



**PENGARUH PROSES PEMURNIAN SECARA
MEKANIK DAN KIMIA PASIR BESI TERHADAP
SIFAT FISIK DAN MAGNETIK BAHAN DASAR
MAGNET PERMANEN BARIUM FERIT**

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin**

Oleh

Bagus Setiawan

NIM. 5212413021

**TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2020**



UNNES

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

**PENGARUH PROSES PEMURNIAN SECARA
MEKANIK DAN KIMIA PASIR BESI TERHADAP
SIFAT FISIK DAN MAGNETIK BAHAN DASAR
MAGNET PERMANEN BARIUM FERIT**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Bagus Setiawan
NIM : 5212413021
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Pengaruh Proses Pemurnian Secara Mekanik dan Kimia Pasir Besi Terhadap Sifat Fisik dan Magnetik Bahan Dasar Magnet Permanen Barium Ferit.

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 7 Februari 2020
Pembimbing



Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T.
NIP. 197509272006041002

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Pengaruh Proses Pemurnian Secara Mekanik dan Kimia Pasir Besi Terhadap Sifat Fisik dan Magnetik Bahan Dasar Magnet Permanen Barium Ferit telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 25 Februari 2020

Oleh

Nama : Bagus Setiawan
NIM : 5212413021
Program Studi : Teknik Mesin

Panitia Ujian:

Ketua




RUSIYANTO, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

Sekretaris



Wahyudi, S.Pd., M.Eng.
NIP. 198003192005011001

Penguji 1



RUSIYANTO, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

Penguji 2



Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197601012003121002

Penguji 3/Pembimbing



Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T.
NIP. 197509272006041002

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik Sarjana, baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 7 Februari 2020
Yang membuat pernyataan,



Bagus Setiawan
NIM. 5212413021

MOTTO

“With hardship (will be) ease”
(QS. 94:6)

Untuk Bapak, Ibu, dan keluarga tercinta

RINGKASAN

Bagus Setiawan. 2020. Pengaruh Proses Pemurnian Secara Mekanik dan Kimia Pasir Besi Terhadap Sifat Fisik dan Magnetik Bahan Dasar Magnet Permanen Barium Ferit. Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T. Teknik Mesin

Pada penelitian ini, perbandingan proses pemurnian pasir besi secara mekanik dan kimia terhadap sifat fisik dan magnetik material magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dilaporkan. Proses pemurnian secara mekanik pasir besi dilakukan dengan proses penyaringan menggunakan magnet permanen sebanyak 35 kali penyaringan. Sedangkan proses pemurnian secara kimia pasir besi dilakukan dengan cara perendaman pasir besi di dalam larutan HCl dengan konsentrasi 37%.

Hasil pemurnian dari kedua proses yang berupa serbuk tersebut lalu dioksidasi pada temperatur 900 °C selama 5 jam, dan setelahnya diikuti pengujian *X-Ray Diffractometer* (XRD) untuk mengetahui fasa terbentuk. Serbuk hasil oksidasi kedua proses pemurnian sebelumnya, masing-masingnya ditambahkan dan dicampurkan serbuk BaCO_3 menggunakan *shaker ball mill* sampai dengan 10 jam. Kedua sampel paduan tersebut *disintering* pada temperatur 1100 °C selama 1 jam. Kedua sampel pasca sintering dikarakterisasi menggunakan XRD dan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM).

Hasil pemurnian pasir besi secara mekanik dan kimia yang dioksidasi menunjukkan terbentuknya fasa tunggal *hematite* (Fe_2O_3) yang berbeda ukuran kristalannya. Hasil pengujian VSM menunjukkan nilai kemagnetan tertinggi pada $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ perpaduan sampel yang sebelumnya dilakukan proses pemurnian secara kimia dengan nilai remanen (Br) 19.14-22.82 emu/g, saturasi magnetik (σ_s) 40.70-46.01 emu/g dan nilai koersifitas (Hc) 1.639-2.034 kOe. Penggunaan proses pemurnian pasir besi secara kimia menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan proses pemurnian pasir besi secara mekanik.

Kata kunci: pemurnian, pasir besi, *hematite*, oksidasi, *sintering*, koersifitas.

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayahNya, penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Pengaruh Proses Pemurnian Secara Mekanik dan Kimia Pasir Besi Terhadap Sifat Fisik dan Magnetik Bahan Dasar Magnet Permanen Barium Ferit”.

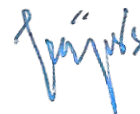
Pada kesempatan ini tak lupa penulis sampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi, baik dalam pelaksanaan observasi, praktik, maupun penyusunan skripsi ini, diantaranya:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum., Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., IPM., Dekan Fakultas Teknik UNNES.
3. RUSIYANTO, S.Pd., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin UNNES.
4. Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D., Ketua Program Studi Teknik Mesin.
5. Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T., Dosen Pembimbing yang selalu sabar penuh perhatian, berkenan meluangkan waktu, memberi bantuan dan masukan, serta kemudahan dalam proses bimbingan penyusunan skripsi.
6. RUSIYANTO, S.Pd., M.T., Dosen Penguji 1 yang berkenan membantu dalam pemberian masukan berupa saran yang membangun sehingga menambah kualitas isi dalam karya ilmiah ini.
7. Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D., Dosen Penguji 2 yang berkenan memberi pertanyaan, komentar dan tanggapan sehingga menambah bobot dari apa yang tertuang dalam penulisan karya ilmiah ini.

8. Semua Dosen di Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang yang telah memberi bekal berupa ilmu pengetahuan berharga.
9. Keluarga yang telah memberikan dukungan dalam menyelesaikan penulisan karya ilmiah ini.
10. Sahabat dan teman seperbimbingan Arif, Imam, dan Rifki
11. Berbagai pihak yang memberikan sumbangsih untuk karya ilmiah ini yang tidak bisa dituliskan satu persatu.

Semoga bantuan yang telah diberikan mendapatkan imbalan dari Allah SWT. Oleh karena itu, kritik dan saran membangun penulis terima dengan senang hati. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat, baik bagi penulis maupun pembaca.

Semarang, 7 Februari 2020



Penulis

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR BERLOGO	ii
JUDUL DALAM	iii
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	iv
PENGESAHAN	v
PERNYATAAN KEASLIAN.....	vi
MOTTO	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN SIMBOL	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Pembatasan Masalah	5
1.4 Rumusan Masalah	8
1.5 Tujuan Penelitian	8
1.6 Manfaat penelitian	8

BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka	10
2.2 Landasan Teori.....	14
2.2.1 Pasir besi.....	14
2.2.2 Oksida Besi.....	15
2.2.3 Sintesis Oksida Besi	17
2.2.4 Sifat Magnet.....	19
2.2.5 Bahan Magnet.....	21
2.2.6 <i>Sintering</i>	23
2.2.7 Karakterisasi	24

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	28
3.1.1 Waktu Pelaksanaan.....	28
3.1.2 Tempat Pelaksanaan	28
3.2 Desain Penelitian	28
3.2.1 Diagram Alir Penelitian.....	28
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	32
3.3.1 Alat Penelitian	32
3.3.2 Bahan Penelitian	36
3.4 Parameter Penelitian	37
3.4.1 Variabel Bebas.....	37
3.4.2 Variabel Terikat.....	37
3.5 Teknik Pengumpulan Data.....	37

3.6 Kalibrasi Instrumen.....	39
3.7 Teknik Analisis Data.....	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Deskripsi Data.....	40
4.2 Analisis Data.....	43
4.2.1 Pengujian XRD <i>Raw Material</i>	43
4.2.2 Proses Pemurnian Pasir Besi.....	47
4.2.3 Proses Oksidasi.....	53
4.2.4 Proses Mechanical Alloying.....	58
4.2.5 Karakterisasi XRD Sampel <i>Sintering</i> 1100 °C 1 Jam.....	71
4.2.6 Karakterisasi Sifat Magnetik.....	76
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	79
5.2 Saran.....	80
DAFTAR PUSTAKA.....	82
LAMPIRAN.....	84

DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN SIMBOL

BaCO ₃	: barium karbonat
Br	: nilai remanen (emu/gr)
<i>d</i>	: Jarak antara dua bidang (Å)
D _{av}	: <i>average diameter</i>
Fe ₂ O ₃	: <i>hematite</i>
Fe ₃ O ₄	: <i>magnetite</i>
H	: medan magnet (10 kOe)
H ₂ SO ₄	: asam sulfat
H _c	: nilai/medan koersifitas (kOe)
HCl	: asam klorida
HNO ₃	: asam nitrat
<i>n</i>	: bilangan bulat orde pembiasan
PSA	: <i>Particle Size Analyzer</i>
SiO ₂	: <i>crystalite low</i> /pasir silika
T	: temperatur (°C)
t	: waktu (jam)
VSM	: <i>Vibrating Sample Magnetometer</i>
XRD	: <i>X-Ray Diffractometer</i>
θ	: sudut datang (°)
λ	: panjang gelombang (Å)
σ_s	: saturasi magnetik (emu/gr)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik unsur besi	14
Tabel 2.2 Struktur orientasi oksida besi.....	17
Tabel 2.3 Arah pergerakan atom magnet	21
Tabel 3.1 Jumlah kebutuhan spesimen uji	32
Tabel 3.2 Instrumen data karakterisasi XRD	38
Tabel 3.3 Instrumen data karakterisasi PSA	38
Tabel 3.4 Instrumen data karakterisasi VSM.....	38
Tabel 4.1 Distribusi ukuran partikel dengan variasi waktu <i>milling</i>	42
Tabel 4.2 Karakteristik sifat magnet BaFe ₁₂ O ₁₉ <i>sintering</i> 1100 °C 1 jam.....	43
Tabel 4.3 Perbandingan sifat fisik hematit oksidasi 900 °C selama 5 jam.....	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur kristal <i>hematite</i>	15
Gambar 2.2 Loop histerisis magnet keras	22
Gambar 2.3 Loop histerisis magnet lunak.....	23
Gambar 2.4 Sintering pada skala mikroskopik	24
Gambar 2.5 Kurva histerisis bahan feromagnetik.....	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 3.2 Magnet permanen.....	33
Gambar 3.3 Timbangan digital	33
Gambar 3.4 Gelas beaker	34
Gambar 3.5 Kertas saring.....	34
Gambar 3.6 XRD <i>Expert '3 Powder</i>	34
Gambar 3.7 <i>Laser Particle Sizer LLPA-C10</i>	35
Gambar 3.8 <i>Furnace</i>	35
Gambar 3.9 <i>Vibrating sample magnetometer</i>	36
Gambar 3.10 Pasir besi pantai Purworejo	36
Gambar 4.1 Pola XRD <i>raw material</i>	40
Gambar 4.2 Pola XRD sampel pemurnian.....	41
Gambar 4.3 Pola XRD sampel oksidasi 900 °C 5 jam	41
Gambar 4.4 Pola XRD sampel <i>milling</i> 10 jam yang disintering 1100 °C.....	43
Gambar 4.5 Analisis awal <i>raw material</i>	44
Gambar 4.6 Analisis kuantitative <i>raw material</i>	45

Gambar 4.7 Karakteristik sifat fisik Fe_3O_4 <i>raw material</i>	46
Gambar 4.8 Karakteristik sifat fisik SiO_2 <i>raw material</i>	46
Gambar 4.9 Analisis awal pemurnian mekanik	48
Gambar 4.10 Analisis kuantitative pemurnian mekanik	48
Gambar 4.11 Karakteristik sifat fisik <i>magnetite low</i> pemurnian mekanik.....	49
Gambar 4.12 Karakteristik sifat fisik <i>iron-alpha</i> pemurnian mekanik	50
Gambar 4.13 Analisis awal pemurnian kimia	51
Gambar 4.14 Analisis kuantitative pemurnian kimia.....	52
Gambar 4.15 Karakteristik sifat fisik Fe_2O_3 pemurnian kimia	52
Gambar 4.16 Analisis awal sampel oksidasi 900 °C pemurnian mekanik	54
Gambar 4.17 Analisis kuantitative sampel oksidasi 900 °C pemurnian mekanik .	54
Gambar 4.18 Karakteristik sifat fisik <i>hematite</i> sampel oksidasi 900 °C pemurnian mekanik.....	55
Gambar 4.19 Analisis awal sampel oksidasi 900 °C pemurnian kimia.....	56
Gambar 4.20 Analisis kuantitative sampel oksidasi 900 °C pemurnian kimia.....	56
Gambar 4.21 Karakteristik sifat fisik <i>hematite</i> sampel oksidasi 900 °C pemurnian kimia	57
Gambar 4.22 Hasil PSA oksida pemurnian mekanik.....	59
Gambar 4.23 Hasil PSA proses <i>milling</i> 1 jam antara oksida sampel pemurnian mekanik dengan $BaCO_3$	60
Gambar 4.24 Hasil PSA proses <i>milling</i> 3 jam antara oksida sampel pemurnian mekanik dengan $BaCO_3$	61

