $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$, serbuk $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ dan serbuk $\alpha\text{-Fe}$. Jumlah massa material yang akan dibuat pada penelitian ini adalah $\pm 1,2 \text{ g}$, dengan perbandingan komposisi massa material penyusunnya sebagai berikut:

Tabel 3.1 Komposisi material penyusun magnet komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ dan magnet hibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$.

Nomor Sample	Komposisi		
	$\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (%)	$\alpha\text{-Fe}$ (%)	$\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ (%)
1	100	-	-
2	99	1	-
3	98	2	-
4	99	-	1
5	98	-	2

3.5.2 Penggerusan Halus (*fine milling*)

Langkah selanjutnya adalah menghaluskan serbuk $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan menggunakan HEM selama 30 jam. Perbandingan material dan bola yang digunakan adalah 10:1 [16]. Untuk menghasilkan material berukuran nano maka digunakan SiC (material non-magnetik), yaitu penghancur yang ukurannya lebih kecil dari *ball mill*. Selain itu juga dilakukan *wet milling* dengan menambahkan toluen agar tidak terjadi oksidasi selama proses *milling* tersebut serta untuk mendapatkan hasil yang lebih halus.

3.5.3 Proses Pengeringan

Proses pengeringan dilakukan menggunakan *electric stove* dengan temperatur 100 °C selama 30 menit. Pengeringan ini dilakukan untuk menghilangkan kandungan toluen yang terdapat pada material selama proses pencampuran. Dengan pengeringan ini diharapkan komposisi akhir yang didapatkan sesuai dengan komposisi saat penimbangan.

3.5.4 Proses Pemisahan

Setelah proses pengeringan proses selanjutnya adalah pemisahan, yaitu memisahkan serbuk $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ yang sudah halus dengan SiC. Untuk itu digunakan *ultrasonic* sebagai alat pemisahannya.

3.5.5 Proses Pencampuran

Proses pencampuran dilakukan agar material terdistribusi secara homogen. Proses ini dilakukan dengan cara mencampurkan bahan-bahan dasar $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19+\alpha}\text{-Fe}$ dan $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19+\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}}$ serta menambahkan etanol 70% secukupnya, kemudian dilakukan proses *ultrasonic* selama 10 menit.

3.5.6 Proses Bonded

Bonded adalah proses pencampuran serbuk magnet dan polimer. Polimer yang digunakan pada serbuk ini adalah PVAc.

3.5.7 Proses Penekanan

Pressing adalah penekanan pada serbuk dengan membentuk suatu padatan yang berbentuk silinder dengan diameter 1 cm. Penekanan serbuk dilakukan dengan cara melakukan penekanan hidrolik sebesar 4 ton.

3.5.8 Peralatan Pengukuran

3.5.8.1 XRD

XRD digunakan untuk dapat mengidentifikasi fasa yang terbentuk pada magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebelum dan sesudah dimilling selama 30 jam menggunakan HEM. Dilakukan karakterisasi sampel dengan menggunakan XRD yang kemudian dianalisa secara kualitatif.

3.5.8.2 Permagraph

Permagraph digunakan untuk mengetahui sifat magnetik dari nilai kerentanan (k) magnet komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ dan magnet hibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ yang berukuran mikrometer dan nanometer dengan metode paduan mekanik.

3.5.8.3 SEM

SEM digunakan untuk mengetahui mikrostruktur material magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebelum dan sesudah dimilling selama 30 jam menggunakan HEM.

3.5.8.4 PSA

PSA digunakan untuk mengetahui ukuran partikel magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebelum dan sesudah dimilling selama 30 jam menggunakan HEM.



BAB VI

Hasil dan Pembahasan

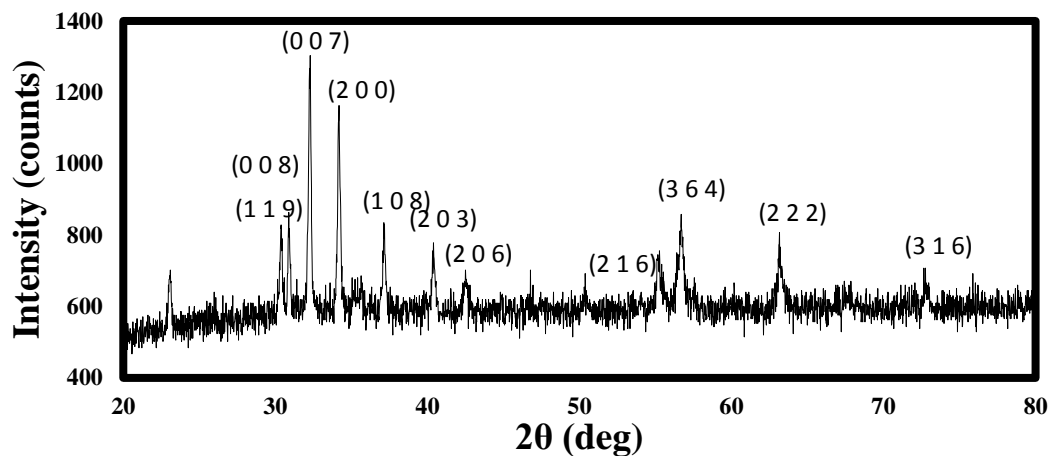
4.1 Hasil

4.1.1 Preparasi Awal Sampel

Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan material magnet komposit dan hibrida dengan metode paduan mekanik, untuk menghaluskan ukuran partikel dilakukan proses milling selama 30 jam. Sebelum membuat material magnet komposit dan hibrida dilakukan karakterisasi awal $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebelum dimilling selama 30 jam. Karakterisasi awal digunakan sebagai pembandingan parameter pengukuran pada penelitian ini. Karakterisasi awal terdiri dari identifikasi fasa magnetik menggunakan XRD, karakteristik distribusi partikel, karakteristik visualisasi ukuran partikel dan karakteristik sifat kemagnetannya menggunakan permagraph.

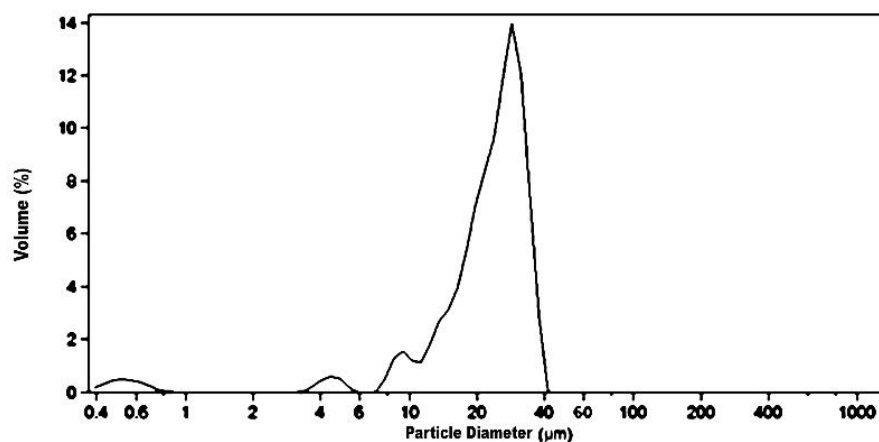
Identifikasi fasa dilakukan dengan pengukuran difraksi sinar-x menggunakan alat XRD yang kemudian dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan dengan cara mencocokkan data hasil difraksi yang telah diolah menggunakan *software* APD dan Bella dengan data JPDS-ICDD. Analisis kualitatif dapat mengetahui fasa yang terbentuk. Pada gambar 4.1 hasil pengukuran menggunakan XRD adalah fasa $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$. Untuk analisis kuantitatif dilakukan menggunakan *software highscore plus*, analisis ini bertujuan untuk memperoleh nilai parameter kisi yang terbentuk pada material. Hasil analisis kuantitatif yang

didapat adalah $a = b = 5,892 \text{ \AA}$, $c = 23,183 \text{ \AA}$ dengan $\alpha = \beta = 90^\circ$ dan $\gamma = 120^\circ$. Dengan densitas $5,32 \text{ g/cm}^3$ dengan volume unit sel $693,608 \text{ \AA}^3$.



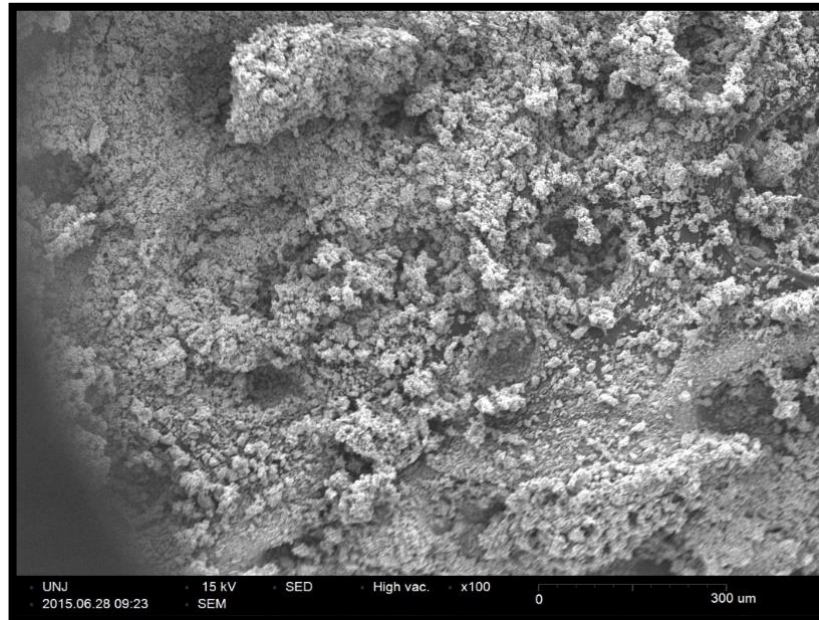
Gambar 4.1: Pola XRD material magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebelum dimilling selama 30 jam.

Karakteristik ukuran partikel dapat diketahui menggunakan uji PSA, dari hasil uji ini diketahui distribusi ukuran partikel $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebelum dimilling selama 30 jam sebesar $20,26 \mu\text{m}$. Hasil distribusi partikel dapat dilihat pula pada gambar 4.2.



Gambar 4.2: Grafik distribusi ukuran partikel $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebelum dimilling selama 30 jam.

Pengamatan bentuk partikel menggunakan alat SEM memperlihatkan bahwa bentuk partikel terlihat kasar.



Gambar 4.3: Hasil foto SEM magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebelum dimilling selama 30 jam.

Setelah karakterisasi awal proses selanjutnya adalah proses penghalusan $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebanyak 10,003 g menggunakan HEM selama 30 jam dengan dua media penggiling, yaitu *ball mill* yang bermassa 96,526 g dan SiC sebanyak 10,004 g pada suasana basah dengan toluena. Selanjutnya untuk menghilangkan kandungan toluena dilakukan pengeringan menggunakan *electric stove* selama 30 menit. Untuk menghilangkan kandungan SiC dilakukan proses pemisahan menggunakan *ultrasonic*. Proses ini berlangsung selama 160 jam. Pada proses ini terjadi pengurangan massa sampel material $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ menjadi 6,243 g.

4.1.2 Preparasi Magnet Komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ dan Magnet Hibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$

Setelah proses pemisahan, proses selanjutnya penggabungan dua buah magnet, yaitu magnet komposit dan magnet hibrida. Material magnet komposit dan hibrida terbuat dari penggabungan $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$, $\alpha\text{-Fe}$ dan $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ dengan penentuan komposisi sebagai berikut.

Tabel 4.1 Komposisi material komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ sebelum dan setelah dimilling selama 30 jam.

$\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebelum dimilling(<i>g</i>)	$\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ setelah dimilling (<i>g</i>)	$\alpha\text{-Fe}(\textit{g})$
1,178	-	0,028
1,186	-	0,016
-	1,180	0,025
-	1,189	0,012

Tabel 4.2 Komposisi material hibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ sebelum dan setelah dimilling selama 30 jam.

$\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebelum dimilling(<i>g</i>)	$\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ setelah dimilling (<i>g</i>)	$\alpha\text{-Fe}(\textit{g})$
1,177	-	0,025
1,190	-	0,015
-	1,177	0,026
-	1,194	0,018

Untuk $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ 100% sebelum dimilling dibutuhkan 1,206 *g* dan $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ 100% setelah dimilling dibutuhkan 1,208 *g*. Bahan dasar yang telah ditimbang selanjutnya dicampur dan dilarutkan dengan etanol 70% menggunakan *ultrasonic*.

Ultrasonic yang digunakan memiliki frekuensi 40 *kHz* dan daya 60 *watt*. Proses pencampuran dilakukan selama 10 menit. Selama proses pencampuran material diaduk agar bahan dasar tercampur merata. Untuk menghilangkan kandungan etanol 70% pada sampel dilakukan proses pengeringan menggunakan *electric stove* selama 30 menit pada suhu 100°C.

Sampel yang telah melalui proses pencampuran dan pengeringan selanjutnya Proses *bonded* menggunakan PVAc dan dicetak menggunakan kompaktor hidrolik dengan diameter sampel 1 *cm* serta diberikan tekanan 4 *ton/cm²*. Proses ini akan menghasilkan sampel berbentuk pelet dan kuat.

Setelah seluruh sampel berhasil dibuat selanjutnya identifikasi fasa magnetik BaFe₁₂O₁₉ setelah dimilling selama 30 jam. Hasil analisis menggunakan *software highscore plus* menunjukkan bahwa fasa magnetik BaFe₁₂O₁₉ setelah dimilling selama 30 jam memiliki $a = b = 5,895 \text{ \AA}$, $c = 23,175 \text{ \AA}$ dengan $\alpha = \beta = 90^\circ$ dan $\gamma = 120^\circ$. Dengan densitas 5,25 *g/cm³* dan volume unit sel 697,693 \AA^3 . Ukuran kristal yang terbentuk diketahui menggunakan persamaan *scherrer* [17] sebagai berikut:

$$d = \frac{k \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (7)$$

Dimana

d = ukuran kristal (\AA)

k = tetapan mesin (0,916)

λ = panjang gelombang tabung Cu (1,5406 Å)

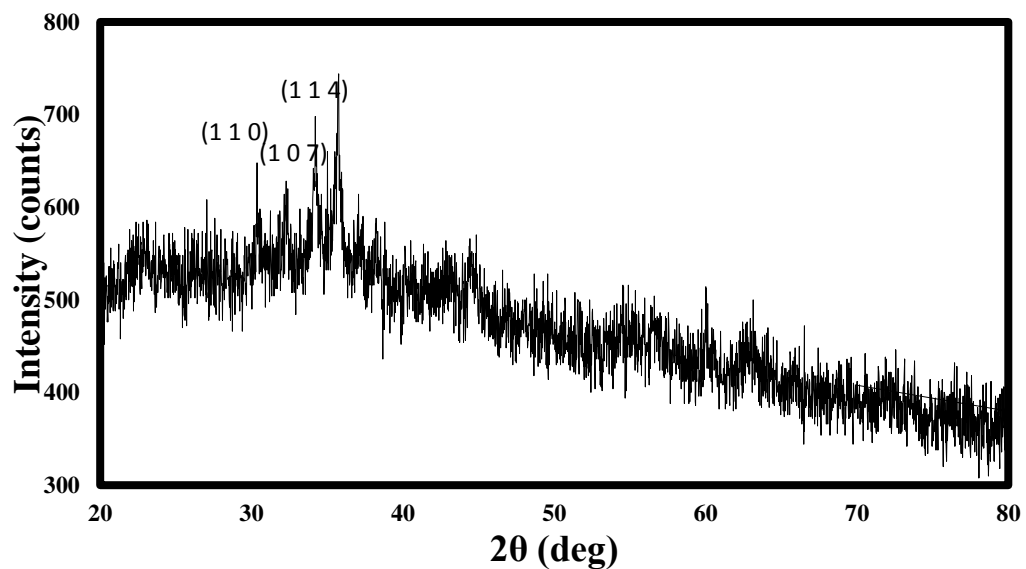
β = Full Width at Half Maximum atau FWHM (deg)

Dari persamaan (7) didapatkan hasil seperti berikut;

Tabel 4.3 Ukuran kristal BaFe₁₂O₁₉ setelah dimilling selama 30 jam.