Gambar 4.25 Hasil PSA proses <i>milling</i> 6 jam antara oksida sampel pemurnian mekanik dengan BaCO ₃	62
Gambar 4.26 Hasil PSA proses <i>milling</i> 10 jam antara oksidasi 900 °C sampel pemurnian mekanik dengan BaCO ₃	63
Gambar 4.27 Grafik <i>mechanical alloying</i> oksida pemurnian mekanik yang dicampur dengan BaCO ₃	64
Gambar 4.28 Hasil PSA oksida pemurnian kimia	65
Gambar 4.29 Hasil PSA proses <i>milling</i> 1 jam antara oksida pemurnian kimia dengan BaCO ₃	66
Gambar 4.30 Hasil PSA proses <i>milling</i> 3 jam antara oksida pemurnian kimia dengan BaCO ₃	67
Gambar 4.31 Hasil PSA proses <i>milling</i> 6 jam antara oksida sampel pemurnian kimia dengan BaCO ₃	68
Gambar 4.32 Hasil PSA proses <i>milling</i> 10 jam antara oksida pemurnian kimia dengan BaCO ₃	69
Gambar 4.33 Grafik <i>mechanical alloying</i> oksida pemurnian kimia yang dicampur dengan BaCO ₃	70
Gambar 4.34 Grafik <i>mechanical alloying</i> oksida sampel pemurnian mekanik dan kimia yang dicampur dengan BaCO ₃	71
Gambar 4.35 Analisis awal sampel <i>sintering</i> 1100 °C <i>mechanical alloying</i> oksida pemurnian mekanik dan BaCO ₃	72
Gambar 4.36 Analisis kuantitative sampel <i>sintering</i> 1100 °C <i>mechanical alloying</i> oksida pemurnian mekanik dan BaCO ₃	72

Gambar 4.37 Karakteristik sifat fisik $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sampel <i>sintering</i> 1100 °C hasil <i>mechanical alloying</i> oksida pemurnian mekanik dan BaCO_3	73
Gambar 4.38 Analisis awal sampel <i>sintering</i> 1100 °C <i>mechanical alloying</i> oksida pemurnian kimia dan BaCO_3	74
Gambar 4.39 Analisis kuantitative sampel <i>sintering</i> 1100 °C <i>mechanical alloying</i> oksida pemurnian kimia dan BaCO_3	75
Gambar 4.40 Karakteristik sifat fisik $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sampel <i>sintering</i> 1100 °C hasil <i>mechanical alloying</i> oksida pemurnian kimia dan BaCO_3	76
Gambar 4.41 Kurva <i>hysteresis</i> sampel <i>sintering</i> 1100 °C <i>mechanical alloying</i> oksida pemurnian mekanik dan kimia dengan BaCO_3	77

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Reaksi kimia pembentukan barium heksaferit.....	84
Lampiran 2. Pengujian PSA pemurnian mekanik	86
Lampiran 3. Pengujian PSA pemurnian kimia.....	87
Lampiran 4. Pengujian VSM barium heksaferit proses pemurnian mekanik	88
Lampiran 5. Pengujian VSM barium heksaferit proses pemurnian kimia	89
Lampiran 6. Standar magnet permanen	90
Lampiran 7. Surat tugas panitia ujian	91
Lampiran 8. Laporan selesai bimbingan	92
Lampiran 9. Surat tugas dosen penguji dan pembimbing.....	93
Lampiran 10. Surat penetapan dosen pembimbing.....	94

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Magnet merupakan bahan yang digunakan sebagai komponen penyusun dalam pembuatan barang-barang elektronik, seperti magnet pintu kulkas, magnet *hard disk*, magnet *speaker*, dan sebagainya. Kebutuhan akan penggunaan bahan magnet yang terus meningkat sesuai dengan tuntutan aplikasinya mendorong dalam hal pengembangan material penyusun magnet untuk memenuhi sifat-sifat yang diinginkan, sehingga memiliki daya saing tersendiri (Sudirman, *et al.*, 2002:35).

Magnet memiliki jenis dan senyawa penyusun yang berbeda, diantaranya magnet ferit, *SmCo*, *NdFeB*, dan *AlNiCo*. Bahan baku utama magnet ferit adalah oksida yang salah satunya dapat diperoleh dari pasir besi (Rusianto, 2016). Pasir besi merupakan bahan alam yang melimpah di Indonesia, terletak di Pulau Jawa khususnya pesisir pantai Selatan dan Utara (Bilalodin, *et al.*, 2013:29).

Penambangan pasir dalam upaya memenuhi kebutuhan bahan magnet memiliki jumlah yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan penambangan untuk pembuatan baja. Pengembangan pasir besi sebagai bahan pembuatan magnet akan memiliki nilai ekonomi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pasir besi yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan baja (Rusianto, 2016). Menurut (Afdal dan Niarti, 2013:24) pasir besi dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam industri, dikarenakan kandungan utama pada pasir besi umumnya bersifat magnetik yang diklasifikasikan sebagai senyawa *magnetite* (Fe_3O_4), *hematite* ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), dan

maghemite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Dengan adanya kandungan senyawa magnetik di dalam pasir besi, maka dalam pengembangan material magnet berbahan dasar alam berupa pasir besi, dapat dijadikan alternatif pengganti bahan baku pembuatan magnet berbahan logam.

Beberapa metode dalam memperoleh senyawa *magnetite* dari pasir besi yang memiliki distribusi ukuran berkisar nanometer telah dilakukan, dimana metode yang dilakukan dalam pendapatan senyawa magnetit antara lain, *spray pyrolysis*, *forced hydrolysis*, reaksi oksidasi reduksi besi hidroksida, irradiasi *microwave* besi hidroksida, dan *sol gel* (Taufiq, *et al.*, 2008:27). Kartika dan Pratapa (2014) melakukan sintesis senyawa *hematite* dengan metode terlarut asam klorida (HCl). Dalam pemurnian pasir besi yang dilakukan secara mekanik menggunakan magnet permanen sebanyak 35 kali serta dilanjutkan dengan penggilingan meningkatkan kemurnian sebesar 2%. Sintesis dilakukan dengan melarutkan pasir pada HCl 37% dengan perbandingan massa pasir : HCl adalah 3 gram : 23 ml. Proses pendapatan oksida besi berupa senyawa *hematite* maupun *magnetite* memiliki metodenya masing-masing, hal ini menyebabkan adanya kelebihan dan kekurangan baik dari segi proses eksperimen maupun dalam hal biaya.

Senyawa *magnetite* dapat diubah menjadi *hematite* dengan syarat melalui proses oksidasi dimana melibatkan adanya oksigen dan temperatur yang berpengaruh terhadap bentukan *hematite* yang dihasilkan (Rusianto, 2016). Seiring dengan tingginya penggunaan temperatur oksidasi, maka akan mempengaruhi peningkatan jumlah *hematite* yang dihasilkan, hal ini dikarenakan jumlah senyawa

magnetite yang berkurang sesuai dengan jumlah nilai suseptibilitas magnetik yang menurun (Yulianto, *et al.*, 2003:52).

Ferit banyak dimanfaatkan sebagai magnet permanen, salah satunya barium heksaferi ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) (Hayati, *et al.*, 2016:187). Barium heksaferit tergolong jenis keramik magnet keras, dimana struktur kristalnya berbentuk *hexagonal*, magnet ini merupakan magnet *M-type* dengan rumus kimia $\text{MFe}_{12}\text{O}_{19}$. Dimana M merupakan unsur penyusun menggunakan barium (Ba), strontium (Sr), dan timbal (Pb) (Irasari dan Idayanti, 2009:39). Dalam pembuatan magnet permanen berbahan dasar ferit dilakukan dengan beberapa teknik, diantaranya metalurgi serbuk, *solid state reaction*, pemaduan mekanik dan lainnya (Hayati, *et al.*, 2016:188). Metode yang digunakan dalam proses pembuatan magnet berbasis ferit memiliki keterkaitan dengan proses pemaduan yang meliputi presentase campuran, dan lama waktu. Proses kompaksi dipengaruhi oleh densitas, faktor *impurity*, dan gaya tekan. Serta pada proses sintering dipengaruhi oleh temperatur yang digunakan, titik *melting material*, dan laju penahanan.

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, dalam penelitian ini dilakukan proses pemurnian pada pasir besi yang sebelumnya di dapat dari pesisir selatan pantai Purworejo Jawa Tengah. Hasil pemurnian dipreparasi dengan oksidasi. Oksida hasil proses oksidasi dipadukan dengan serbuk barium karbonat (BaCO_3) secara *mechanical alloying* menggunakan *shaker ball mill*. Hasil perpaduan disintering untuk keperluan bahan magnet. Maka dari itu diutarakan penelitian tentang Pengaruh Proses Pemurnian Secara Mekanik dan Kimia Pasir Besi Terhadap Sifat Fisik dan Magnetik Bahan Dasar Magnet Permanen Barium Ferit.

1.2 Identifikasi Masalah

Dalam pembuatan magnet berbahan dasar pasir besi, terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi, dan berdasar latar belakang di atas dapat diidentifikasi masalah-masalah sebagai berikut:

1. Daerah asal pasir besi mempengaruhi kandungan mineral oksida, dikarenakan satu tempat dan tempat yang lain memiliki kandungan yang berbeda.
2. Metode pemurnian untuk mendapatkan oksida pasir yang mengandung Fe_2O_3 maupun Fe_3O_4 .
3. Sifat fisik oksida besi meliputi:
 - (a) Warna
 - (b) Ukuran partikel.
 - (c) Massa jenis.
4. Campuran bahan atau senyawa yang dapat menjadikan oksida besi Fe_2O_3 menjadi magnet permanen, antara lain:
 - (a) BaCO_3
 - (b) SrCO_3
5. Proses pemaduan antara oksida besi berupa senyawa Fe_2O_3 dengan bahan atau senyawa di atas yang dipengaruhi oleh:
 - (a) Jenis alat *Milling* yang digunakan.
 - (a) Perhitungan presentase campuran menggunakan *stoichiometry*
 - (b) Waktu *milling*
 - (c) Kondisi pemaduan campuran
6. Rasio antara perbandingan berat *steel ball* dengan berat campuran

7. Proses kompaksi campuran bahan baku utama pasir besi dengan senyawa lain
 - (a) Gaya tekan
 - (b) Faktor pengotor
 - (c) Densitas material
8. Proses *sintering*
 - (a) Temperatur
 - (b) *Holding time*
 - (c) Titik *melting* material

1.3 Pembatasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah di atas, diperlukan adanya pembatasan masalah dalam melakukan penelitian. Sehingga dalam penelitian ini batasan masalah sebagai berikut:

1. Bahan baku utama pasir besi yang digunakan diambil dari pantai Ketawang Indah, Purworejo.
2. Proses pemrunian untuk memperoleh oksida dari pasir besi dilakukan dengan metode mekanik dan kimia
 - (a) Mekanik : hasil perolehan pasir dari pantai diekstraksi manual dengan menggunakan bantuan magnet permanen. Proses pemisahan untuk memperoleh oksida pada pasir dilakukan sebanyak 35 kali saring, material yang tidak terangkat disingkirkan dan dianggap sebagai pengotor.
 - (b) Kimia : hasil perolehan pasir dari pantai diseragamkan ukuran butirnya menggunakan saringan mesh 80, kemudian pasir besi dilarutkan ke dalam

cairan asam klorida (HCl) konsentrasi 37%. Perbandingan massa pasir dengan asam klorida (HCl) dihitung menggunakan perhitungan *stoichiometry*. Proses pemanasan dan pengadukan dilakukan menggunakan bantuan *hot plate magnetic stirrer*. Temperatur yang digunakan adalah 70 °C dengan waktu penahanan 15 menit serta dengan kondisi pengadukan pada kecepatan 600 rpm. Larutan disaring menggunakan kertas saring. Hasil lolos saring dikeringkan hingga mengering, dan dihaluskan menggunakan mortar.

3. Bahan campuran yang akan digunakan untuk mencampur oksida besi Fe_2O_3 menjadi magnet permanen adalah barium karbonat (BaCO_3) dengan kemurnian 98%.
4. Proses oksidasi untuk mendapatkan senyawa *hematite* (Fe_2O_3) dilakukan pada temperatur pemanasan 900 °C selama 5 jam.
5. Alat yang digunakan untuk mencampur bahan baku utama oksidasi besi (Fe_2O_3) dan barium karbonat (BaCO_3) adalah *shaker ball mill*.
6. Lama waktu *milling* antara oksida besi Fe_2O_3 dan BaCO_3 adalah 0, 1, 3, 6, dan 10 jam.
7. Proses *sintering* dilakukan pada temperatur 1100 °C dengan tahanan waktu selama 1 jam.
8. Karakterisasi sifat fisik dilakukan terhadap sampel antara lain menggunakan pengujian:

(a) XRD (*X-Ray Diffraction*)

Pengujian ini dilakukan untuk menguji kandungan senyawa pasir besi yang diperoleh dari pantai Purworejo sebagai *raw material*. Untuk mengetahui bentukan fasa oksida hasil pemurnian, antara pemurnian secara mekanik maupun kimia. Guna mengetahui bentukan fasa hasil oksidasi pada kedua sampel pemurnian dalam mendapatkan senyawa *hematite*. Serta dilakukan untuk mengkarakterisasi antara paduan hasil oksidasi pemurnian secara mekanik maupun kimia dengan serbuk barium karbonat (BaCO_3) pasca melalui proses sintering dalam pembentukan barium heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$).

(b) PSA (*Particle Size Analyzer*)

Pengujian ukuran partikel dilakukan menggunakan PSA, dimana untuk mengetahui distribusi ukuran partikel pada sampel *mechanicall alloying* antara oksida pemurnian mekaik maupun kimia dengan serbuk barium karbonat pada variasi waktu *milling* 0, 1, 3, 6, dan 10 jam.

9. Karakterisasi sifat magnet yang dilakukan terhadap sampel hasil sintering dalam pembentukan barium heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) antara lain menggunakan pengujian:

(a) VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*)

Karakterisasi menggunakan VSM dilakukan guna mendapatkan hasil dari nilai kemagnetan antara barium ferit yang dibentuk dari oksida pemurnian mekanik maupun kimia, dimana nilai kemagnetan yang terbentuk berupa saturasi magnetik (σ_s), medan koersifitas (H_c), dan nilai remanen (Br).

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan pembatasan masalah yang ada, maka rumusan masalah yang didapat pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik sifat fisik oksida besi yang diperoleh dari pemurnian mekanik dan kimia sebagai bahan dasar magnet permanen?
2. Bagaimana karakteristik sifat fisik oksida besi Fe_2O_3 yang dicampur BaCO_3 sebagai bahan dasar magnet permanen?
3. Bagaimana karakteristik sifat magnet dari oksida besi Fe_2O_3 yang dicampur dengan BaCO_3 ?

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, adapun tujuan yang ingin dicapai dalam proses penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui karakteristik sifat fisik oksida besi yang diperoleh dari pemurnian mekanik dan kimia sebagai bahan dasar magnet permanen.
2. Untuk mengetahui karakteristik sifat fisik oksida besi Fe_2O_3 yang dicampur BaCO_3 sebagai bahan magnet permanen.
3. Untuk mengetahui karakteristik sifat magnet dari oksida besi Fe_2O_3 yang dicampur dengan BaCO_3 .

1.6 Manfaat penelitian

Manfaat yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berkontribusi dalam pengembangan material magnetik berbahan dasar bahan alam khususnya dalam penggunaan pasir besi.
2. Meningkatkan nilai guna pasir yang sebelumnya hanya dimanfaatkan sebagai bahan bangunan.
3. Data hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi atau pembanding untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Bilalodin, *et al.*, (2013:31) melakukan penelitian tentang analisis kandungan senyawa kimia dan uji sifat magnetik pasir besi pantai ambal, menyatakan bahwa daerah pantai selatan Jawa khususnya daerah Cilacap dan Kebumen menunjukkan adanya kandungan mineral *magnetite* yang bersifat feromagnetik. Dalam penelitian yang dilakukan, persiapan sampel untuk karakterisasi dipanaskan pada temperatur 100 °C guna menghilangkan kandungan air. Ekstraksi bahan magnet dilakukan menggunakan bantuan magnet permanen. karakterisasi senyawa kimia dilakukan menggunakan *X-Ray Diffractometer*, sedangkan karakterisasi magnetik dilakukan menggunakan *Vibrating Sample Magnetometer*.

Hasil karakterisasi didapatkan senyawa magnetik berwarna hitam, kandungan magnetik sebesar 21% dengan massa jenis yang mendekati pasir pada umumnya 1,20-1,80g/cm³. Senyawa yang terkandung berupa *magnetite* (Fe₃O₄), *hematite* (Fe₂O₃), dan *magnetite iron magnesium chromium*. Karakteristik sifat magnet didapatkan nilai suseptibilitas sebesar $31,88 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$ dimana termasuk kedalam bahan feromagnetik. Penelitian yang dilakukan Bilalodin, *et al.*, (2013) memiliki keterkaitan dengan penelitian yang dilakukan, dimana pasir besi yang digunakan berasal dari pesisir Selatan pantai Jawa yaitu daerah Purworejo.

Kartika dan Pratapa (2014) melakukan penelitian tentang sintesis Fe_2O_3 dari pasir besi dengan metode logam terlarut asam klorida. Pada penelitian tersebut, untuk mendapatkan senyawa *hematite* Fe_2O_3 dari pasir besi dilakukan dengan proses pemurnian. Proses pemurnian dilakukan dengan ekstraksi pasir besi menggunakan magnet sebanyak 35 kali, setelahnya digiling selama 10 jam.

Proses penggilingan menggunakan perbandingan massa pasir (gram) : massa bola (gram) : volume aquades (ml) yaitu sebesar 30 : 150 : 50. Hasil penggilingan dikeringkan dan dilakukan ekstraksi ulang menggunakan magnet sebanyak 15 kali. Proses sintesis dilakukan dengan melarutkan pasir besi dengan massa 3 gram ke dalam asam klorida (HCl) 37% sebanyak 23 ml, diaduk menggunakan pengaduk magnetik selama 15 menit pada kecepatan 600 rpm dan temperatur 70 °C. Larutan disaring menggunakan kertas saring sebanyak 2 kali, larutan hasil penyaringan dikeringkan hingga mengering menggunakan *hot plate* selama 8 jam dengan temperatur 100 °C. Parameter diatas dijadikan sebagai acuan dalam proses pemurnian pada penelitian yang dilakukan.

Proses pemurnian secara mekanik menggunakan magnet permanen, hanya dilakukan sebatas ekstraksi sebanyak 35 kali tanpa adanya ekstrasi lanjutan. Pemurnian kimia, dilakukan dengan menyeragamkan ukuran butir pasir menggunakan saringan mesh 80. perbandingan massa antara pasir besi dengan volume asam klorida (HCl) 37% dihitung menggunakan perhitungan *stoichiometry*. Proses pemanasan larutan dilakukan pada kondisi yang sama antara waktu dan temperatur yang digunakan. Pada penelitian yang dilakukan, hasil pengadukan

disaring menggunakan kertas saring yang kemudian hanya dikeringkan hingga mengering.

Yulianto, *et al.*, (2003) melakukan penelitian tentang produksi *hematite* dari pasir besi, dimana memanfaatkan potensi alam sebagai bahan industri yang memiliki sifat kemagnetan. Penelitian yang bertujuan untuk memproduksi *hematite* menggunakan proses oksidasi guna meningkatkan nilai ekonomis dari pasir besi dilakukan dengan memurnikan pasir besi dengan metode yang sudah ada seperti sebelumnya hingga kandungan *magnetite* mencapai kemurnian 99%. Oksidasi dilakukan pada *magnetite* yang telah dimurnikan menggunakan tungku yang didesain khusus untuk keperluan tersebut. Proses oksidasi dilakukan selama 15 jam dengan variasi temperatur yang digunakan 500 °C, 600 °C, dan 700 °C. Saat berlangsungnya proses oksidasi, dialirkan gas oksigen untuk mengoptimalkan hasil.

Proses karakterisasi dilakukan dengan membandingkan hasil oksidasi dengan bahan yang sudah ada di pasaran, serta nilai suseptibilitas diukur dan kemudian dibandingkan dengan bahan hasil olahan dari industri. Hasil dari proses oksidasi didapati perubahan fisik dari warna yang dihasilkan pada temperatur 500 °C yang semula hitam mengkilap menjadi ungu kecoklatan, dan pada temperatur 600 °C, dan 700 °C didapati perubahan warna menjadi ungu, menyerupai bahan *hematite* produksi Pfizer (Yulianto, *et al.*, 2003:52). Analisis yang dilakukan pada hasil oksidasi menunjukkan pada temperatur 500 °C menghasilkan produksi *hematite* sebesar 11%, pada 600 °C meningkat menjadi 55%, dan pada 700 °C kemurnian oksida menjadi 99%.

Dari penelitian Yulianto, *et al.*, (2003) didapatkan, bahwa temperatur oksidasi mempengaruhi terbentuknya *hematite* yang dihasilkan. Dalam penelitian yang dilakukan, untuk proses oksidasi dilakukan pada temperatur 900 °C berdasarkan pernyataan Rusianto, (2016) “suhu optimum oksidasi magnetit diperoleh pada suhu 900 °C, di mana dari hasil kalsinasi dan sinter terhadap bahan magnet tersebut menghasilkan *maximum product energy* (BH (mak)) dan magnetisasi (M_{10kOe}) tertinggi”.

Sadullahoglu, *et al.*, (2015) melakukan penelitian yang berjudul “*The Effect of Milling Time and Sintering Temperature on Crystallization of BaFe₁₂O₁₉ Phase and Magnetic Properties of Ba-Hexaferrite Magnet*”. Dalam penelitian ini, pembuatan barium heksaferit dilakukan dengan menggunakan *high energy ball milling* (HEBM), dimana proses ini termasuk ke dalam teknik *mechanicall alloying*. Barium heksaferit yang diproduksi menggunakan HEBM memiliki indikasi menjadi magnet super, dimana nilai kemagnetan yang dimiliki melebihi magnet keramik yang di preparasi menggunakan reaksi *solid-state* konvensional (Sadullahoglu, *et al.*, 2015:377).

Pembentukan barium heksaferit dilakukan dengan memadukan serbuk barium karbonat (BaCO₃) dengan oksida besi berupa *hematite* (Fe₂O₃). Alat yang digunakan adalah *vibrating ball mill*. Variasi waktu *milling* dilakukan dari 3 hingga 20 jam. Dengan meningkatnya waktu *milling* didapatkan permukaan yang lebih reaktif dalam pembentukan barium heksaferit dengan partikel yang lebih baik. Nilai magnetisasi yang dihasilkan meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur sintering dengan waktu *milling* 6 jam. Penggunaan waktu *milling* yang berlebih

dapat mempengaruhi tegangan pada struktur kristal yang terbentuk, dimana mengakibatkan nilai kemagnetan yang menurun.

Dikarenakan dalam penelitian yang dilakukan menggunakan perbedaan alat, yaitu menggunakan *shaker ball mill*, maka dalam penentuan lama waktu milling divariasikan selama 0, 1, 3, 6, dan 10 jam.

2.2 Landasan Teori

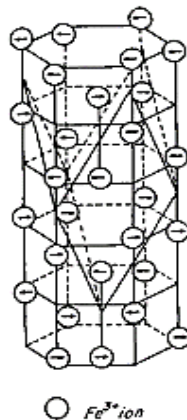
2.2.1 Pasir besi

Pasir besi merupakan pasir dengan konsentrasi kandungan besi (Fe) cukup signifikan yang bersifat ferromagnetik, dan merupakan salah satu bahan tambang yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan besi cor dan baja. Karakteristik unsur besi ditunjukkan pada Tabel 2.1. Pasir besi memiliki kandungan senyawa *magnetite* yang tinggi. Berdasarkan hasil pengukuran, nilai suseptibilitas pasir besi pantai Selatan Jawa Tengah didapatkan antara $1,01 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg} - 3,34 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$ (Yulianto, *et al.*, 2003).

Tabel 2.1 Karakteristik unsur besi
(Callister dan Rethwisch, 1940)

<i>Element</i>	Iron
<i>Symbol</i>	Fe
<i>Atomic Number</i>	26
<i>Atomic Weight (amu)</i>	55,85
<i>Density of Solid, 20 °C (g/cm³)</i>	7,87
<i>Crystal Structure, 20 °C</i>	BCC
<i>Atomic Radius (nm)</i>	0,124
<i>Ionic Radius (nm)</i>	0,077
<i>Most Common Valence</i>	2+
<i>Melting Point (°C)</i>	1538

Beberapa senyawa yang terkandung pada pasir besi antara lain, *magnetite*, *hematite*, *ilmenitl*, dan lainnya. Kandungan paling utama pada pasir besi adalah senyawa tetanomagnetik. Senyawa yang terkandung di dalam pasir besi terbentuk dari adanya hasil oksidasi dan biasanya mudah bereaksi dengan asam (Rusianto, 2016). Untuk mendapatkan hasil oksidasi dengan fasa yang berbeda dilakukan proses pemanasan dengan variasi temperatur. Pada temperatur 300 °C fasa *magnetite* diubah menjadi *maghemite*, hal ini ditandai dengan adanya perubahan warna. Pada temperatur 800 °C fasa *magnetite* diubah sepenuhnya menjadi *hematite*, pada fasa *hematite* didapatkan perubahan warna yang keunguan, dan jika diidentifikasi dengan XRD maka memiliki struktur heksagonal (Aji, *et al.*, 2007:108). Diperlihatkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur kristal *hematite*
(Dunlop dan Özdemir, 1997)

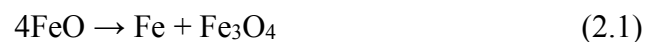
2.2.2 Oksida Besi

Oksida besi merupakan senyawa dengan unsur penyusun antara besi (Fe) dengan oksigen (O). Pada kerak bumi, kandungan besi diperkirakan jumlahnya

mencapai 5%. Besi yang teroksidasi umumnya terdapat pada batuan dan mineral *hematite*, *magnetite*, dan lainnya (Rusianto, 2016).