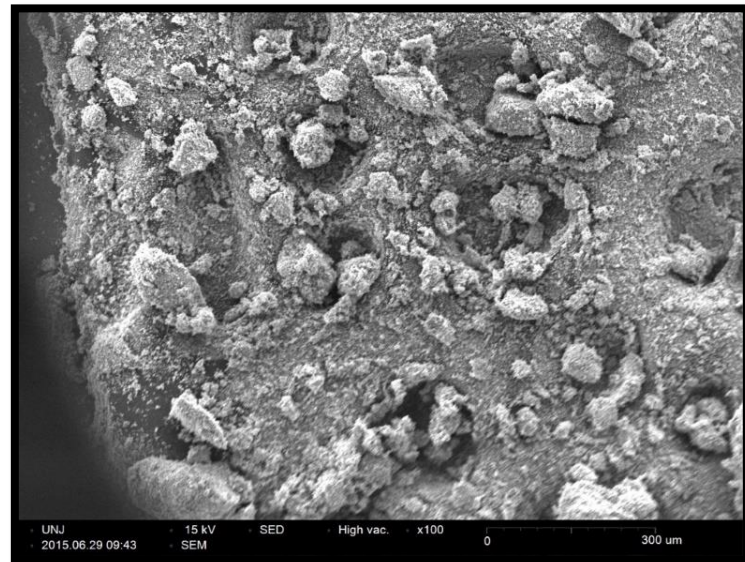
Puncak atau butir ke-	β , FWHM (deg)	θ , $\mu\text{u}/2$ (deg)	d (Å)	d (nm)
1	34,2	0,3932	211,50	21,150
2	32,3	0,3746	220,86	22,086
3	30,5	0,393	209,61	20,961

Dari hasil tersebut dapat diketahui ukuran kristal yang terbentuk setelah dimilling selama 30 jam adalah 20,961-22,086 nm.



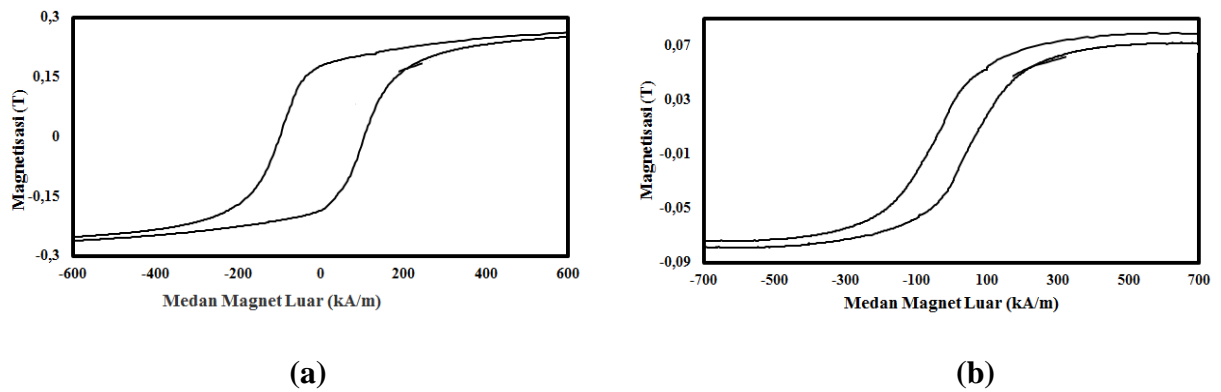
Gambar 4.4: Pola XRD material magnet BaFe₁₂O₁₉ setelah dimilling selama 30 jam.

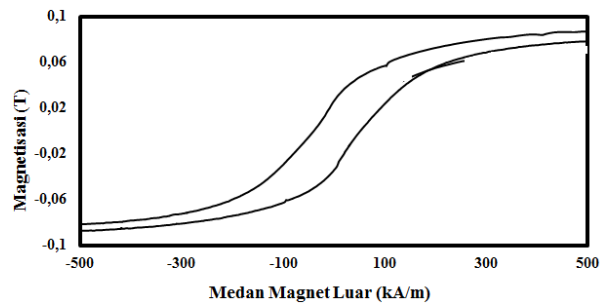
Hasil pengamatan bentuk partikel $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ setelah dimilling selama 30 jam yang terlihat pada gambar 4.5 memiliki bentuk partikel lebih halus dibandingkan $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebelum dimilling selama 30 jam.



Gambar 4.5: Hasil foto SEM magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ setelah dimilling selama 30 jam.

4.1.3 Sifat Kemagnetan Material Sebelum dan Setelah Dimilling Selama 30 Jam



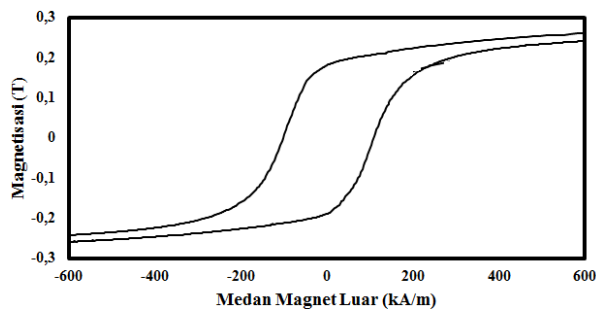


(c)

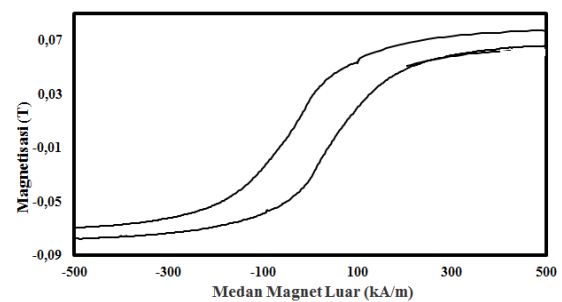
Gambar 4.6: Kurva histerisis magnet komposit (a) BaFe₁₂O₁₉ (99%)/α-Fe (1%) sebelum dimilling selama 30 jam (b) BaFe₁₂O₁₉ (99%)/α-Fe (1%) setelah dimilling selama 30 jam (c) BaFe₁₂O₁₉ (98%)/α-Fe (2%) sebelum dimilling selama 30 jam.

Tabel 4.4 Nilai magnetisasi magnet komposit BaFe₁₂O₁₉/α-Fe sebelum dan setelah dimilling selama 30 jam.

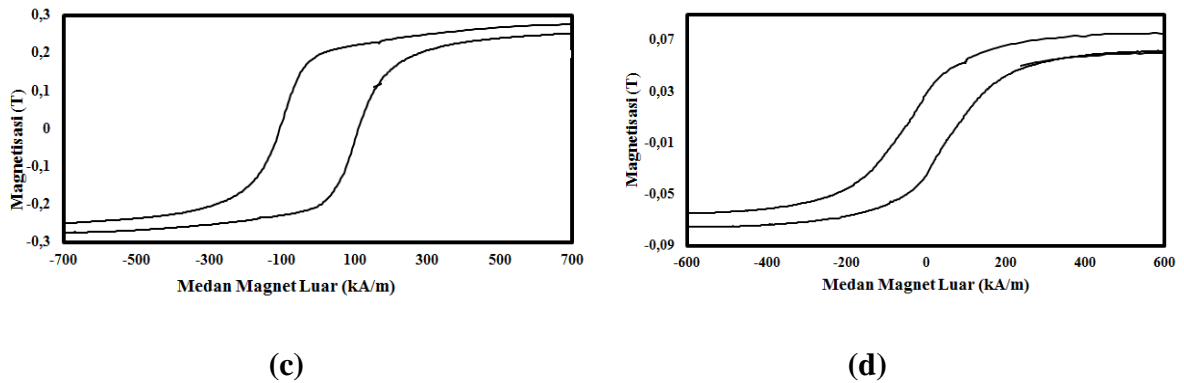
Perlakuan	Material	Magnetisasi Remanen, M_r (T)	Magnetisasi Saturasi, M_s (T)	Koersivitas, H_c (kA/m)
Sebelum dimilling 30 jam	BaFe ₁₂ O ₁₉ (99%)/α-Fe (1%)	0,18	0,26	99,22
Setelah dimilling 30 jam	BaFe ₁₂ O ₁₉ (99%)/α-Fe (1%)	0,026	0,09	45,53
	BaFe ₁₂ O ₁₉ (98%)/α-Fe (2%)	0,026	0,09	39,92



(a)



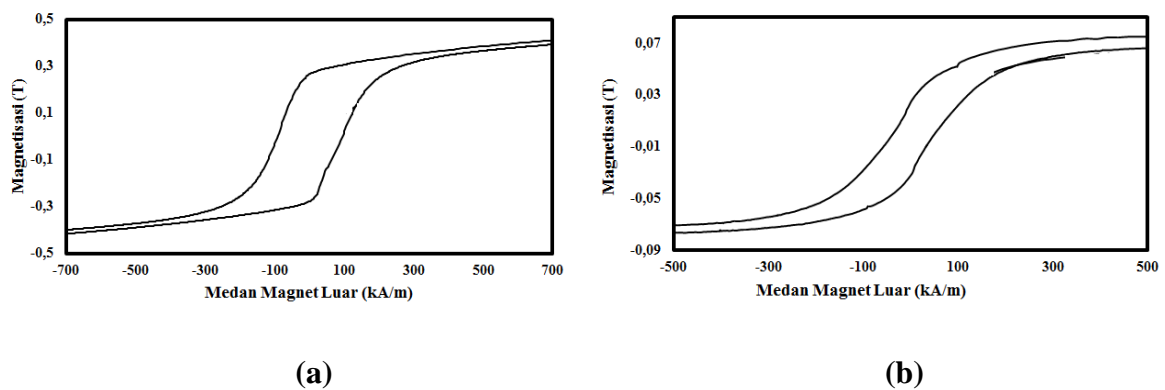
(b)



Gambar 4.7: Kurva histerisis magnet hibrida (a) material $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (99%)/ $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ (1%) sebelum dimilling selama 30 jam (b) material $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (99%)/ $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ (1%) setelah dimilling selama 30 jam (c) material $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (98%)/ $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ (2%) sebelum dimilling selama 30 jam (d) material $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (98%)/ $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ (2%) setelah dimilling selama 30 jam.

Tabel 4.5 Nilai magnetisasi magnet hibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ sebelum dan setelah dimilling selama 30 jam.

Perlakuan	Material	Magnetisasi Remanen, M_r (T)	Magnetisasi Saturasi, M_s (T)	Koersivitas, H_c (kA/m)
Sebelum dimilling 30 jam	$\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (99%)/ $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ (1%)	0,18	0,26	102,01
	$\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (98%)/ $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ (2%)	0,19	0,27	105,49
Setelah dimilling 30 jam	$\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (99%)/ $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ (1%)	0,026	0,08	45,18
	$\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (98%)/ $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ (2%)	0,028	0,08	57,31



Gambar 4.8. Kurva histerisis magnet (a) $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebelum dimilling selama 30 jam (b) $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ setelah dimilling selama 30 jam.

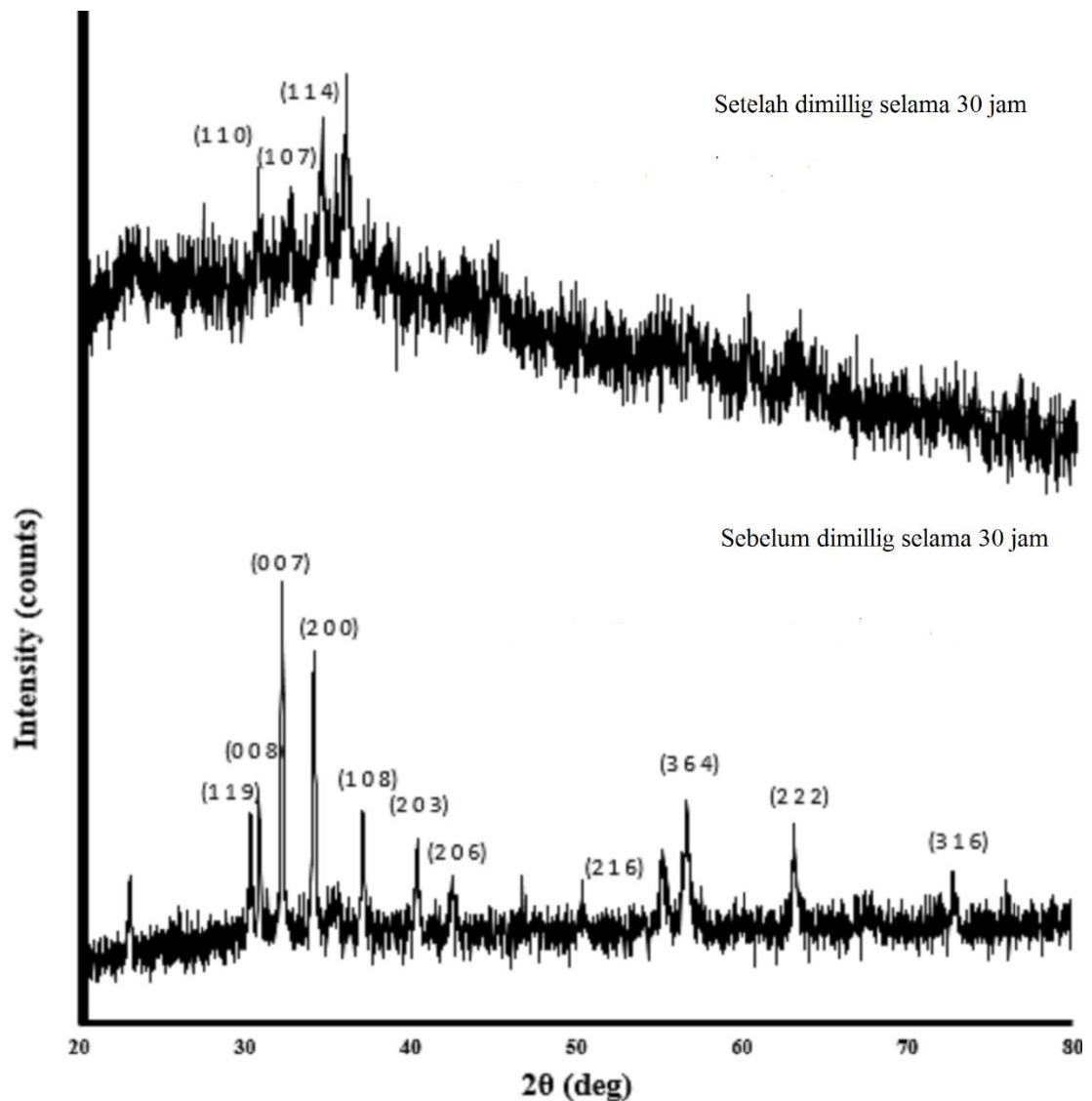
Tabel 4.6 Nilai magnetisasi magnet komposit BaFe₁₂O₁₉/α-Fe sebelum dan setelah dimilling selama 30 jam.