1. Oksida besi (II) (*wüstite*/FeO)

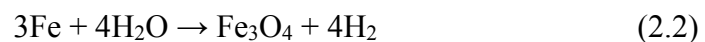
Oksida besi II merupakan memiliki penampakan fisik berwarna hitam dengan rumus kimia FeO. Unsur kimia penyusun terdiri dari zat besi yang terikat dengan oksigen. Secara hukum termodinamika, oksida ini stabil pada temperatur tinggi, yaitu lebih dari 575 °C. Dalam pembentukan *magnetite* dari oksida besi II dapat dipergunakan persamaan (2.1) (Patnaik, 2003).



2. Oksida besi (II, III) (*magnetite*/Fe₃O₄)

Oksida besi (II, III) tersusun antara besi II dan oksida dari FeO. Struktur yang dimiliki oleh *magnetite* (Fe₃O₄), berbentuk kubik.

Pada temperatur tinggi, *magnetite* terbentuk secara alami, contohnya pada saat proses pembuatan baja (Fe). Reaksi dipengaruhi oleh adanya temperatur dan tekanan. Pembentukan *magnetite* dimulai pada temperatur 300 °C dengan tekanan 30 bar melalui reaksi pada persamaan (2.2) (Rusianto, 2016).



magnetite juga dapat dibuat dengan metode kopresipitasi, terdiri antara campuran 0,1 M larutan FeCl₃.6H₂O dan FeCl₂.4H₂O. Kondisi pengadukan antara 2000 – 7500 rpm pada temperatur 70 °C dan kemudiana menambahkan NH₄OH untuk mengendapkan larutan. Beberapa reaksi-reaksi pengurain dari *magnetite* antara lain

- (a) Oksidasi Fe₃O₄ pada kondisi atmosfer terkendali menghasilkan γ -Fe₂O₃ melalui persamaan (2.3)



(b) Oksidasi Fe_3O_4 yang dibakar pada kondisi atmosfer udara mengandung oksigen



3. Oksida besi (III) (Fe_2O_3)

Oksida besi (III) adalah senyawa organik yang biasanya dimanfaatkan untuk industri dengan rumus kimia Fe_2O_3 yang dikenal dengan sebutan *hematite*. Dari sifat fisik *hematite* yang dapat diketahui adalah berwarna merah gelap dan memiliki sifat reaktif dengan asam (Rusianto, 2016). Secara alami ditemukan dalam bentuk fase alpha ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), beta ($\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$), epsilon ($\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$), dan gamma ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Oksida besi (III) memiliki berbagai bentuk sehingga mempengaruhi arah dan bidang kristal yang dimilikinya, Tabel 2.2 menunjukkan arah dan bidang kristal pada oksida besi (III).

Tabel 2.2 Struktur orientasi oksida besi
(Cornell dan Schwertman, 2003)

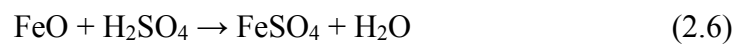
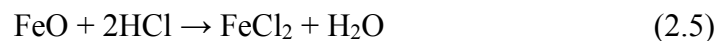
Senyawa oksida	Bidang kristal	Arah kristal
<i>Goethite</i>	(100) (004) (200)	[100]
<i>Hematite</i>	(003) (110) (100)	[100]
<i>Hematite</i>	(001)	[100]
<i>Magnetite</i>	(111)	[110]
<i>Lepidocrocite</i>	(100)	[001] [051]
<i>Maghemite</i>	(001)	[110] [111]

2.2.3 Sintesis Oksida Besi

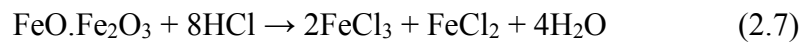
Proses sintesis umumnya dilakukan melalui proses kimia yang bertujuan untuk mendapatkan suatu produk yang melibatkan perubahan sifat fisiknya. Dalam proses sintesis secara kimia terdapat beberapa reaksi, diantaranya

1. Pelarutan

Dimana senyawa padat dilarutkan menjadi zat baru dengan bantuan zat pelarut atau dapat disebut dengan prekursor. Prekursor dapat berupa senyawa yang bersifat asam (HCl, H₂SO₄, HNO₃). Contoh penggunaan larutan asam sebagai zat pelarut dituliskan pada persamaan (2.5), dan (2.6) (Patnaik, 2003).



Reaksi pelarutan pasir besi menggunakan asam klorida juga ditunjukkan pada persamaan

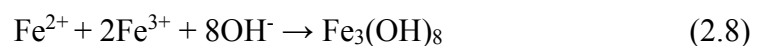


Logam alkali memiliki sifat yang reaktif terhadap oksigen maupun halogen, dengan sifat yang reaktif ini, menjadikan logam alkali sangat penting dalam proses sintesis organik dan anorganik (Rusianto, 2016)

2. Pengendapan

Proses pengendapan dilakukan secara gravimetri. Sampel ditimbang dan dilarutkan sesuai dengan zat pelarut yang memiliki sifat reaktif terhadap sampel. Senyawa hasil pengendapan harus memiliki nilai kelarutan yang sangat kecil, untuk mendapatkan ukuran yang bervariasi pengaturan pH dapat dilakukan.

Pada Fe, besi diendapkan sebagai besi hidroksida dan dipanaskan pada temperatur tinggi membentuk Fe₂O₃. Endapan besi hidroksida memiliki sifat tak larut kedalam air. Endapan hitam dari besi hidroksida membentuk fero oksida (Patnaik, 2003) persamaan (2.8), dan (2.9).



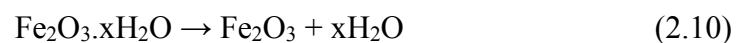


Syarat senyawa yang dapat diendapkan adalah

- (a) Senyawa harus mengendap secara sempurna dengan sisa analit cukup sedikit. Endapan yang dihasilkan harus stabil dan memiliki nilai kelarutan rendah.
- (b) Larutan yang terbentuk harus mudah dipisahkan, antara senyawa pelarut dengan senyawa terlarut, baik melewati proses penyaringan maupun pengeringan.
- (c) Hasil pengendapan harus bersifat murni sehingga dapat diubah menjadi senyawa tertentu (Vogel, *et al.*, 1990).

3. Penguapan

Metode penguapan dilakukan pada sampel basah, cara yang dilakukan adalah memanaskan atau menambahkan pereaksi, sehingga senyawa yang tidak digunakan akan menguap dan hanya meninggalkan senyawa murni yang diinginkan. Pemanasan dalam menguapkan air pada sampel basah berkisar pada temperatur 110-130 °C. Untuk menentukan kadar air yang terikat sebagai kristal dituliskan melalui persamaan (2.10)



2.2.4 Sifat Magnet

Magnet merupakan bahan yang dapat memberikan gaya tarik pada benda yang umumnya memiliki kandungan besi. Berdasarkan sifat kemagnetan, semua bahan atau material dapat digolongkan berdasarkan penurunan nilai suseptibilitas magnetik (Rusianto, 2016). Beberapa klasifikas diantaranya:

1. Diamagnetik

Diamagnetik merupakan sifat dari bahan atau material yang tidak terpengaruh oleh adanya medan magnet eksternal, biasanya diamagnetik dimiliki oleh logam non magnetik sehingga untuk saling tarik menarik antara material sangat sulit dikarenakan resultan medan magnet antar atom sama dengan nol, karenanya sifat diamagnetik disebut dengan magnet negatif (Cullity dan Graham, 2009:90).

2. Paramagnetik

Menurut Rusianto (2016), sifat paramagnetik terbentuk oleh adanya pengaruh medan magnet eksternal, namun hanya memiliki sifat magnet yang sementara, dan akan hilang jika gaya magnet eksternal dijauhkan.

3. Antiferromagnetik

Antiferromagnetik merupakan sifat pada material magnet yang serupa dengan paramagnetik, dikarenakan memiliki medan magnet lemah serta nilai suseptibilitas magnetik yang rendah (Rusianto, 2016).



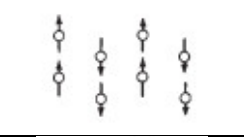
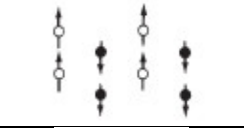
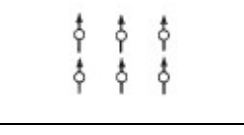
4. Ferrimagnetik

Dapat dikatakan sebagai magnet kuat dikarenakan memiliki gaya tarik atau tolak yang dapat dirasakan cukup besar, hal ini umumnya dimiliki oleh magnet permanen.

5. Ferromagnetik

Sifat yang dimiliki pada material/bahan magnet secara alami, dan biasanya disebut dengan magnet spontan. Kemagnetan yang ditimbulkan oleh adanya medan magnet eksternal tidak memberikan pengaruh, umumnya sifat ini dimiliki magnet dengan unsur penyusun seperti (Fe, Ni dan Co) (Rusianto, 2016).

Tabel 2.3 Arah pergerakan atom magnet
(Cullity dan Graham, 2009:194)

Sifat Kemagnetan	Arah pergerakan
Diamagnetik	
Paramagnetik	
Antiferromagnetik	
Ferrimagnetik	
Ferromagnetik	

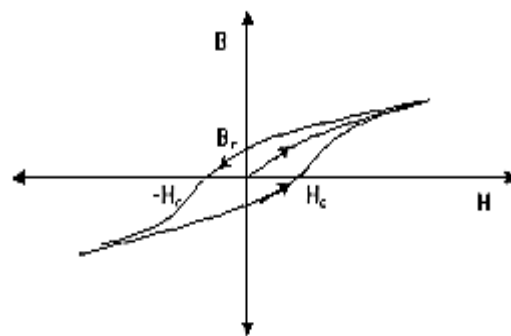
2.2.5 Bahan Magnet

Karakteristik bahan magnetik ditentukan oleh nilai suseptibilitas, remanen, saturasi magnetisasi, dan medan koersifitas. Magnet ferit merupakan jenis bahan magnet yang sering digunakan, terdiri dari magnet keras dan magnet lunak. Magnet barium heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) memiliki energi lebih rendah jika dibanding *neodymium iron boron* (NdFeB), *samarium cobalt* (SmCo), dan *alnico* (AlNiCo) namun dalam penggunaan sebagai magnet permanen lebih banyak. Hal ini dikarenakan magnet barium heksaferit memiliki medan koersifitas tinggi dan tahan akan korosi (Irasari dan Idayanti, 2009:39).

Berdasarkan jenis bahan yang digunakan dalam pembuatan magnet dibagi menjadi dua, diantaranya

1. *Hard Magnet* (Magnet Keras)

Magnet keras atau dapat juga disebut magnet permanen, dikarenakan daya kemagnetannya yang kekal, dan juga dapat menarik bahan lain yang mempunyai medan magnet dengan sangat kuat. Walaupun dikatakan kekal, magnet permanen dapat kehilangan daya kemagnetannya apabila berada pada temperatur yang lebih dari temperatur kritis (temperatur *curie*).

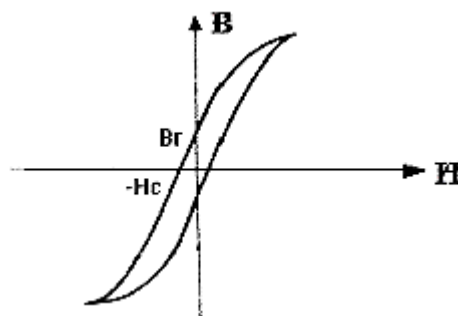


Gambar 2.2 Loop histerisis magnet keras
(Jayanti, *et al.*, 2013:26)

Barium heksaferit merupakan salah satu jenis magnet keras yang memiliki unsur penyusun *hematite* dan barium karbonat sebagai unsur penyusun utamanya. Struktur kristal yang dimiliki berbentuk *hexagonal closed-packed*. Dalam prosesnya, pembuatan magnet keramik dibentuk menjadi barium heksaferit. Selain itu stronsium heksaferit dapat juga digunakan sebagai bahan magnet permanen. Proses pembentukan dilakukan dengan memadukan oksida besi yang berbentuk Fe_2O_3 dengan barium karbonat ataupun strontium karbonat, yang kemudian campuran antara senyawa tersebut dikompaksi dengan tekanan tertentu serta dipanaskan pada temperatur antara 1100-1300 °C.

2. *Soft Magnet* (Magnet Lunak)

Magnet lunak memiliki sifat kemagnetan yang tidak kekal. Magnet jenis ini dapat menarik benda lain yang memiliki medan magnet, namun dapat kehilangan daya kemagnetannya. Jika pengaruh medan magnet luar dihilangkan maka *soft magnet* akan kehilangan daya kemagnetannya dikarenakan cenderung memiliki nilai suseptibilitas rendah. Dalam loop histerisis besaran kemagnetan pada *soft magnet* ditunjukkan pada nilai H (medan magnet) dan B (nilai remanen), dimana semakin besar nilai H maka akan semakin kuat pula daya kemagnetan yang dimiliki. Namun pada *soft magnet*, kurva yang dihasilkan menunjukkan nilai kemagnetan yang kecil.



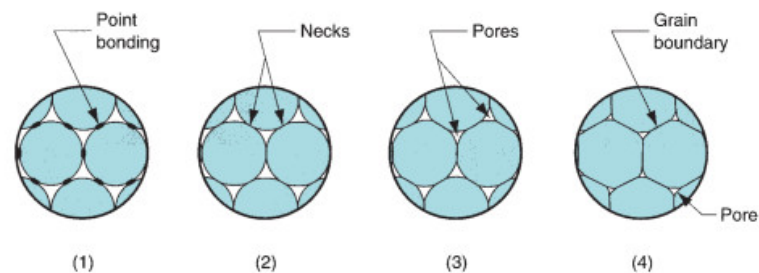
Gambar 2.3 Loop histerisis magnet lunak
(Jayanti, *et al.*, 2013:26)

2.2.6 *Sintering*

Proses sintering bertujuan untuk merapatkan ikatan antara partikel serbuk yang biasanya berbentuk *green compact* dengan cara memanaskan material pada temperatur 0,7 - 0,9 dibawah titik leleh material. Dalam prosesnya, *sintering* hampir sama dengan kalsinasi, namun pada proses kalsinasi, temperatur titik leleh material tidak menjadi acuan. Faktor yang dapat mempengaruhi material hasil *sintering* saat

proses berlangsung antara lain, temperatur, *holding time*, *atmosphere*. Pada proses *sintering* tahapan yang akan terjadi antara partikelnya antara lain:

1. Ikatan awal antara partikel
2. Pertumbuhan leher
3. Penutupan saluran pori
4. Pembulatan pori
5. Penyusutan pori
6. Pengkasaran Pori (Upadyahya, 2002:68)



Gambar 2.4 Sintering pada skala mikroskopik
(Groover, 2010:356)

2.2.7 Karakterisasi

Karakterisasi merupakan upaya untuk mengeksplorasi sifat-sifat yang terdapat pada sebuah bidang terluar sampai kedalaman dan luasan tertentu dari suatu material melalui penggunaan teknik-teknik tertentu yang bertujuan untuk mendapatkan informasi, contohnya tentang sifat fisik (*area*, *roughness*, *pore size*), kimia (unsur dan senyawa), mekanik (kekerasan dan tahan aus) atau sebagainya dari suatu permukaan material baik itu levelnya atomik, mikroskopik maupun makroskopik. Dalam penelitian ini karakterisasi yang dilakukan pada sampel pengujian antara lain:

1. XRD (*X-Ray Diffraction*)

Analisis menggunakan XRD digunakan untuk mengetahui fasa kristalin yang terbentuk pada material, dengan cara menentukan parameter struktur kisi kristal. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa dapat memberikan interferensi konstruktif. Interferensi ini mengacu pada persamaan (2.11) yang disebut dengan persamaan bragg:

$$d = \frac{n \cdot \lambda}{2 \cdot \sin \theta} \quad (2.11)$$

dengan, d = jarak antara dua bidang (Å)

n = bilangan bulat orde pembiasan

λ = panjang gelombang (Å)

θ = sudut datang (°)

jika sinar-x dijatuhkan pada sampel kristal, maka panjang gelombang antara bidang kristal yang memantulkan sinar-X sama panjangnya dengan jarak antara kisi. Sinar yang dibiaskan pada sudut 2θ terhadap datangnya sinar-X diteruskan melalui detektor yang kemudian diidentifikasi sebagai puncak difraksi. Hasil pengukuran puncak pada pola difraksi mengacu pada standar difraksi JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standart*). Pada pola hasil difraksi sinar-X dapat juga digunakan untuk mengidentifikasi ukuran kristalin, yang ditentukan dari puncak pola difraksi, dimana untuk mengetahui ukuran kristalin yang terbentuk digunakan persamaan Scherrer (2.11) (Qazi, *et al*, 2009:105)

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cdot \cos \theta} \quad (2.12)$$

dimana, D merupakan diameter kristalin, λ Panjang gelombang sinar-X, θ adalah besaran sudut puncak dengan nilai $1/2$ dari 2θ , dan β adalah sudut (FWHM) dalam derajat.

2. PSA (*Particle Size Analyzer*)

Karakterisasi untuk menganalisis ukuran partikel, dilakukan menggunakan beberapa metode. Dalam penggunaan alat (PSA), *Laser Diffraction* dipergunakan untuk menganalisis ukuran partikel yang terdistribusi.

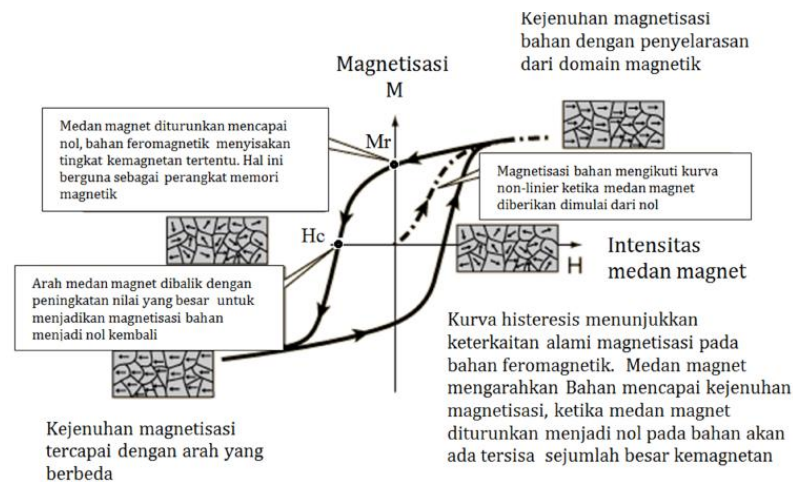
Dalam analisis sampel, dibagi menjadi metode terlarut dan metode kering dengan menggunakan bantuan fluida yang sesuai dengan material. Metode terlarut lebih baik digunakan karena dinilai lebih akurat, karena sampel pada dasarnya dilarutkan kedalam fluida basah yang menyebabkan antara partikel satu sama lain tidak menggumpal.

Material yang mempergunakan PSA untuk mengkarakterisasi ukuran partikel, sebaiknya yang berorde nanometer dan sub micron, dengan kecenderungan partikel menggumpal yang sangat tinggi. Dengan menggunakan pengukuran metode terlarut, maka ukuran partikel yang terbaca adalah ukuran satuan partikelnya, bukan lagi ukuran yang masih menggumpal, hal ini akan menyebabkan ukuran yang didapatkan akan lebih akurat.

3. VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*)

Dalam pengujian VSM pengukuran magnetisasi (M) dan besaran medan magnet (H) dapat diketahui, dan nantinya digunakan untuk membentuk kurva histerisis, medan magnet yang dihasilkan dari spesimen mengikuti hukum Faraday. Pada induksi arus listrik mempunyai nilai yang berbanding lurus dengan

magnetisasi (M), semakin kuat medan magnet konstan, maka semakin besar pula magnetisasi maksimum.



Gambar 2.5 Kurva histeresis bahan feromagnetik
(Rusianto, 2016)

Standar pengujian karakteristik nilai kemagnetan menggunakan ASTM A977/A977M-07. *Standart Test Methode for Magnetic Properties of High Coercivity Permanent Magnet Materials Using Hysterisgraph*. Mesin VSM menggunakan kontrol melalui perangkat lunak, yang dapat menghasilkan data besaran magnetisasi dari spesimen, dan juga mennghasilkan nilai medan magnet konstan. Hasil akhir pengujian karakteristik menggunakan VSM didapatkan kurva histerisis seperti Gambar 2.5.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Waktu dan tempat penelitian perlu direncanakan agar penelitian yang akan dilakukan lebih terstruktur, adapun sebagai berikut

3.1.1 Waktu Pelaksanaan

Penelitian yang bertujuan memperoleh hasil yang valid guna melengkapi data penelitian dilaksanakan terhitung pada bulan Maret 2019 sampai selesai.

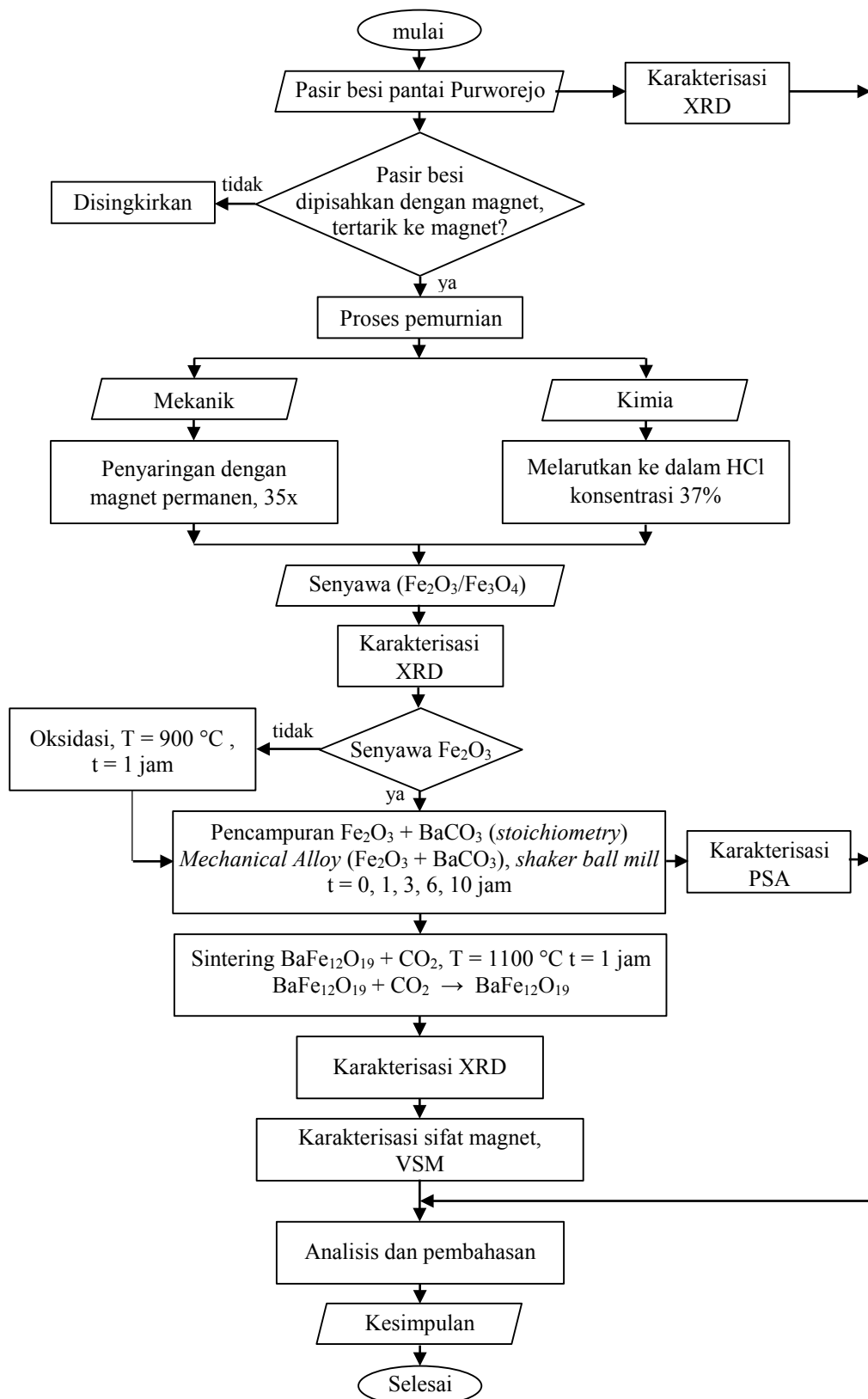
3.1.2 Tempat Pelaksanaan

Tempat dilaksanakannya penelitian dalam proses pembuatan sampel adalah Laboratorium Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.

3.2 Desain Penelitian

3.2.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan proses pemurnian secara mekanik maupun kimia dimana hasil pemurnian ini digunakan sebagai bahan baku utama pembuatan magnet barium heksaferit setelah melau beberapa tahapan proses. Dalam penelitian ini memiliki proses yang dilakukan secara runtut. Urutan tahapan penelitian ini dijelaskan pada diagram alir Gambar 3.1.