Perlakuan	Material	Magnetisasi Remanen, M_r (T)	Magnetisasi Saturasi, M_s (T)	Koersivitas, H_c (kA/m)
Sebelum dimilling 30 jam	BaFe ₁₂ O ₁₉	0,26	0,41	92,05
Setelah dimilling 30 jam	BaFe ₁₂ O ₁₉	0,024	0,07	37,40

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pengaruh Proses Milling Terhadap Fasa Magnet

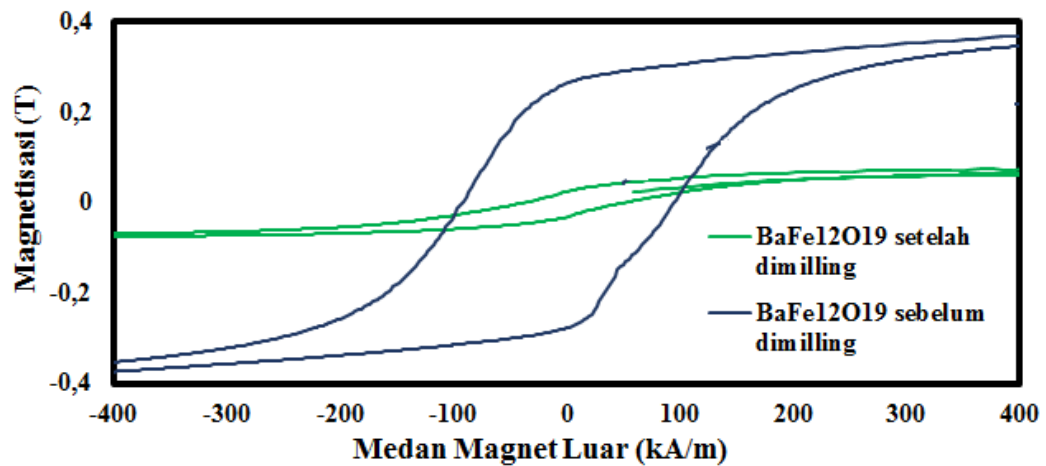
Telah dilakukan pengujian XRD dengan analisis kualitatif pencocokan JPDS-ICDD yang diperoleh sebelum dan setelah proses milling selama 30 jam. Analisis ini menghasilkan pola XRD yang berbeda sebelum dan setelah proses milling selama 30 jam. Pada gambar 4.8. terdapat pengurangan puncak pola XRD, pengurangan ini menunjukkan bahwa terjadi cacat kristal *interstitial*, terjadi gesekan yang terlalu lama antara BaFe₁₂O₁₉ dengan SiC saat proses milling sehingga ukuran partikel BaFe₁₂O₁₉ 21,6 nm menjadi lebih halus dari SiC. Halusnya ukuran partikel BaFe₁₂O₁₉ menyebabkan cacat kristal pada BaFe₁₂O₁₉, karena dari SiC yang memiliki sifat polimer yang sangat keras sehingga saat terjadi gesekan, SiC tidak lagi memecah ukuran partikel BaFe₁₂O₁₉, melainkan memecah struktur kristal BaFe₁₂O₁₉.



Gambar 4.9: Pola XRD $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebelum dan setelah dimilling selama 30 jam.

4.2.2 Pengaruh Proses Milling Terhadap Sifat Kemagnetan

Besarnya sifat magnet suatu bahan dapat diketahui melalui kurva histeresis di bawah ini, dari kurva tersebut dapat diketahui besarnya magnetisasi remanen (M_r) dan koersivitas (H_c). Sifat Kemagnetan $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ diketahui dengan melakukan pengukuran kurva histeresis menggunakan alat permagraph.

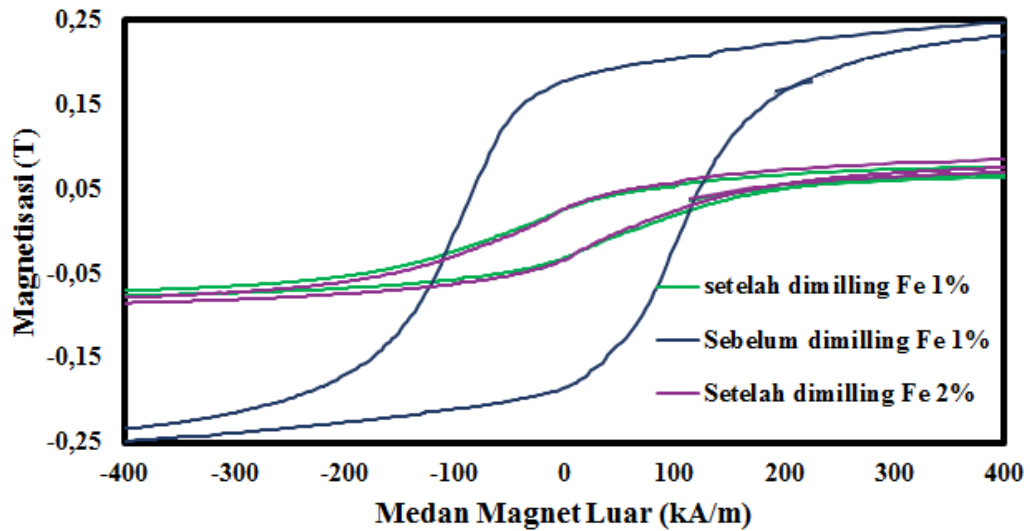


Gambar 4.10: Kurva histerisis $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sebelum dan setelah dimilling selama 30 jam.

Dari gambar 4.8. terlihat bahwa proses milling selama 30 jam menghasilkan kurva histerisis yang lebih ramping dibandingkan yang tidak melalui proses milling selama 30 jam sehingga menyebabkan penurunan nilai magnetisasi yang sangat besar. Hal ini disebabkan terjadinya dekomposisi fasa karena proses milling berlangsung 30 jam (*over milling*). Waktu milling yang lama dapat meningkatkan kontaminasi dan meningkatnya temperatur dapat mempercepat transformasi dan menyebabkan dekomposisi fasa super jenuh, sehingga terbentuk fasa metastabil.

4.2.3 Analisis Sifat Kemagnetan Magnet Komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$

Telah disintesis magnet komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ dengan dan tanpa proses milling selama 30 jam serta 2 konsentrasi berbeda. Sintesis ini menunjukkan sifat kemagnetan menggunakan pengukuran pemagraph. Berikut adalah kurva histerisis yang terbentuk dari pengukuran sifat kemagnetan.

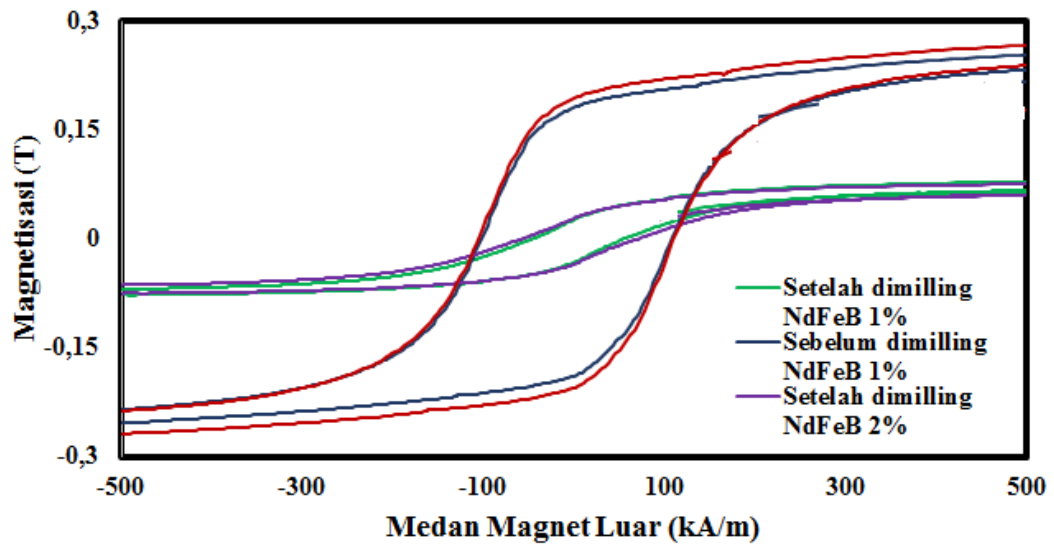


Gambar 4.11: Kurva histerisis magnet komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ sebelum dan setelah dimilling selama 30 jam

Sintesis magnet komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ dengan dua konsentrasi yang berbeda. Terjadi peningkatan nilai magnetisasi remanen. Peningkatan ini menunjukkan bahwa besarnya nilai magnetisasi remanen $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dapat berperan sebagai medan magnet luar pada $\alpha\text{-Fe}$ sehingga magnetisasi remanen magnet komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ menjadi meningkat dan menyebabkan meningkatnya koersivitas magnet komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$.

4.2.4 Analisis Sifat Kemagnetan Magnet Hibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$

Telah disintesis magnet hibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ dengan dan tanpa proses milling selama 30 jam serta 2 konsentrasi berbeda. Sintesis ini menunjukkan sifat kemagnetan menggunakan alat pemagraph. Berikut adalah kurva histerisis yang terbentuk dari pengukuran sifat kemagnetan.



Gambar 4.12: Kurva histerisis magnet magnet hibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ sebelum dan setelah dimilling selama 30 jam.

Sintesis magnet hibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ dengan dua konsentrasi yang berbeda. Terjadi peningkatan nilai magnetisasi magnet hibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$. Peningkatan ini menunjukkan $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ telah meng-*coupling* $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sehingga nilai magnetisasi saturasi, remanen dan koersivitas dari magnet hibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ meningkat. Hal ini terjadi karena $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ memiliki sifat sebagai manet keras terkuat setelah SmCo .



BAB V

Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Telah berhasil dilakukan penghalusan ukuran partikel $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$, dari 20,26 μm 20,96-22,08 nm .
2. Telah berhasil disintesis magnet komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$.
3. Telah berhasil disintesis magnet hibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$.
4. Telah berhasil meningkatkan nilai magnetisasi remanen magnet komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\alpha\text{-Fe}$ dari 0,024 T menjadi 0,026 T .
5. Telah berhasil meningkatkan nilai magnetisasi remanen, magnetisasi saturasi dan koersivitas magnet hibrida $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ dari 0,024 T menjadi 0,028 T , 0,07 T menjadi 0,08 T dan 37,40 kA/m menjadi 57,31 kA/m .

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya waktu millingnya kurang dari 30 jam dan untuk pemisahan SiC perlu dilakukan dengan waktu yang lebih dari 160 jam.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sardjono, Prijo, Wisnu Ari Adi, Perdamaian Sebayang dan Muljadi. Analisis Fasa dan Sifat Magnetik Pada Komposit BaFe₁₂O₁₉/Nd₂Fe₁₄B Hasil Mechanical Milling. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 2010; 13 (2) ISSN: 1411-1098.
- [2] Martirosyan, K. S., Galstyan, S. M. Hossain, Yi-Ju Wang dan D. Litvinov. Barium Hexaferrite Nanoparticles Synthesis and Magnetic Properties. *Materials Science and Engineering United States* 2013; B 176: 8-13.
- [3] Fidler, J. 1997. *Physics Of Magnetic Materials*. Wien: Institut Fur Angewandte Und Technische Physik.
- [4] Sharma, P., R. A. Rocha, S. N. de Medeiros dan A. Paesano Jr. Structural and Magnetic Studies on Barium Hexaferrites Prepared by Mechanical Alloying and Conventional Route. *Journal of Alloys and Compounds* 2007; 443: 37-42.
- [5] Radwan, M., M.M. Rashad dan M.M. Hessien. Synthesis and Characterization of Barium Hexaferrite Nanoparticles. *Journal of Materials Processing Technology* 2007; 181: 106-109.
- [6] Wahyuni, Sri Endang. 2013. Sintesis dan Karakterisasi Magnet Komposit BaFe₁₂O₁₉/α-Fe. *Skripsi, Jurusan Fisika, Universitas Negeri Jakarta*.
- [7] Yulianti, Sri. 2010. Sintesis Magnet Hibryda Barium Heksaferrit (BaFe₁₂O₁₉) dengan Neodinium Besi Boron (Nd₂Fe₁₄B) Menggunakan Metode *Mechanical Alloy* Dalam Suasana Toluena. *Skripsi, Jurusan Fisika, Universitas Negeri Jakarta*.
- [8] Yagodkina, Yu. D. A.S. Lileev, J.V. Lyubina, E.N. Shingarev, V.A. Glebov, V.S. Nefedov. Structure and Magnetic Properties of Nanocrystalline Alloys Based on Nd₂Fe₁₄B Obtained by Various Techniques. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 2003; 586-589.

- [9] Aleksandar P. Stajčić, Jasna T. Stajčić-Trošić, Aleksandar S. Grujić, Mirko Z. Stijepović, Nada L. Lazić, Tomáš Žák dan Radoslav R. Aleksić. Hybrid Nd–Fe–B/barium ferrite magnetic materials with epoxy matrix. *Scientific Paper* 2012; Hem. Ind. 66 (3): 301–308.
- [10] Hideyuki Yusada, Itsou Ohanaka, Yusataka Yamamoto, Agus Sukarto Wismogroho, Nobuhiro Takawe dan Kohji Kishio. 2003. *Formation Crystallographically Aligned Grains during Coarsening in a Magnetic Field*, vol 44: Japan.
- [11] Ambarwanti, Desyani. 2014. Sintesis Material Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Mn}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ Sebagai Penyerapan Gelombang Elektromagnetik Dengan Metode Ultrasonic Mixing. *Skripsi. Jurusan Fisika: Universitas Negeri Jakarta*.
- [12] Irasari, Pudji dan Novrita Idayanti. Aplikasi Magnet Permanen $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dan $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ Pada Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Skala Kecil. *Jurnal Sains dan Materi Indonesia* 2007; 11 (1) ISSN: 1411-1098.
- [13] Novaryadi, Mahendra Adi. 1998. Efek Hibridisasi Material Magnetik $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ dan $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ Terhadap Sifat Kemagnetan. *Skripsi. Jurusan Fisika: Universitas Indonesia*.
- [14] Folks, L., R. Street, R. C. Woodward dan K. Babcock. Magnetic Force Microscopy Images of High-Coercivity Permanent Magnets. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 1996; 159: 109-118.
- [15] Junliang, Liu, Zeng Yanwei, Guo Cuijing, Zhang Wei dan Yang Xiaowei. One-Step Synthesis of Barium Hexaferrite Nano-Powders Via Microwave-Assisted Sol–Gel Auto-Combustion. *Journal of the European Ceramic Society* 2010; 30: 993–997.
- [16] Spassov, T., P. Solsona, S. Surinach dan M.D. Baro. Optimisation of The Ball-Milling and Heat Treatment Parameters for Synthesis of Amorphous and Nanocrystalline Mg_2Ni -Based Alloys. *Journal of Alloys and Compounds* 2003; 349: 242-254.

- [17] Pauzan, Muh., Takeshi Kato, Satoshi Iwata dan Edi Suharyadi. Pengaruh Ukuran Butir dan Struktur Kristal terhadap Sifat Kemagnetan pada Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4). *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVII HFI Jateng & DIY* 2013; 24; 0853-0823.

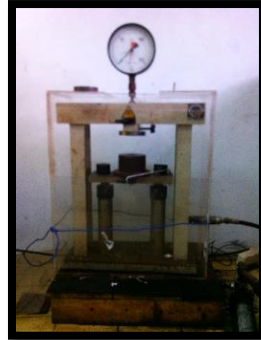


Lampiran

Alat yang Digunakan



HEM



Kompaktor hidrolik



Electric stove



Neraca Digital



Ultrasonic



vial

Bahan dan Alat Uji

Bahan



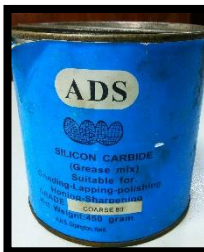
Serbuk $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$



Serbuk $\alpha - \text{Fe}$



Serbuk $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$



SiC

Alat Uji



Alat Permagraph



Alat SEM

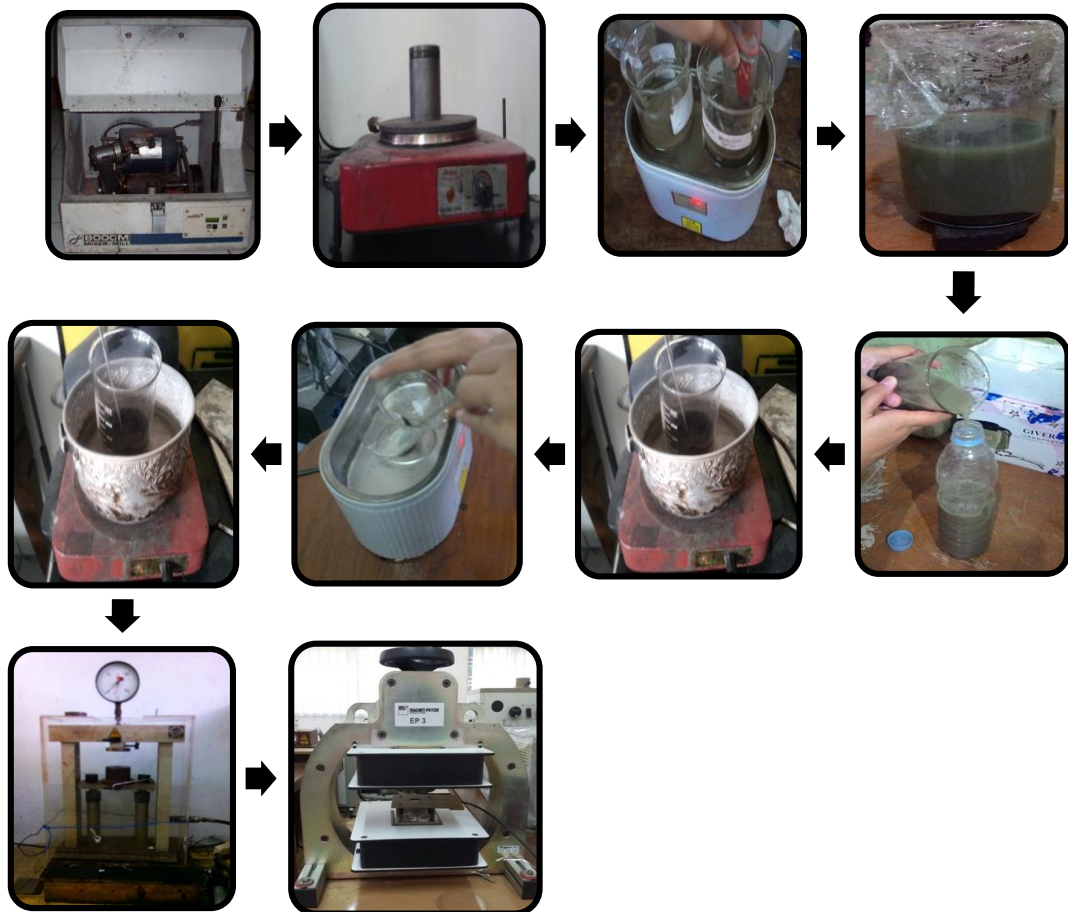


Alat XRD



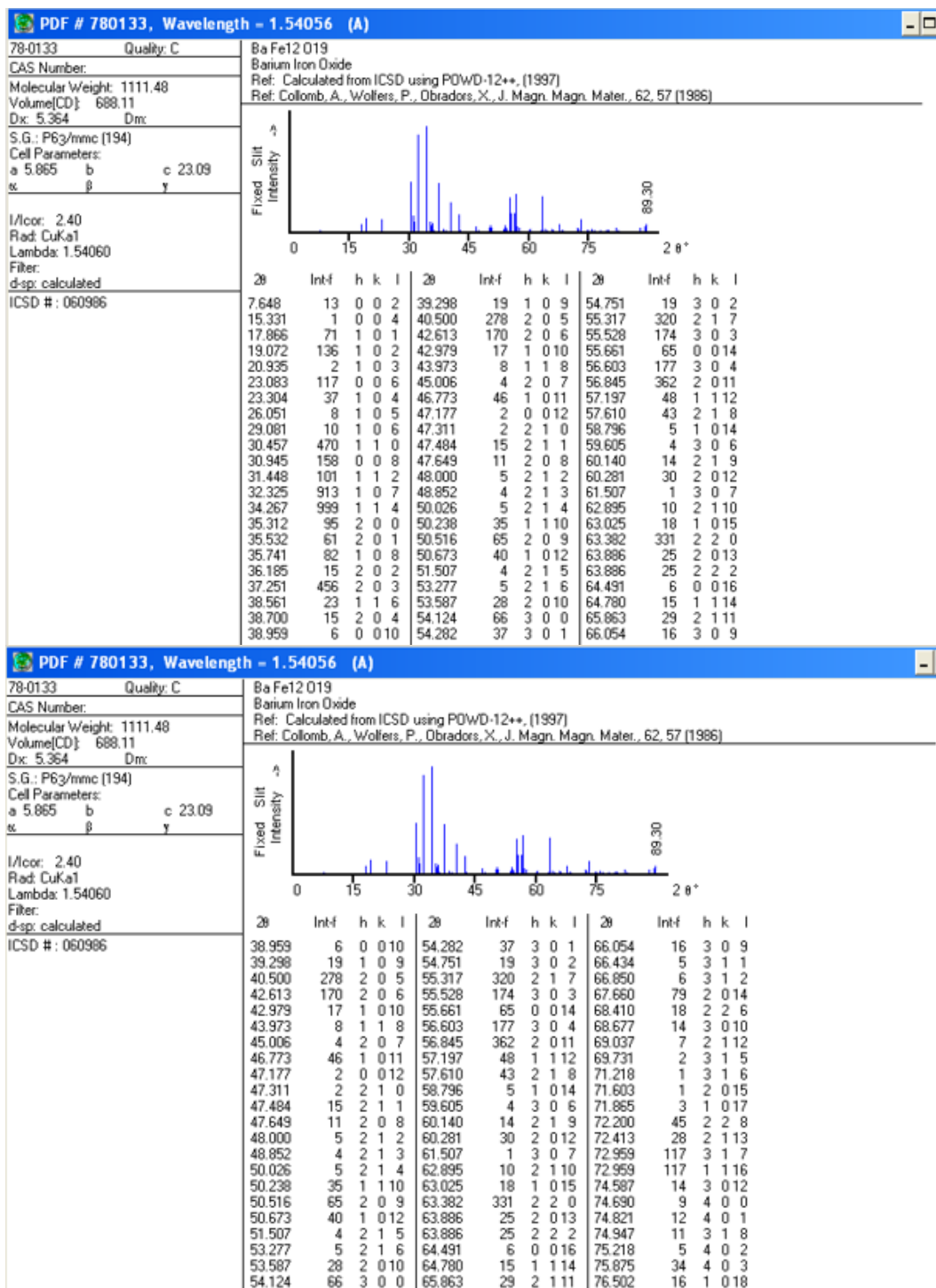
Alat PSA

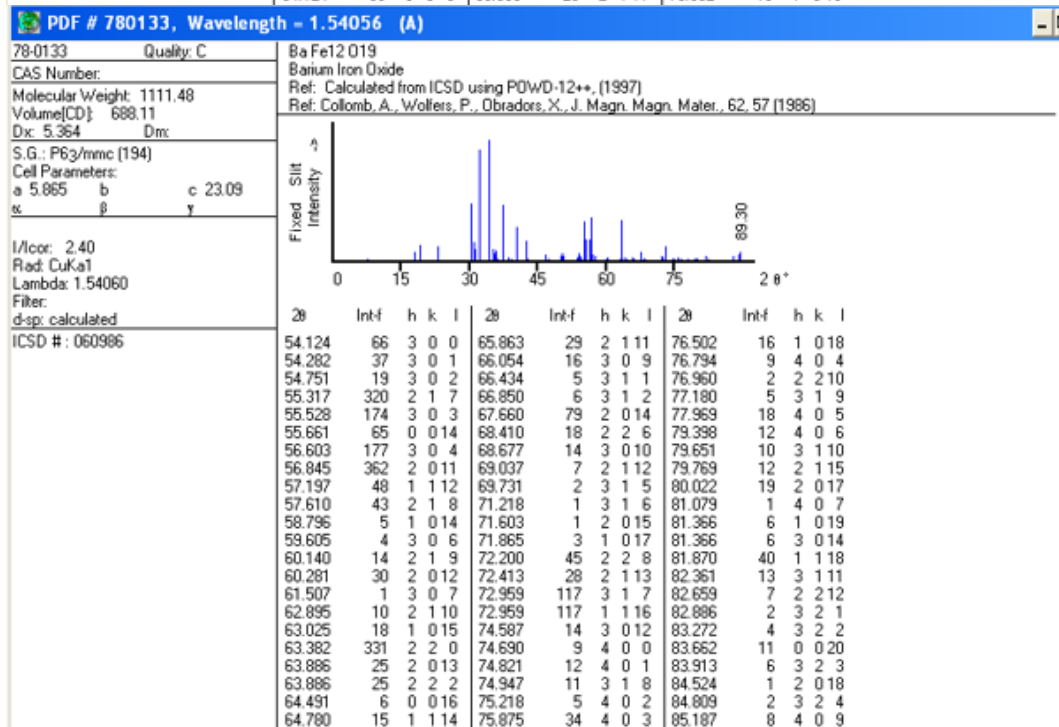
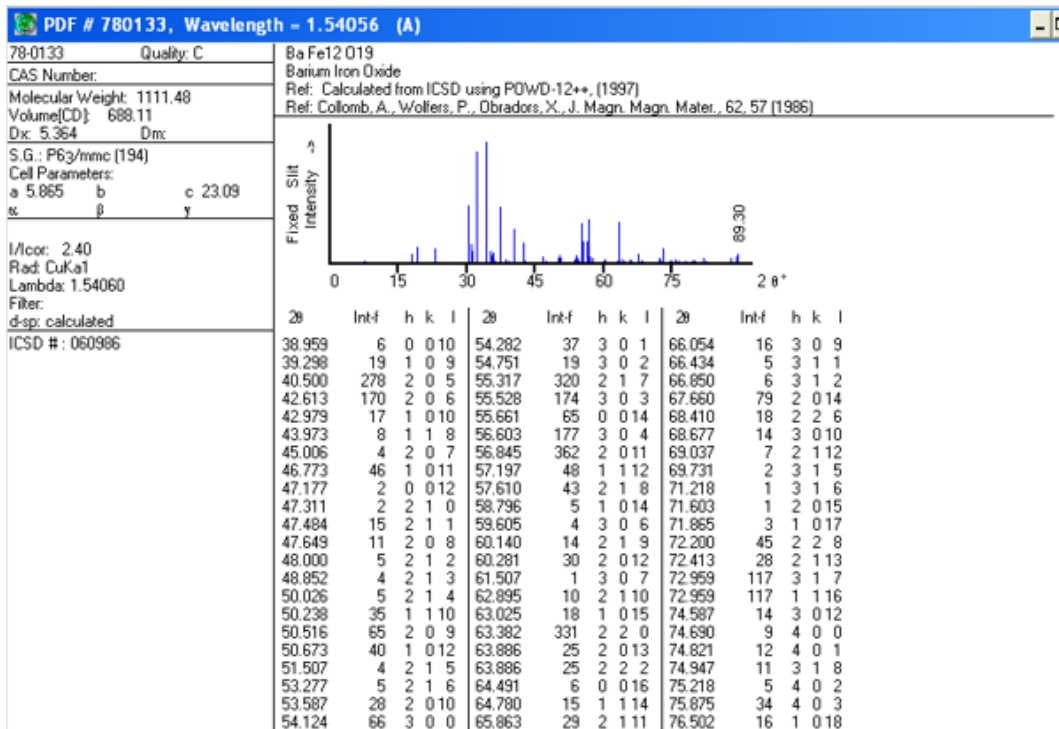
Proses