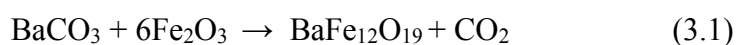


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada diagram alir Gambar 3.1 langkah dalam proses penelitian sebagai berikut:

1. Sebelum melakukan penelitian, dilakukan pengambilan sampel pasir dari pantai Ketawang Indah, Purworejo untuk keperluan pengujian menggunakan XRD sebagai sampel *raw material*.
2. Melakukan pemisahan dari pengotor terhadap pasir dengan bantuan magnet permanen, sehingga pengotor tidak akan terangkat ke magnet dan disingkirkan. Pasir dicuci menggunakan aquades dan dibilas, kemudian dikeringkan dengan bantuan sinar matahari hingga benar-benar kering.
3. Pasir yang telah melewati proses pemisahan dan pencucian dapat digunakan untuk tahapan selanjutnya, yaitu proses pemurnian. Dalam proses pemurnian ini dilakukan dengan dua cara, mekanik dan kimia.
4. Proses pemurnian secara mekanik dilakukan dengan cara menyaring pasir menggunakan bantuan magnet permanen sebanyak 35 kali, pasir yang tidak terangkat disingkirkan dan dianggap sebagai pengotor, sehingga tidak digunakan.
5. Proses pemurnian secara kimia dilakukan dengan cara menyeragamkan ukuran butir pasir menggunakan saringan mesh 80, dan kemudian melarutkan kedalam asam klorida (HCl) dengan konsentrasi 37%. Proses pengadukan dilakukan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kondisi pengadukan pada kecepatan 600 rpm selama 15 menit dengan temperatur 70 °C. larutan disaring menggunakan kertas saring, larutan lolos saring dikeringkan hingga mengering dan kemudian dihaluskan. Hasil dari masing-masing proses pemurnian menghasilkan senyawa oksida Fe_2O_3 atau Fe_3O_4 .

6. Proses karakterisasi XRD dilakukan pada kedua sampel hasil pemurnian untuk memastikan senyawa yang terbentuk apakah $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_3\text{O}_4$. Jika senyawa yang terbentuk adalah Fe_3O_4 (*magnetite*) maka diperlukan adanya oksidasi pada temperatur $900\text{ }^\circ\text{C}$ selama 5 jam agar terbentuk Fe_2O_3 (*hematite*).
7. Proses pencampuran antara $\text{BaCO}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ menggunakan perhitungan *stoichiometry* dengan persamaan sebagai berikut



Proses pencampuran dilakukan menggunakan *shaker ball mill* dengan variasi waktu pencampuran 0, 1, 3, 6, dan 10 jam. Masing-masing campuran diuji karakterisasi ukuran partikel menggunakan PSA, untuk selanjutnya dianalisis.

8. Untuk sampel *milling* 10 jam dilakukan proses *sintering* pada $1100\text{ }^\circ\text{C}$ selama 1 jam, yang diharapkan akan menjadi $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sepenuhnya menurut persamaan sebagai berikut



9. Untuk memastikan senyawa hasil *sintering* diatas, maka dilakukan karakterisasi menggunakan XRD pada sampel *milling* 10 jam untuk mendapatkan hasil yang valid.
10. Selanjutnya melakukan karakterisasi kemagnetan menggunakan VSM untuk mengetahui nilai magnetisasi (M), dan medan magnet (H) yang digunakan untuk membentuk kurva histerisis.
11. Dalam proses penelitian, jumlah sampel spesimen uji sangat penting untuk diperhitungkan, maka dari itu jumlah kebutuhan spesimen dituliskan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Jumlah kebutuhan spesimen uji

Sampel Milling Jam ke	Kebutuhan spesimen untuk karakterisasi						Jumlah
	XRD		PSA		VSM		
	Proses Pemurnian						
	Kimia	Mekanik	Kimia	Mekanik	Kimia	Mekanik	
0	1	1	1	1			4
1			1	1			2
3			1	1			2
6			1	1			2
10	1	1	1	1	1	1	6
Total Jumlah Kebutuhan Spesimen							16

12. Hasil dari setiap proses dan pengujian dilakukan analisis untuk mengumpulkan data dari penelitian, salah satunya kedalam bentuk tabel, seperti yang sudah dipersiapkan pada Tabel 3.2, 3.2, dan 3.4 sehingga menghasilkan suatu bahasan. Dilakukan penyesuaian dengan kajian yang diperoleh dan kemudian dituangkan dalam kesimpulan.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat Penelitian

Sesuai dengan yang telah disusun, dalam hal penunjang penelitian dan untuk mengumpulkan data dari penelitian agar sesuai dengan apa yang diharapkan, maka diperlukan beberapa peralatan sebagai berikut:

1. Magnet permanen

Magnet permanen digunakan sebagai media ekstraksi untuk memisahkan antara material yang mengandung unsur fero dan non fero, magnet permanen yang digunakan berasal dari magnet *speaker* yang sudah tak terpakai.



Gambar 3.2 Magnet permanen

2. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan untuk menimbang berat dari serbuk BaCO_3 dan Fe_2O_3 dengan cara meletakkan spesimen tersebut diatas timbangan digital. Timbangan digital tersebut memiliki tingkat ketelitian sebesar 0,0001 gram. Timbangan digital yang digunakan berada di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.



Gambar 3.3 Timbangan digital

3. Gelas *beaker*

Gelas *beaker* digunakan pada proses pemurnian kimia yaitu dengan melarukan pasir besi ke dalam HCl yang dipanaskan dan diaduk menggunakan *hot plate magnetic stirrer*.



Gambar 3.4 Gelas beaker

4. Kertas saring

Kertas saring digunakan untuk menyaring hasil pelarutan pasir besi ke dalam HCl, dimana logam yang terlarut dipisahkan yang kemudian digunakan untuk tahap proses selanjutnya.



Gambar 3.5 Kertas saring

5. Alat analisis fasa kristalin *X-ray Diffraction*

digunakan untuk mengetahui fasa yang pada sampel yang telah dipersiapkan antara lain hasil pemurnian, hasil oksidasi, dan pada pembentukan barium heksaferit.



Gambar 3.6 XRD *Expert '3 Powder*

6. Alat uji ukuran partikel *Particle Size Analyzer*

Mesin PSA ini digunakan untuk mengetahui ukuran partikel dari campuran serbuk BaCO_3 dan Fe_2O_3 yang telah di *milling* dengan beberapa variasi waktu *milling*.



Gambar 3.7 *Laser Particle Sizer LLPA-C10*

7. *Furnace*

Furnace memiliki fungsi untuk memanaskan atau mengeringkan spesimen pada proses oksidasi dan *sintering*. *Furnace* yang digunakan yaitu *Nabertherm* buatan *Germany*. *Furnace* yang digunakan pada penelitian berada di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang



Gambar 3.8 *Furnace*

8. VSM (*vibrating sample magnetometer*)

Mesin VSM ini digunakan untuk menguji katakteristik sifat magnet pada material sampel, sehingga mendapatkan hasil grafik berbentuk *loop histerisis* yang

nantinya bias diketahui seberapa kuat sifat magnet tersebut. Mesin VSM ini berada di laboratorium LIPI Fisika Tangerang.



Gambar 3.9 *Vibrating sample magnetometer*

3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang akan dipergunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pasir besi Pantai Ketawang Indah Purworejo



Gambar 3.10 Pasir besi pantai Purworejo

2. Aquades
3. Larutan prekursor berupa asam klorida (HCl) konsentrasi 37%
4. Barium karbonat (BaCO_3) kemurnian 98%
5. Alkohol

3.4 Parameter Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Menurut Sugiyono (2016:61) variabel bebas dalam penelitian menjadi sebab dari timbulnya variabel terikat. Variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi metode dalam pemurnian pasir besi, yaitu menggunakan metode pemurnian mekanik dan kimia. Serta variasi waktu pencampuran BaCO_3 dengan Fe_2O_3 yaitu 0, 1, 3, 6, 10 jam.

3.4.2 Variabel Terikat

Menurut Sugiyono (2016:61) variabel terikat merupakan akibat dari adanya pengaruh variabel bebas dari penelitian. Variabel terikat pada penelitian ini adalah ukuran partikel bahan uji (PSA) dan karakteristik magnet yang meliputi besaran nilai magnetisasi (M), medan magnet (H), dan gaya koersifitas.

3.5 Teknik Pengumpulan Data

Metode dalam penelitian ini menggunakan eksperimen. Menurut Sugiyono (2016:107) metode eksperimen merupakan sebuah perlakuan atau *treatment* dalam mencari pengaruh dari hal tertentu dengan kondisi yang dikendalikan. Dalam hal mengkarakterisasi sifat fisik dan magnetik magnet permanen barium heksaferit, perlu dilakukan suatu eksperimen dengan variasi metode pemurnian dan variasi waktu pencampuran antara BaCO_3 dengan Fe_2O_3 .

Pengambilan data dalam eksperimen ini dilakukan dengan cara menguji beberapa sampel. Pengujian pada sampel meliputi pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*), PSA (*Particle Size Analyzer*) yang berkaitan dengan ukuran partikel

dan karakteristik sifat magnetik barium heksaferit menggunakan VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*).

Tabel 3.2 Instrumen data karakterisasi XRD

Karakterisasi Fasa Kristalin Menggunakan XRD	
<i>Raw material</i>	Gambar hasil XRD
	Deskripsi
(Raw Mekanik)	Gambar hasil XRD
	Deskripsi
(Raw Kimia)	Gambar hasil XRD
	Deskripsi
Sampel <i>milling</i> 10 Jam Mekanik	Gambar hasil XRD
	Deskripsi
Sampel <i>milling</i> 10 Jam kimia	Gambar hasil XRD
	Deskripsi

Tabel 3.3 Instrumen data karakterisasi PSA

Sampel <i>Milling</i> jam ke -	Ukuran Partikel(μm)	
	Pemurnian Kimia	Pemurnian Mekanik
0		
1		
3		
6		
10		

Tabel 3.4 Instrumen data karakterisasi VSM

Sampel	Nilai Karakterisasi Kemagnetan		
	M_{10kOe} (emu/g)	H_c (Oe)	$BH (max)$ (MGOe)
Mekanik ₁₀			
Kimia ₁₀			

3.6 Kalibrasi Instrumen

Kalibrasi adalah serangkaian kegiatan yang membentuk hubungan antara nilai yang ditunjukkan oleh instrumen ukur atau sistem pengukuran, atau nilai-nilai yang sudah diketahui yang berkaitan dengan besaran yang diukur dalam kondisi tertentu. Alat ukur harus dikalibrasi, artinya alat yang digunakan dalam penelitian harus dibandingkan dengan instrumen yang telah memiliki standar. Pada penelitian ini beberapa alat ukur yang memerlukan kalibrasi diantaranya timbangan digital.

Proses kalibrasi timbangan digital yaitu pastikan timbangan tidak memuat beban, kemudian hidupkan tombol *power* pada timbangan, tunggu beberapa saat hingga system beroperasi. Kemudian sesuaikan satuan yang akan digunakan pada indikator timbangan. Apabila indikator sudah menunjukkan satuan gram, maka langkah selanjutnya yaitu menaruh cawan di atas timbangan. Kemudian tekan tombol *tare* untuk mengubah indikator timbangan menjadi 0 gram.

3.7 Teknik Analisis Data

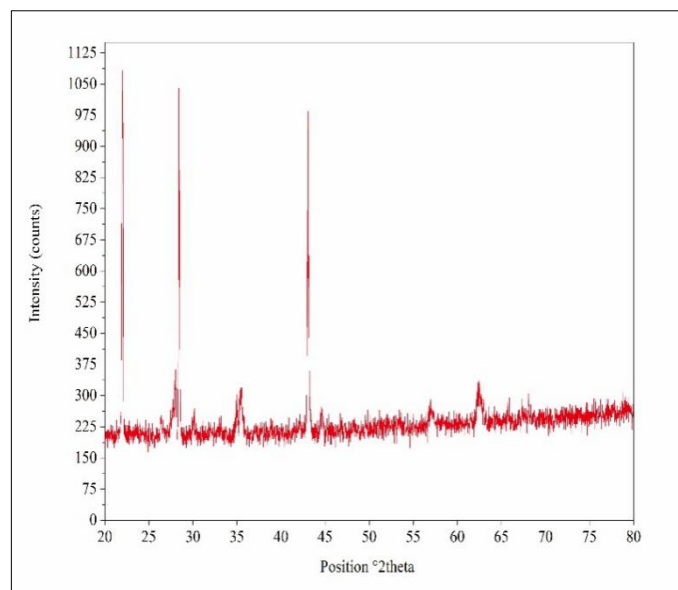
Analisis data pada penelitian ini menggunakan analisis data statistik deskriptif, yaitu statistik digunakan untuk menganalisis data dengan cara menggambarkan atau mendeskripsikan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa membuat kesimpulan yang berlaku secara umum. Data yang dihasilkan yaitu meliputi ukuran partikel, fasa kristalin, besaran nilai magnetisasi, medan magnet, dan gaya koersifitas.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

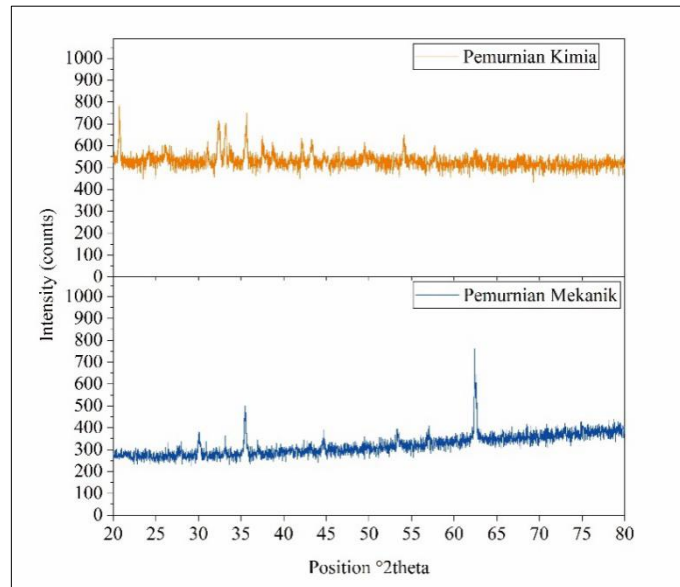
4.1 Deskripsi Data

Sampel *Raw Material* berupa pasir besi yang didapatkan dari pantai Ketawang Indah Kabupaten Purworejo Jawa Tengah dilakukan pengujian menggunakan alat *X-Ray Diffractometer (XRD)* keluaran dari *Malvern Panalytical* dengan tipe *X'pert³ Powder* untuk mengetahui kandungan senyawa didalamnya, hasil pengujian XRD didapatkan pola difraksi seperti pada Gambar 4.1



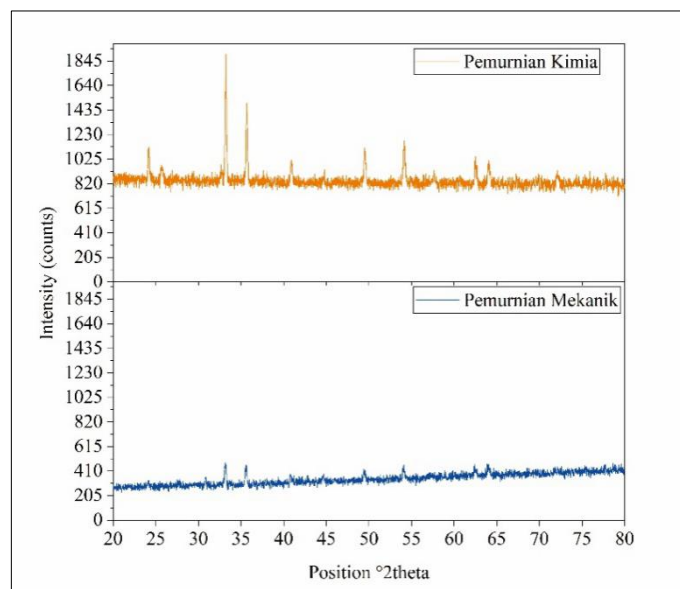
Gambar 4.1 Pola XRD *raw material*

Proses pemurnian pada *raw material* secara mekanik dan kimia dilakukan untuk mendapatkan kandungan Fe, hasil pemurnian antara mekanik dan kimia dilakukan pengujian menggunakan XRD untuk mengetahui tingkat kandungan Fe setelah proses pemurnian, pola difraksi hasil pengujian sampel proses pemurnian secara mekanik dan kimia diperlihatkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Pola XRD sampel pemurnian

Pada sampel pasca pemurnian antara mekanik dan kimia dilakukan proses oksidasi pada temperatur 900 °C selama 5 jam, diharapkan senyawa yang nantinya terbentuk sepenuhnya berupa *hematite* (Fe_2O_3). Pola difraksi sampel oksidasi pemurnian mekanik dan kimia ditampilkan pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Pola XRD sampel oksidasi 900 °C 5 jam

Proses *mechanical alloying* menggunakan *shaker ball mill* dilakukan untuk membentuk senyawa $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ yang nantinya dipergunakan sebagai bahan magnet permanen, material yang dipergunakan antara lain adalah pasir besi yang telah melalui pemurnian secara mekanik dan kimia, serta telah mengalami proses oksidasi pada temperatur 900 °C selama 5 jam dengan campuran barium karbonat (BaCO_3). Hasil dari proses *mechanical alloy* berupa serbuk, kemudian dilakukan pengujian menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) untuk mengetahui ukuran distribusi partikel. Hasil pengujian menggunakan PSA ditampilkan pada Tabel 4.1

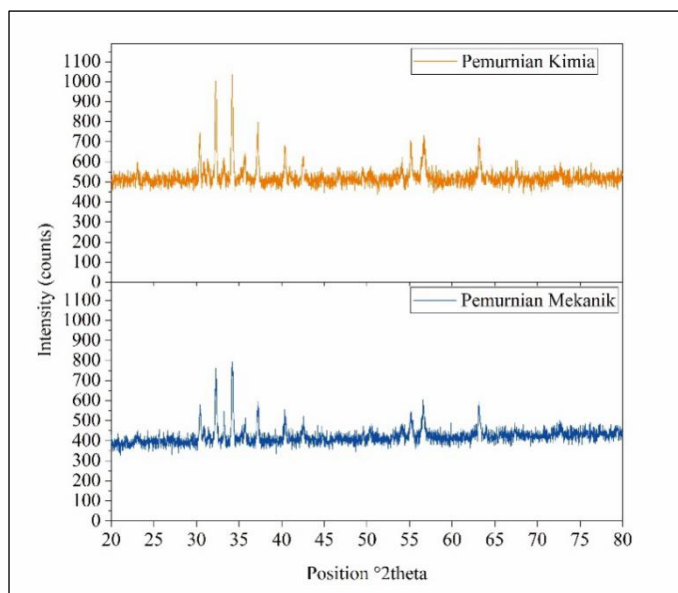
Tabel 4.1 Distribusi ukuran partikel dengan variasi waktu *milling*

Lama Waktu <i>Milling</i> (Jam)	Ukuran Partikel (μm)	
	Oksidasi 900°C mekanik + BaCO_3	Oksidasi 900 °C kimia + BaCO_3
0	111,478	17,667
1	17,816	24,210
3	4,529	22,022
6	129,239	18,826
10	23,477	291,155

Sampel *mechanical alloying* oksidasi 900 °C pemurnian mekanik dan kimia dengan BaCO_3 10 jam selanjutnya *disintering* pada temperatur 1100 °C selama 1 jam, yang nantinya diharapkan campuran hasil oksidasi 900 °C dan barium karbonat menjadi homogen. Pada hasil *sintering* dilakukan pengujian XRD untuk mengetahui terbentuknya senyawa $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$. Pola difraksi pengujian XRD sampel *sintering* hasil *milling* 10 jam antara sampel oksidasi pemurnian secara mekanik maupun kimia dengan serbuk BaCO_3 ditunjukkan pada Gambar 4.4.

Keluaran proses *sintering* pada temperatur 1100 °C selama 1 jam hasil *milling* antara oksida pemurnian secara mekanik maupun kimia dengan campuran serbuk BaCO_3 dikarakterisasi menggunakan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM)

untuk mengetahui karakter sifat magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ yang terbentuk. Hasil karakterisasi diperlihatkan dalam Tabel 4.2



Gambar 4.4 Pola XRD sampel *milling* 10 jam yang disintering 1100 °C

Tabel 4.2 Karakteristik sifat magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ *sintering* 1100 °C 1 jam

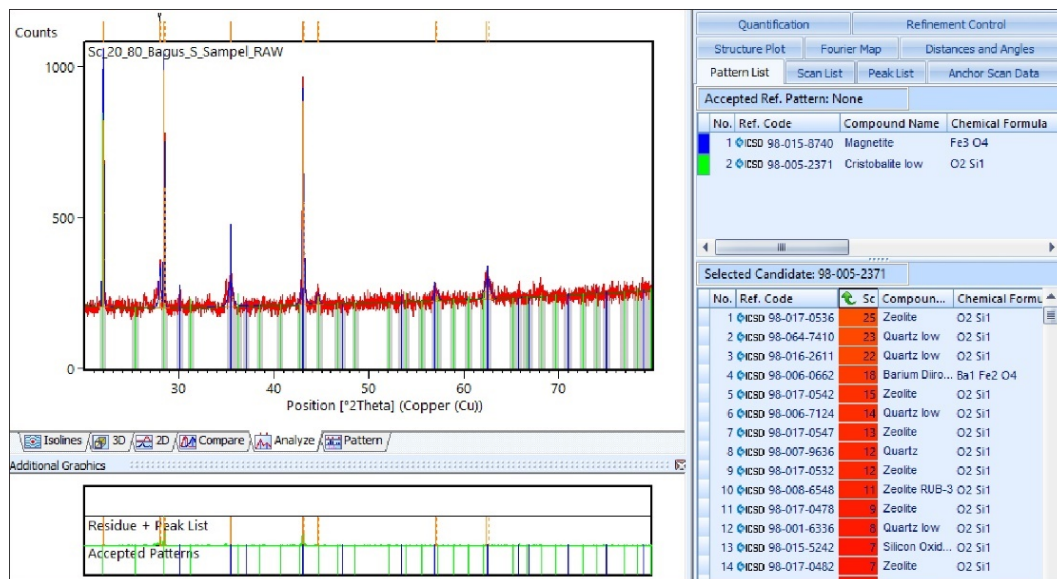
Sampel Pemurnian	Br (emu/g)	σ_s (emu/g)	H_c (kOe)
Mekanik	19,14	40,70	1,639
Kimia	22,82	46,01	2,034

4.2 Analisis Data

4.2.1 Pengujian XRD *Raw Material*

Pada sampel pengujian awal, hasil difraksi *Raw material* membentuk pola sehingga menghasilkan beberapa puncak, puncak-puncak tersebut mewakili keberadaan senyawa yang teridentifikasi saat dilakukan proses pengujian XRD seperti yang telah ditunjukkan pada Gambar 4.1. Senyawa yang terkandung pada sampel *Raw material* saat dilakukan pengujian menggunakan XRD pada Gambar 4.1 tidak dapat langsung terbaca, karenanya perlu adanya analisis menggunakan bantuan *software* buatan *PANalytical B.V* yaitu *HighScore Plus*, untuk hasil analisis

awal menggunakan *software* analisis XRD pada sampel *Raw material* ditampilkan pada Gambar 4.5.

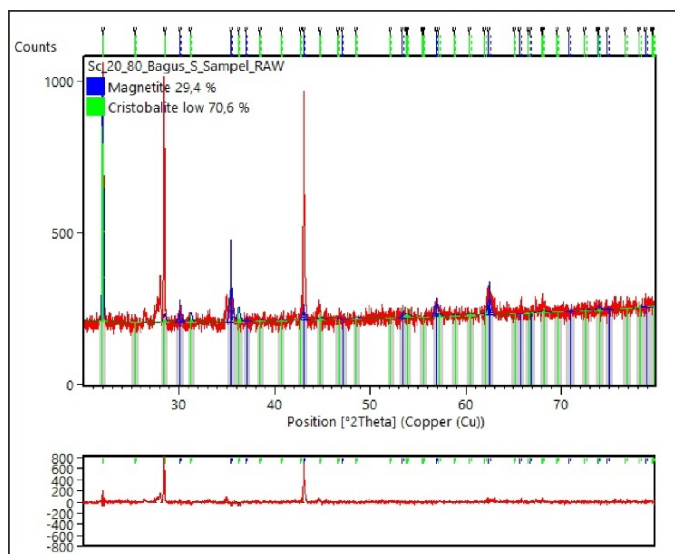


Gambar 4.5 Analisis awal *raw material*

Sesuai dengan Gambar 4.5 pola XRD menghasilkan beberapa puncak, adapun puncak yang terdeteksi menunjukkan kesesuaian dengan senyawa *magnetite* dan *cristobalite low* menurut database ICSD nomor 98-015-8740 dan 98-005-2371, berdasarkan hasil analisis dapat pula ditarik kesimpulan bahwa kandungan senyawa pada *Raw material* didominasi oleh *magnetite* (Fe₃O₄) dan *cristobalite low* (SiO₂) namun masih terdapat kemungkinan adanya senyawa atau unsur lain yang terkandung di dalamnya. Hal ini disebabkan karena karakterisasi menggunakan XRD hanya mampu mengidentifikasi kandungan senyawa dan bukan unsur pada material uji di atas 5%.