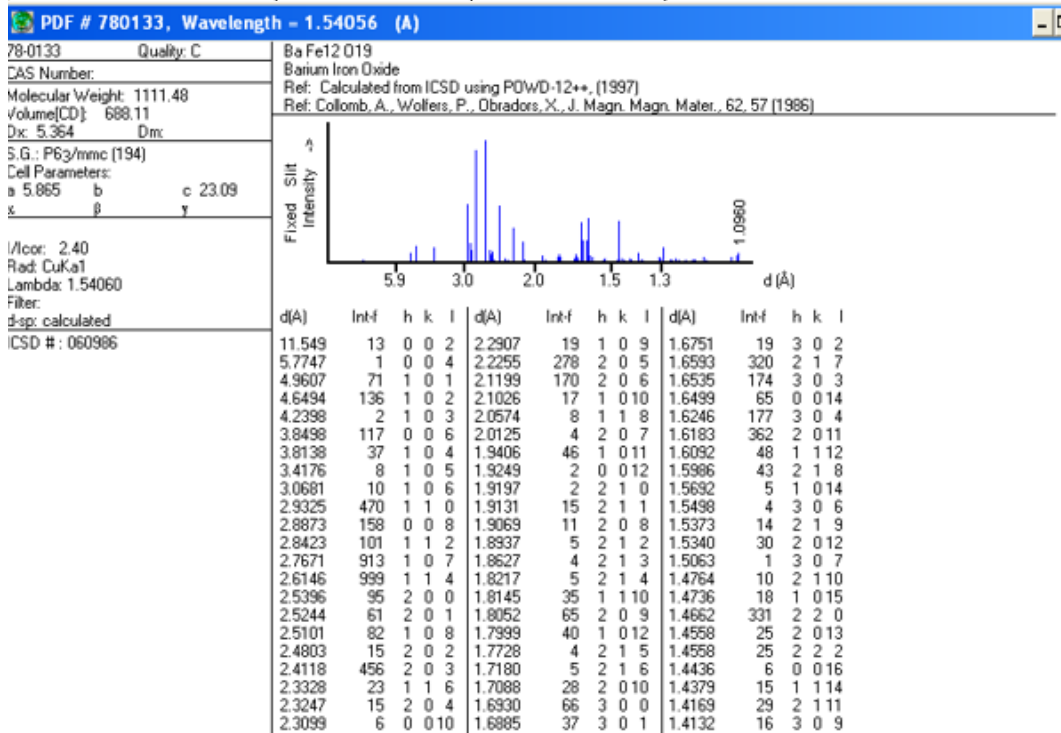
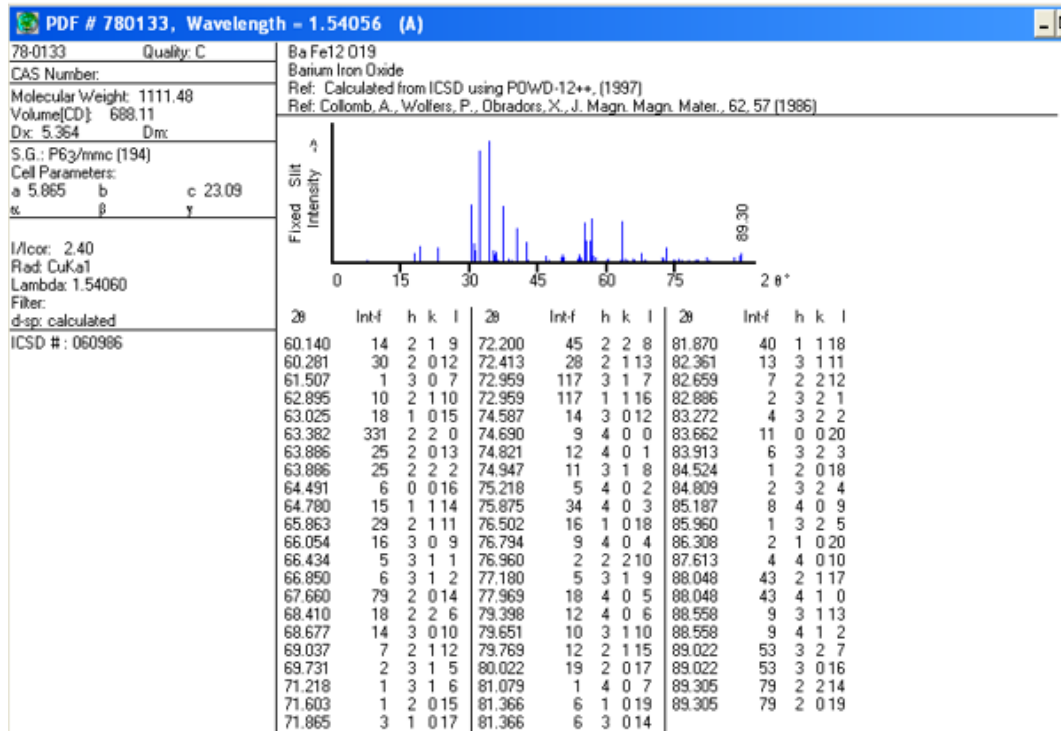


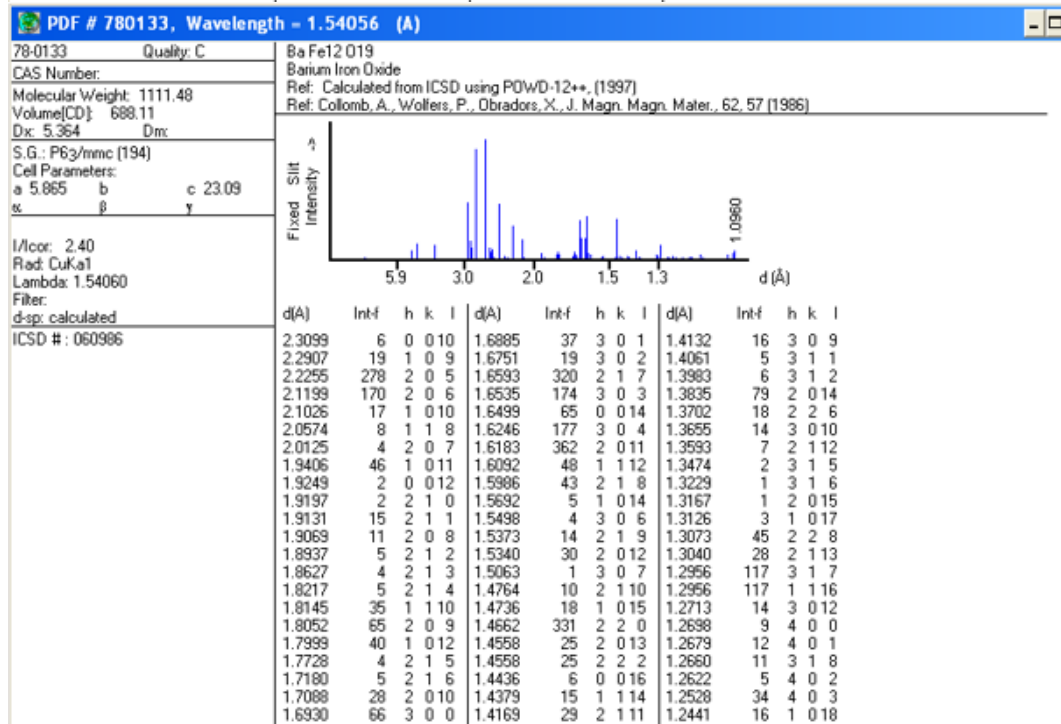
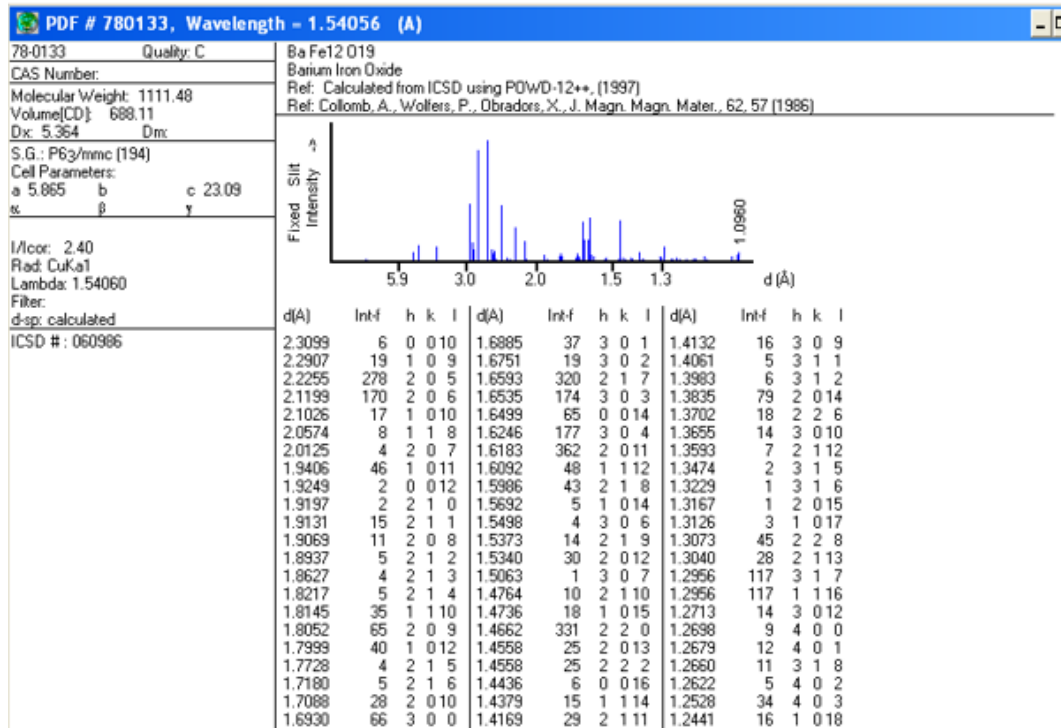
Pengolahan Data XRD

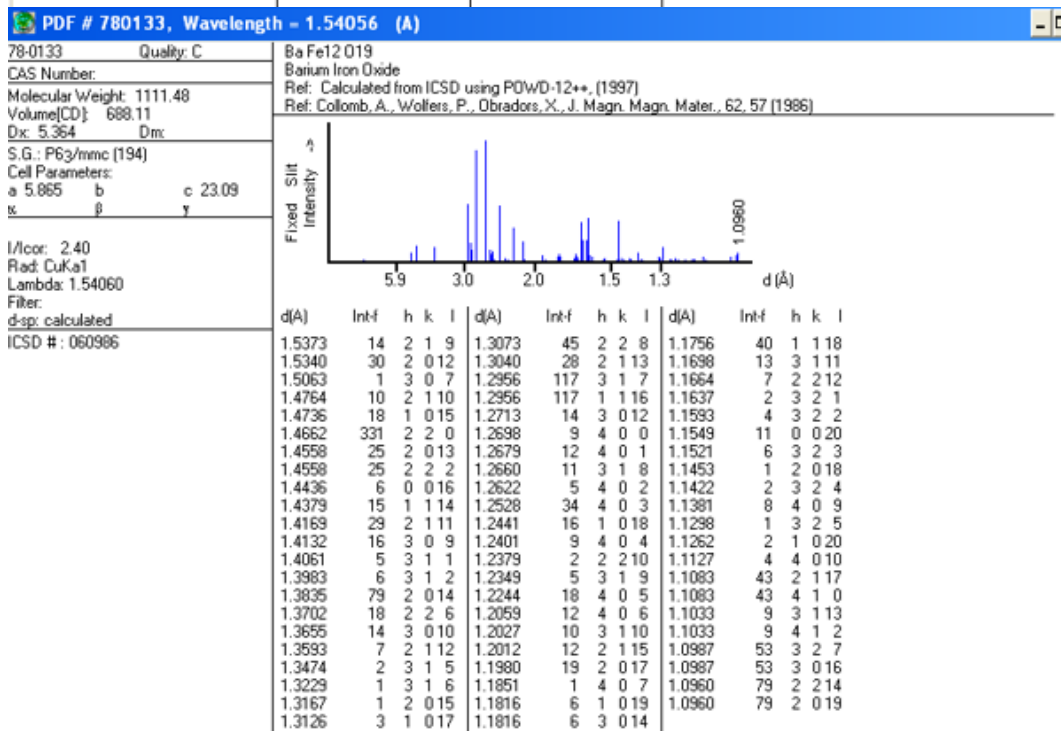
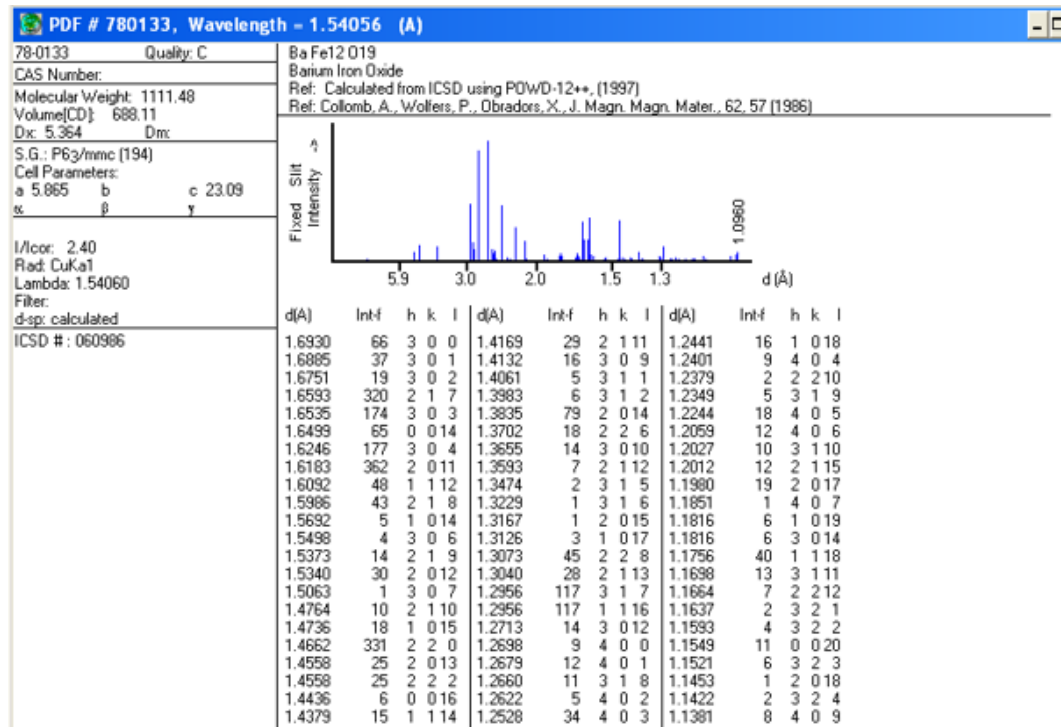
Tampilan data JPDS-ICDD

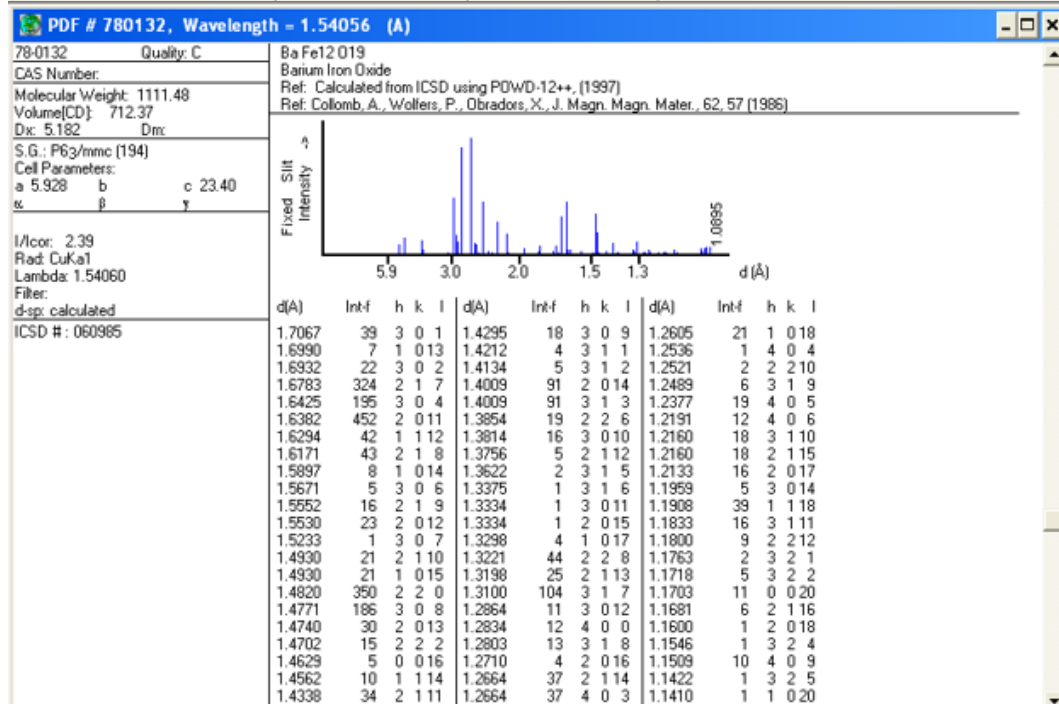
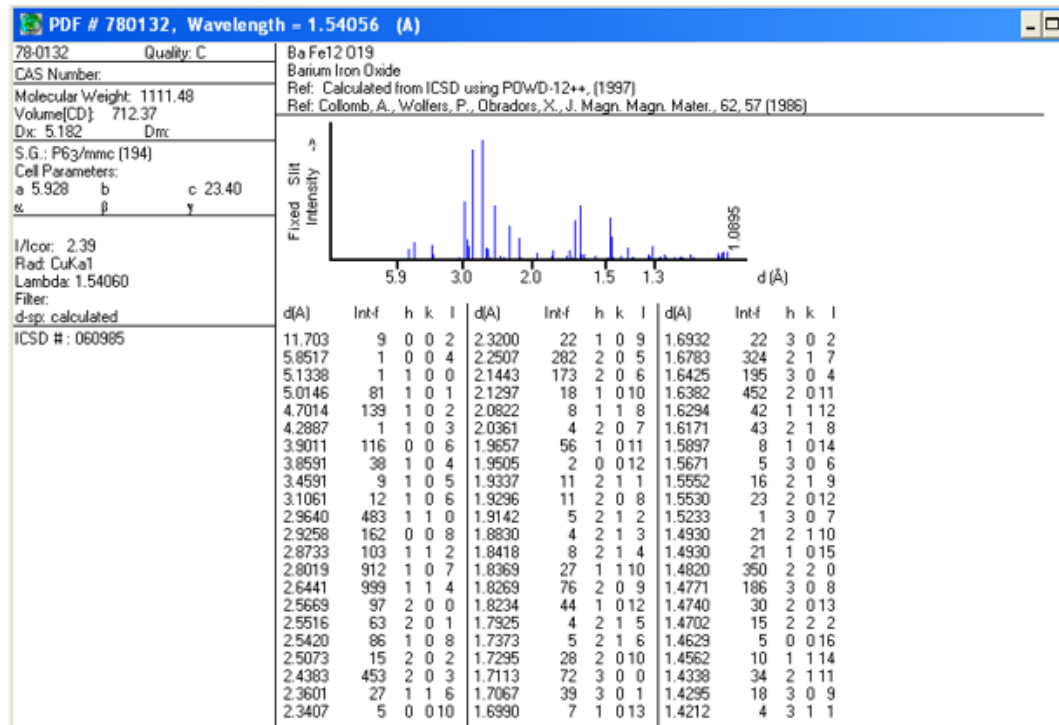


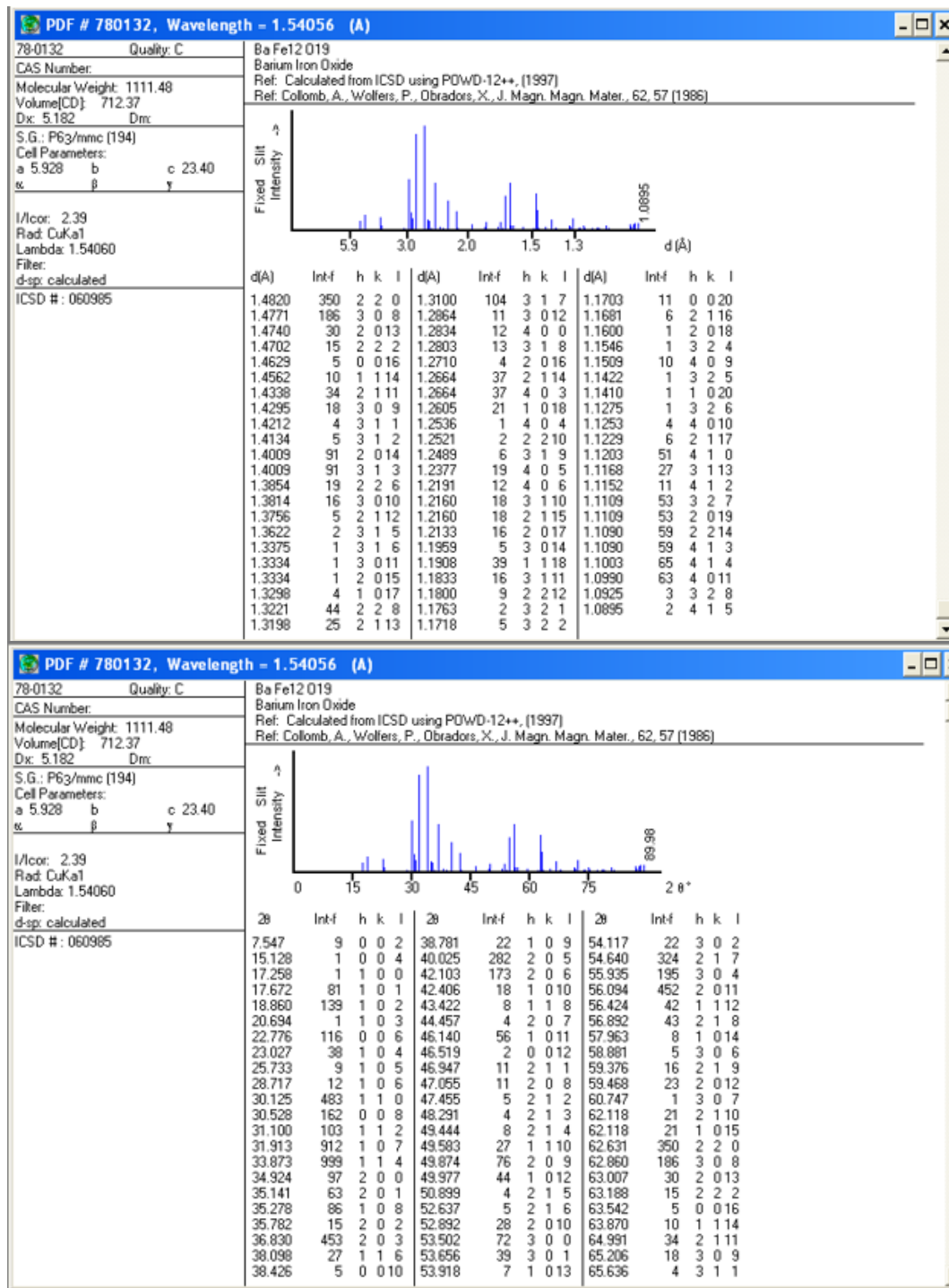


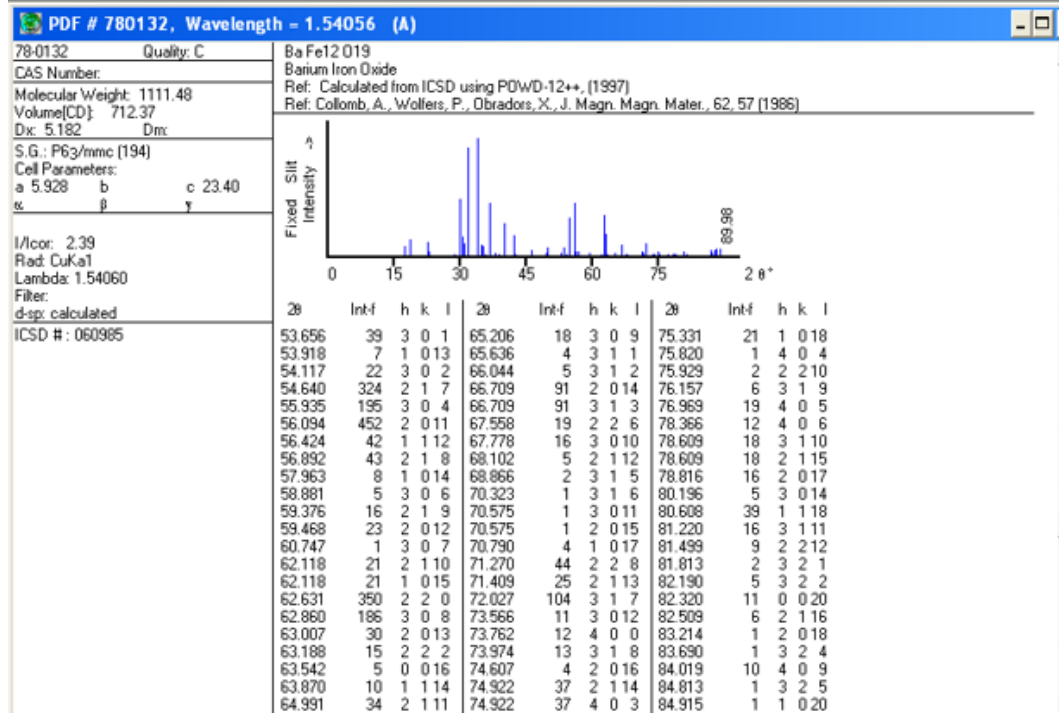
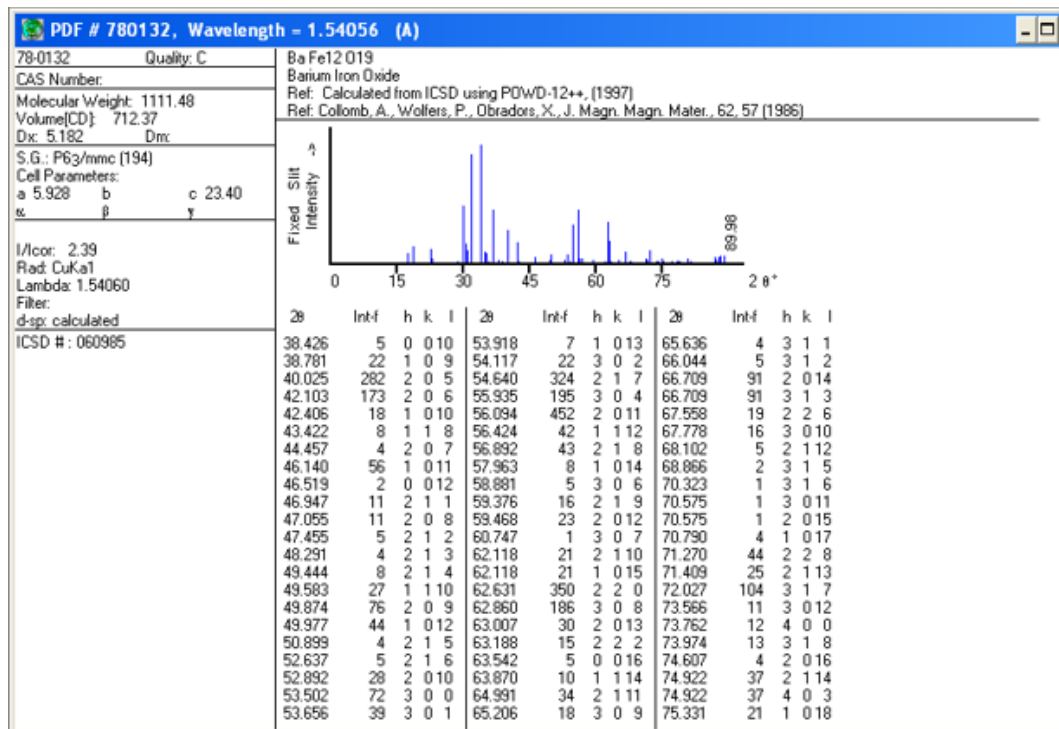


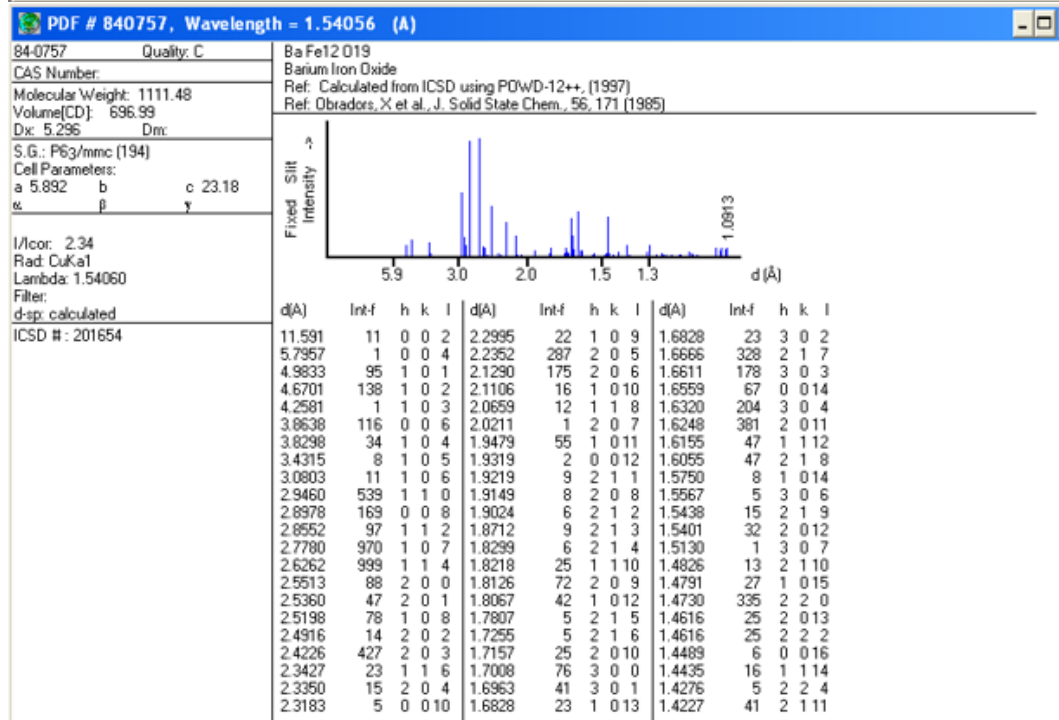
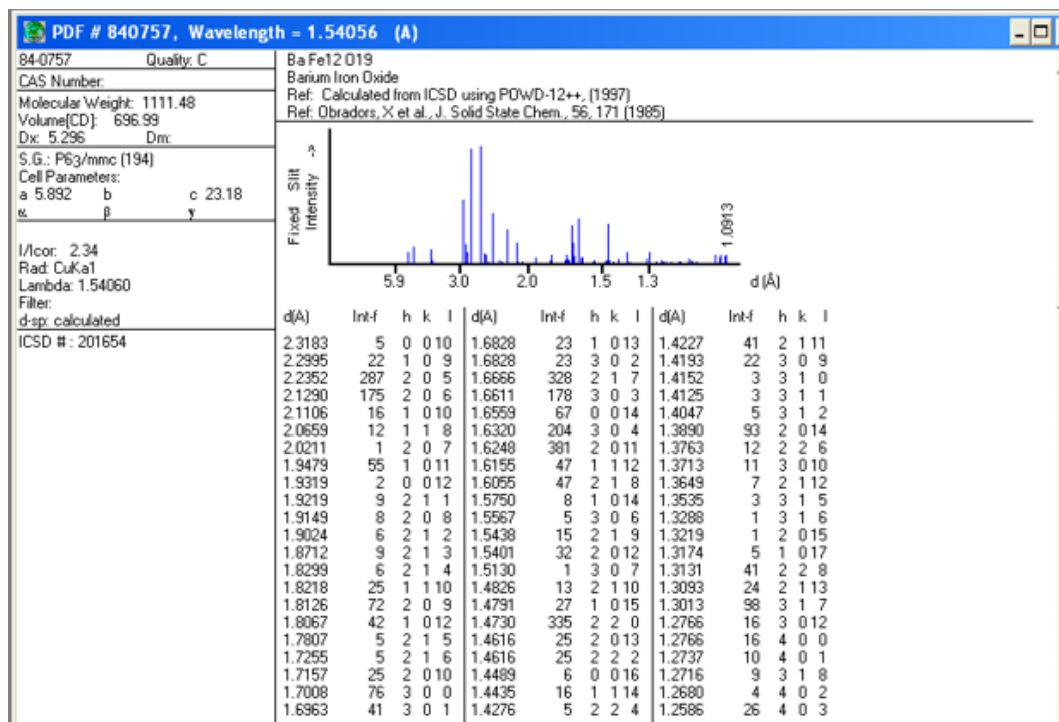


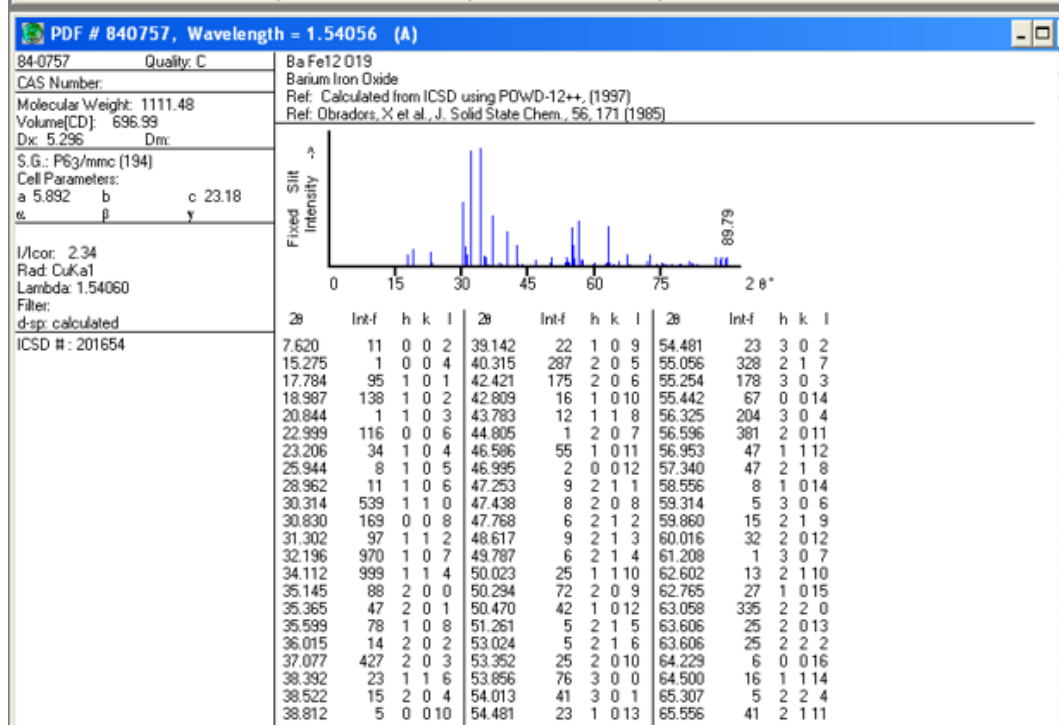
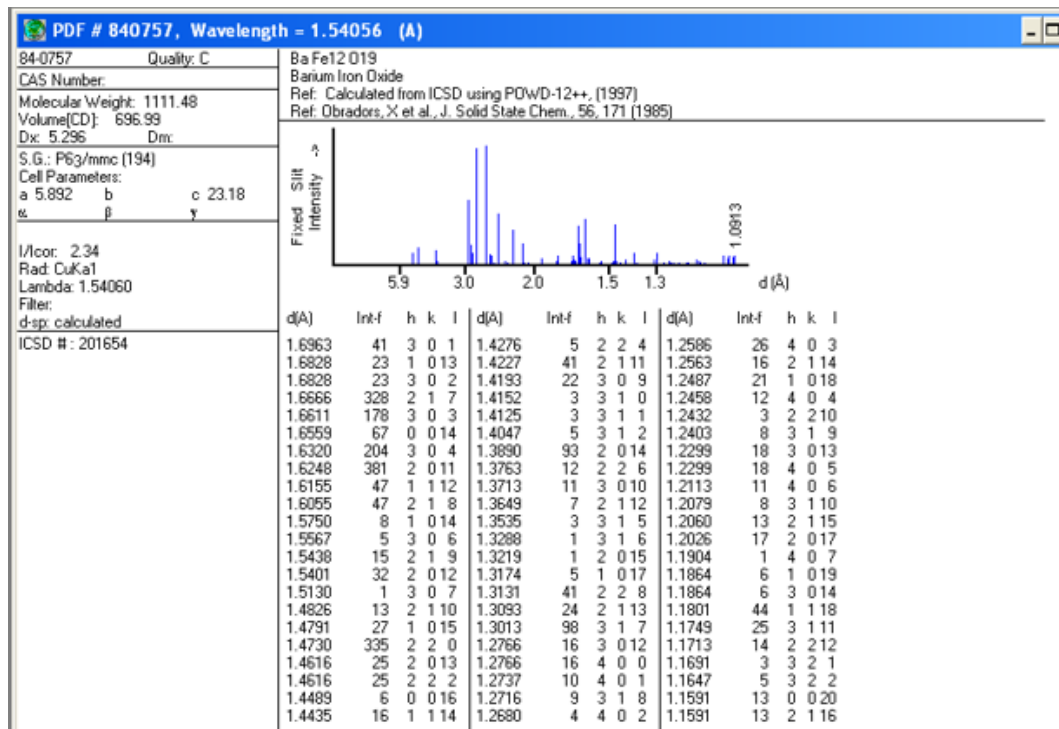


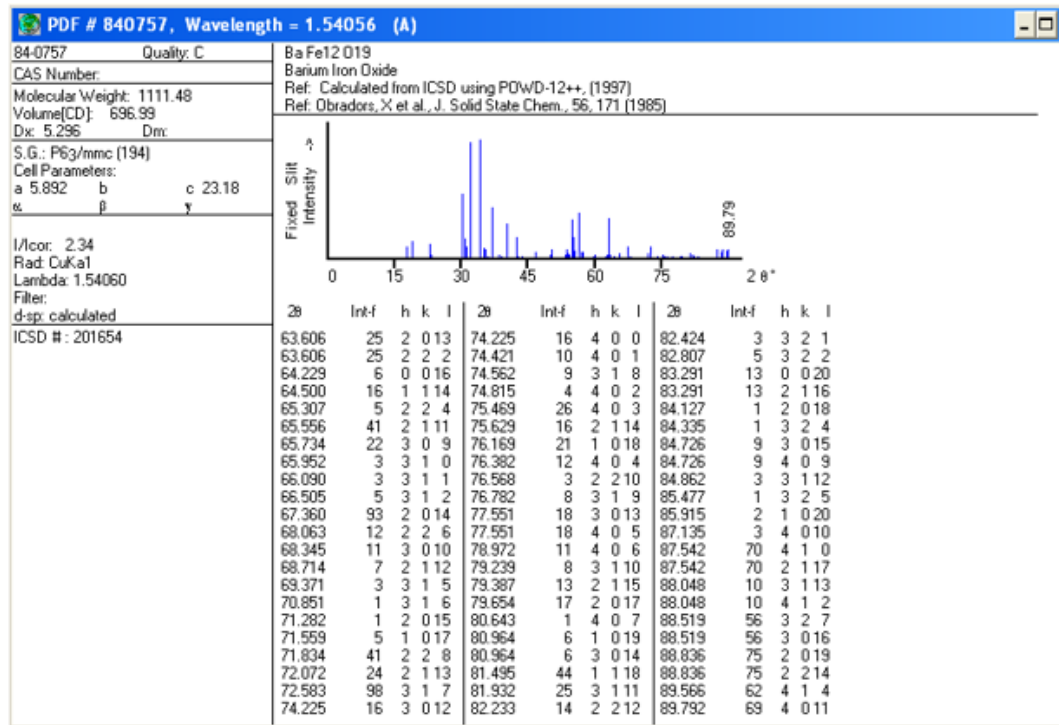
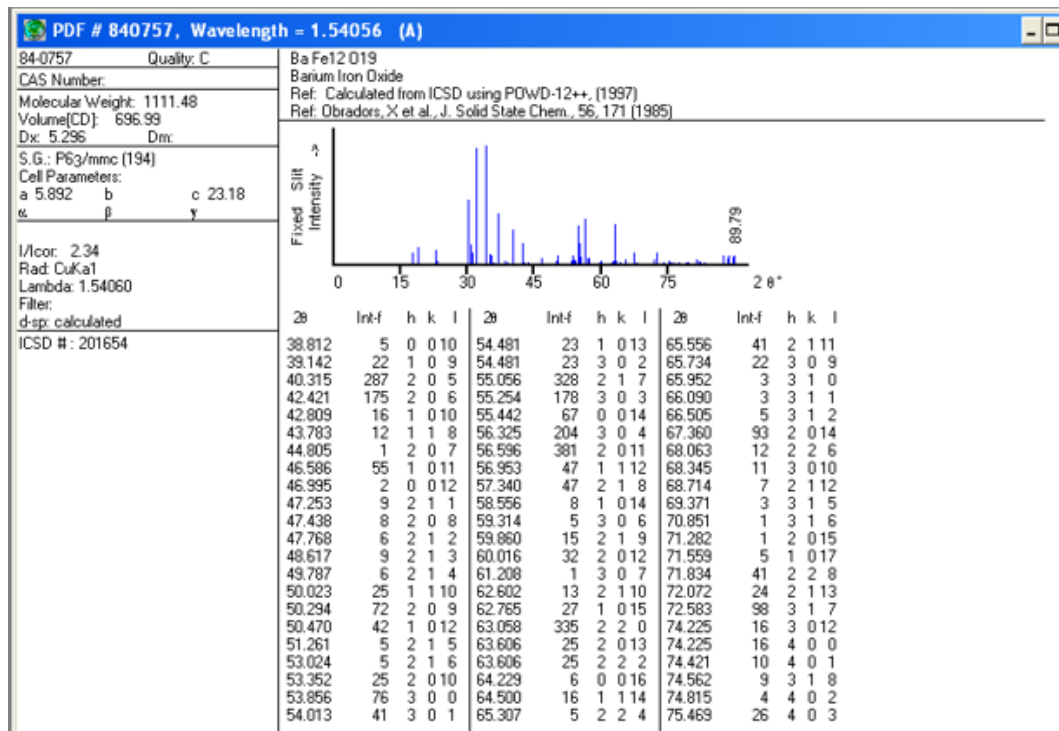












Output Data XRD

- BaFe₁₂O₁₉ sebelum dimilling selama 30 jam

File: SAMPEL.DI
2-jul-2015 17:00

=====
=====
File created with PowDLL. Nikos Kourkoelis
(nkourkou@cc.uoi.gr)

Sample identification:

Data measured at: 0-jan-2044 **:04:00

Diffractometer type:

Tube anode:

Generator tension [kV]: 35

Generator current [mA]: 30

Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54056

Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439

Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500

Thin film collimator: YES

Scatter slit (0.1 mm): NO

Monochromator used:

Start angle [2θ]: 10.020

End angle [2θ]: 79.980

Step size [2θ]: 0.020

Maximum intensity: 630.0100

Time per step [s]: 411.200

Type of scan:

Scan mode:

Fixed angle: 0.000

Smooth factor:

Weights and Levers:

Intensities converted to: FIXED

Minimum peak tip width: 0.00

Maximum peak tip width: 1.00

Peak base width: 2.00

Minimum significance: 0.75

Number of peaks: 16

Angle Rel. int [2θ] [%]	d-value Signif. à1 [Å]	d-value à2 [Å]	Peak width [2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]
23.060	3.8537	3.8633	0.160	213	538
33.8	1.52				

30.370	2.9407	2.9480	0.140	269	576
42.7	2.71				
30.890	2.8924	2.8996	0.080	299	576
47.5	0.95				
32.270	2.7718	2.7787	0.120	630	576
100.0	3.90				
34.165	2.6222	2.6288	0.120	511	581
81.1	4.19				
35.660	2.5157	2.5219	0.240	64	581
10.2	0.79				
37.155	2.4178	2.4238	0.100	180	581
28.5	0.98				
40.380	2.2318	2.2374	0.200	123	581
19.6	2.07				
42.545	2.1231	2.1284	0.160	77	581
12.3	0.83				
44.895	2.0173	2.0223	0.120	37	581
5.9	0.78				
50.380	1.8098	1.8143	0.240	36	586
5.7	0.88				
55.170	1.6634	1.6676	0.160	90	590
14.3	1.08				
56.690	1.6224	1.6264	0.280	142	590
22.5	3.68				
63.160	1.4709	1.4745	0.120	98	590
15.6	1.83				
67.575	1.3851	1.3886	0.960	18	590
2.8	1.13				
72.770	1.2985	1.3017	0.320	30	595
4.8	0.85				

- BaFe₁₂O₁₉ setelah dimilling selama 30 jam

File: SAMPEL2.DI
2-jul-2015 17:15

=====
=====

Sample identification: Sampel 2
Data measured at: 0--2028 0:00:00

Diffractometer type:
Tube anode: Cu
Generator tension [kV]: 40
Generator current [mA]: 30
Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54060
Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54443
Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500
Receiving slit: 0.05
Monochromator used: YES

Start angle [2θ]: 10.000
End angle [2θ]: 80.020
Step size [2θ]: 0.020
Maximum intensity: 207.3600
Time per step [s]: 0.400
Type of scan: STEP
Smooth factor: 1
Intensities converted to: FIXED

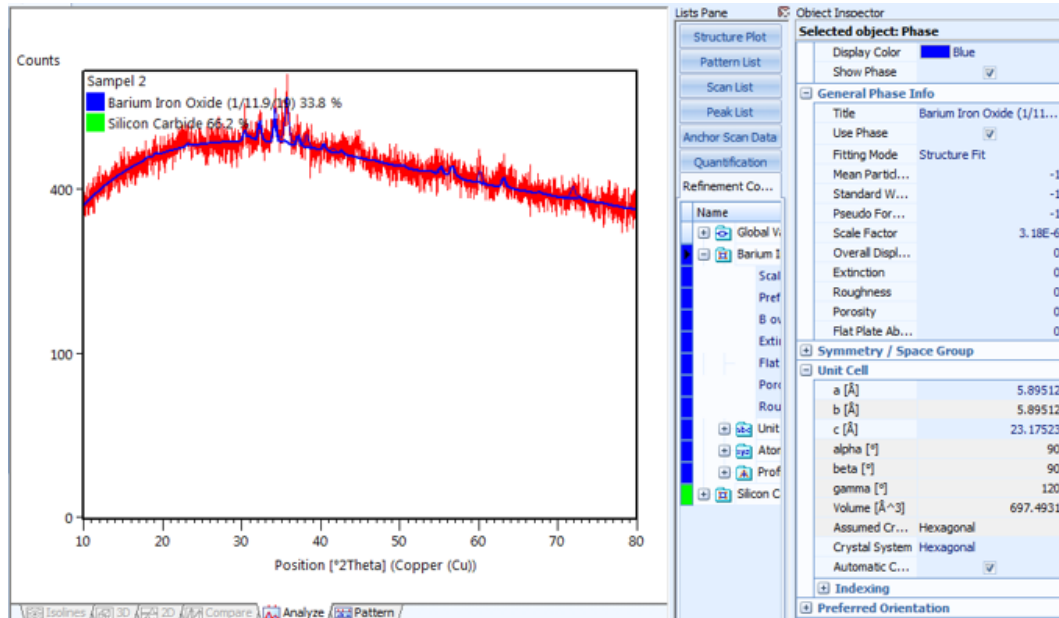
Minimum peak tip width: 0.00
Maximum peak tip width: 1.00
Peak base width: 2.00
Minimum significance: 0.75
Number of peaks: 11

Angle Rel. int [°]	d-value Signif. à1 [Å]	d-value à2 [Å]	Peak width [2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]
22.575	3.9355	3.9453	0.960	23	520
11.1	1.45				
26.125	3.4082	3.4167	0.640	31	515
15.1	1.36				
30.440	2.9342	2.9415	0.320	58	520
27.9	0.78				
32.280	2.7710	2.7779	0.320	77	520
37.3	1.09				
34.260	2.6153	2.6218	0.280	128	524
61.6	2.10				

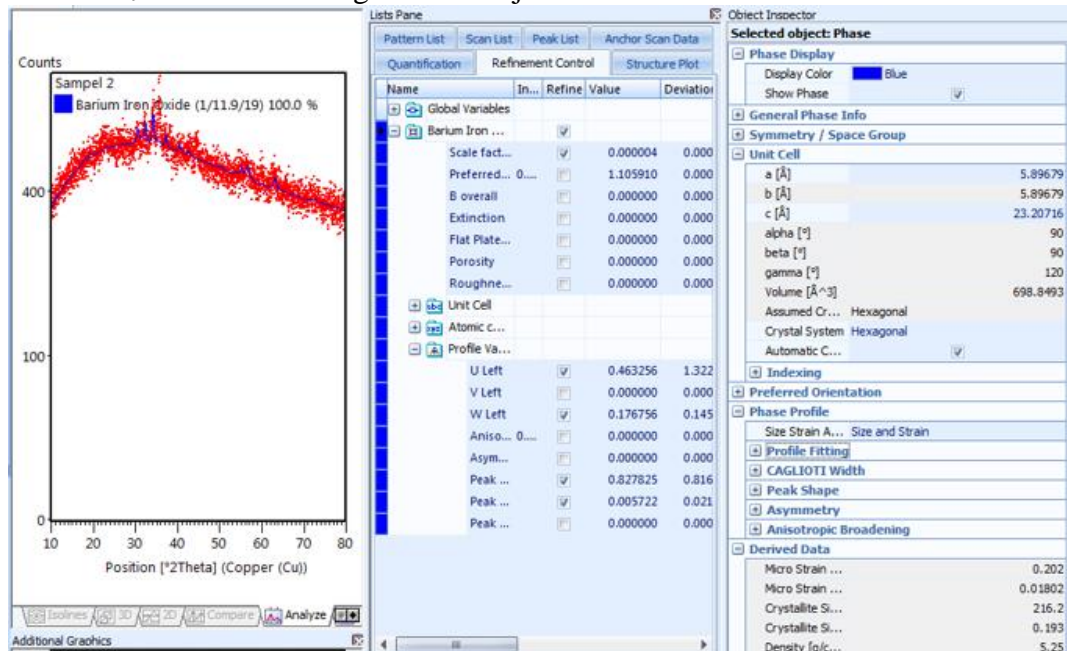
35.735	2.5106	2.5169	0.060	207	524
100.0	0.78				
37.200	2.4150	2.4210	0.480	25	529
12.1	1.10				
42.705	2.1156	2.1209	0.960	22	497
10.7	0.89				
44.600	2.0300	2.0351	0.480	46	488
22.3	1.76				
60.070	1.5390	1.5428	0.240	52	420
25.0	0.77				
62.540	1.4840	1.4877	0.960	20	416
9.8	1.69				

Pengolahan *highscore plus*

BaFe₁₂O₁₉ sebelum dimilling selama 30 jam

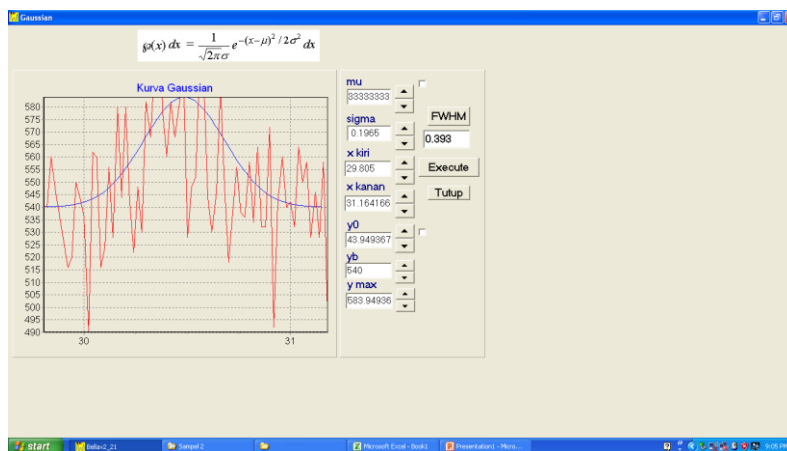
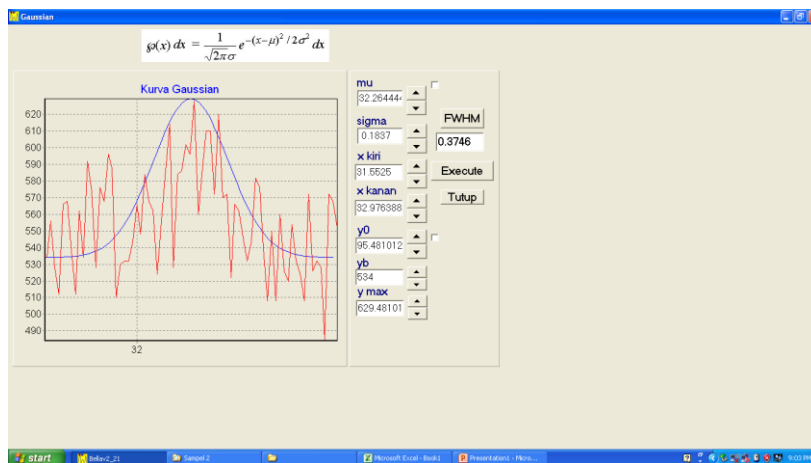
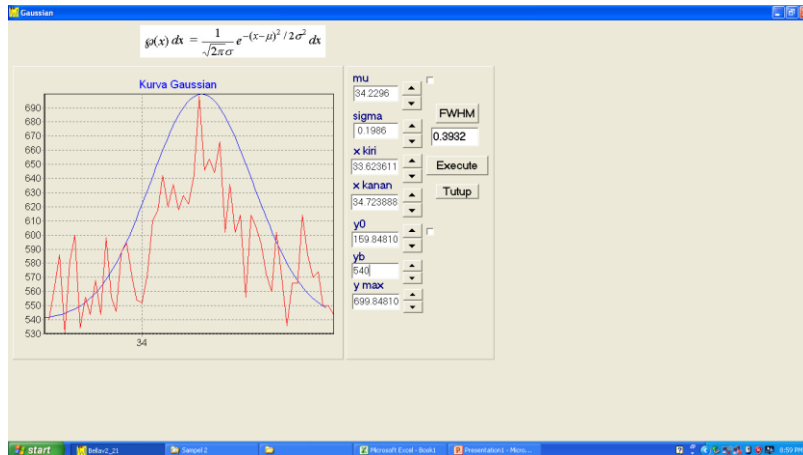


BaFe₁₂O₁₉ setelah dimilling selama 30 jam



Pengolahan Bella

BaFe₁₂O₁₉ setelah dimilling selama 30 jam



Data pencocokkan icdd

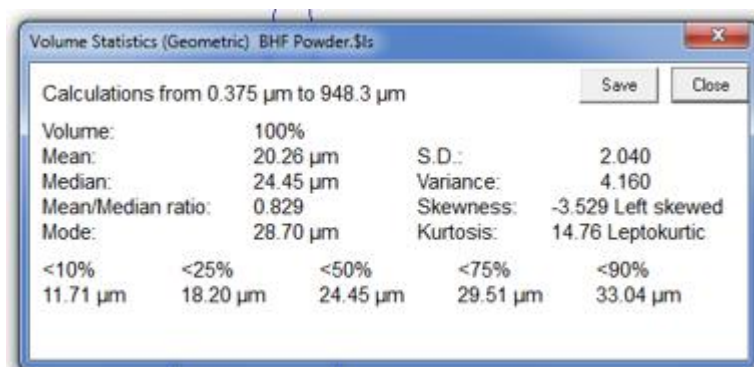
BaFe₁₂O₁₉ sebelum dimilling selama 30 jam

No.	Rel. Int (%)	Angle, 20 (deg)	Angle, 20 (deg) (ref)	d hkl			h	k	l	No. Kartu	Fasa
				eks 1	eks 2	Ref					
1	470	30,40	30,45	2,94	2,95	2,93	1	1	9	78-0133	BaFe ₁₂ O ₁₉
2	158	30,90	30,94	2,89	2,90	2,88	0	0	8	78-0133	
3	970	32,26	32,19	2,77	2,78	2,78	1	0	7	84-0757	
4	95	34,20	34,26	2,62	2,63	2,54	2	0	0	78-0133	
5	78	35,66	35,60	2,52	2,52	2,52	1	0	8	84-0757	
6	427	37,15	37,07	2,42	2,43	2,42	2	0	3	84-0757	
7	456	37,18	37,25	2,42	2,43	2,41	2	0	3	78-0133	
8	170	42,54	42,61	2,12	2,13	2,12	2	0	6	78-0133	
9	5	52,33	52,63	1,81	1,81	1,74	2	1	6	78-0133	
10	177	56,71	56,60	1,62	1,63	1,62	3	0	4	78-0133	
11	15	63,18	63,18	1,47	1,47	1,47	2	2	2	78-0132	
12	2	70,30	70,30	1,30	1,30	1,33	3	1	6	78-0131	

BaFe₁₂O₁₉ setelah dimilling selama 30 jam

No.	Rel. Int (%)	Angle, 20 (deg)	Angle, 20 (deg) (ref)	d hkl			h	k	l	No. Kartu	Fasa
				eks 1	eks 2	Ref					
1	999	34,23	34,26	2,62	2,62	2,61	1	1	4	78-0133	BaFe ₁₂ O ₁₉
2	913	32,26	32,32	2,62	2,62	2,77	1	0	7	78-0133	
3	470	30,48	30,46	2,93	2,94	2,93	1	1	0	78-0133	

Output Data PSA



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



CYNTHIA SAGITA. Lahir di Jakarta, 6 Desember 1993 dari pasangan Ibu Aryati dan Bapak Nasirman sebagai anak kedua dari tiga bersaudara.

Pendidikan formal dimulai dari TK Bunda (1998-1999), SDN Cikuya II (1999-2005), SMPN 1 Balaraja (2005-2008), SMAN 1 Kabupaten Tangerang (2008-2011), dan kemudian Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Jakarta (September 2011-

September 2015). Selama kuliah pernah menjadi asisten laboratorium Fisika Dasar dan Fisika Modern, peserta olimpiade OSN-Pertamina dan menjadi pemakalah pada acara Seminar Nasional Fisika (SNF) 2015 di Universitas Negeri Jakarta. Pernah bekerja *part time* sebagai pengajar *private* untuk mata pelajaran fisika dan matematika untuk SMP serta SMA. Tahun 2014 bergabung dengan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) divisi Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi dalam menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan.

Di bidang non-akademik, penulis juga aktif diberbagai kegiatan organisasi. Pengalaman organisasi yang pernah diikuti adalah Drum Band SMPN 1 Balaraja (2005-2007) dan KIR SMAN 1 Kabupaten Tangerang (2009-2010).