Proses analisis yang selanjutnya dapat dilakukan adalah mengidentifikasi secara kuantitative perbandingan kandungan kedua senyawa yang mendominasi pada pola XRD *Raw material* yang ditampilkan dalam Gambar 4.6.

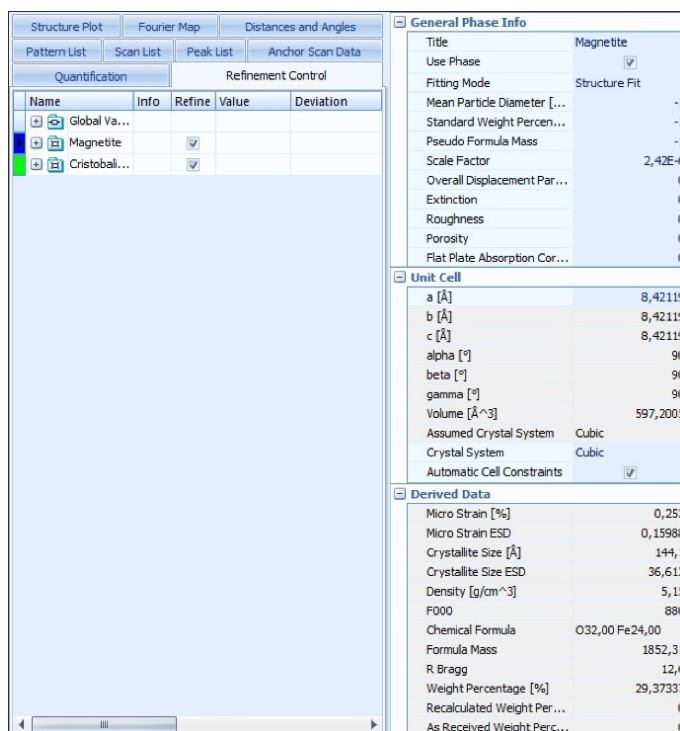
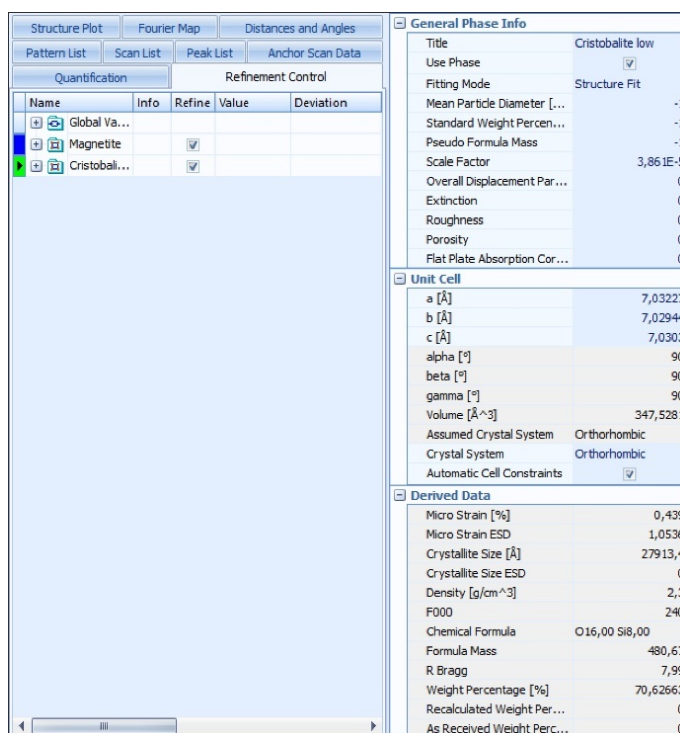
Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan *cristobalite low* sangat tinggi jika dibandingkan senyawa *magnetite*, hal ini dikarenakan pada sampel *Raw material* belum diberikan perlakuan, sehingga perlu adanya *treatment* lebih lanjut untuk mendapatkan kandungan Fe yang cukup tinggi.



Gambar 4.6 Analisis kuantitative *raw material*

Hasil analisis menggunakan *software* tidak cukup untuk mengetahui kandungan dan perbandingan presentase senyawa yang ada di dalam *Raw material*, adapun karakteristik sifat fisik juga dianalisis, pola XRD yang terbaca pada *Raw material* menunjukkan karakteristik masing-masing senyawa, pada senyawa *magnetite* (Fe_3O_4) sifat fisik yang terdeteksi ditampilkan pada Gambar 4.7 sedangkan untuk senyawa SiO_2 ditampilkan dalam Gambar 4.8.

Sifat fisik *magnetite* (Fe_3O_4) *Raw material* hasil analisis menggunakan *software* menunjukkan *unit cell* dengan ukuran kisi yang sama, dengan nilai $a=b=c$ yaitu, 0,842119nm berbentuk *cubic* dengan volume $59,72005\text{nm}^3$, dan ukuran kristalin yang terbaca adalah 14,41nm.

Gambar 4.7 Karakteristik sifat fisik Fe₃O₄ raw materialGambar 4.8 Karakteristik sifat fisik SiO₂ raw material

Karakteristik sifat fisik pada *crystalite low* (SiO_2) hasil analisis menggunakan *software* analisis XRD *Highscore Plus* pada *unit cell* SiO_2 memiliki ukuran kisi $a = 0,703227\text{nm}$, $b = 0,702944\text{nm}$, dan $c = 0,70303\text{nm}$, dengan bentuk *orthorhombic* dan volume $34,75281\text{nm}^3$ serta ukuran kristal $2791,34\text{nm}$. seperti ditunjukkan pada Gambar 4.8

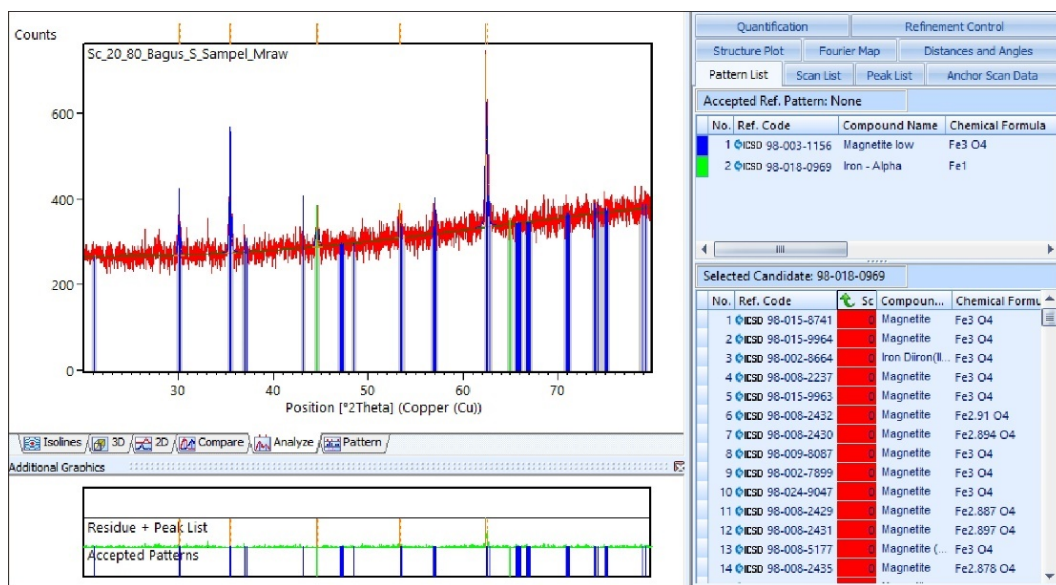
4.2.2 Proses Pemurnian Pasir Besi

Hasil karakterisasi XRD pada sampel pemurnian yang dilakukan secara mekanik dan kimia menghasilkan perbandingan puncak dan intensitas seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.2. untuk mengetahui senyawa yang ada pada sampel, selanjutnya dilakukan analisis menggunakan bantuan *software* analisis XRD.

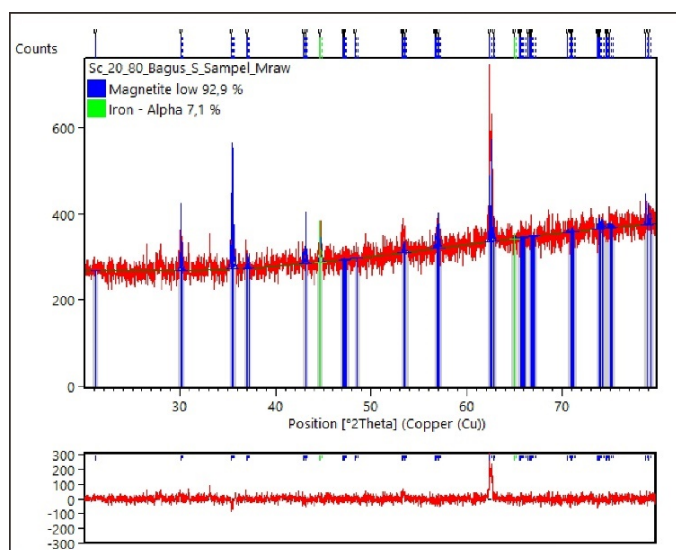
4.2.2.1 Proses Pemurnian Mekanik

Mengacu pada Gambar 4.2 hasil analisis awal menggunakan *software* XRD *Highscore Plus* pada sampel pemurnian secara mekanik didapatkan senyawa yang memiliki kesesuaian dengan data ICSD seperti yang diperlihatkan Gambar 4.9

Pada puncak yang terdeteksi saat dilakukan analisis menggunakan *software* *Highscore Plus* didapatkan beberapa senyawa, antara lain seperti *magnetite low* (Fe_3O_4) dan *iron-alpha* (Fe) sedangkan hasil analisis perhitungan secara kuantitatif senyawa *magnetite low* dan *iron-alpha* pada sampel pemurnian mekanik ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.9 Analisis awal pemurnian mekanik

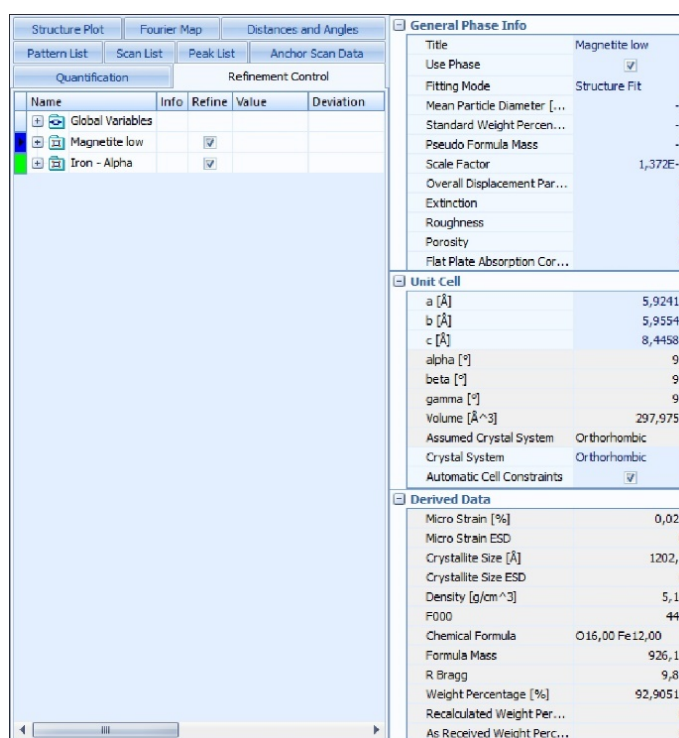


Gambar 4.10 Analisis kuantitative pemurnian mekanik

Analisis kuantitative sampel pemurnian mekanik didapatkan perbandingan yang tinggi antara *magnetite low* (Fe₃O₄) dan *iron-alpha* (Fe) yaitu sebesar 92,9% untuk *magnetite low* dan 7,1% untuk *iron-alpha*. Pada hasil analisis secara kuantitative seperti yang telah ditunjukkan pada Gambar 4.10 dapat ditarik kesimpulan, bahwa proses pemurnian dengan cara menggunakan bantuan magnet permanen untuk menarik pasir besi sebanyak 35 kali saring dapat meningkatkan

kandungan Fe. Hal ini ditunjukkan oleh kandungan senyawa *crystalite low* yang sebelumnya mendominasi pada *Raw material* telah digantikan oleh senyawa dengan kandungan Fe yang cukup tinggi, terutama pada kandungan senyawa *magnetite low* (Fe_3O_4) dimana hampir mencapai 100%.

Untuk mengetahui karakterisasi sifat fisik pada ke dua senyawa yang terkandung di dalam sampel pemurnian mekanik, selanjutnya dilakukan analisa menggunakan bantuan *software XRD* yaitu *Highscore Plus*. Hasil analisis sifat fisik sampel pemurnian mekanik pada senyawa *magnetite low* dan *iron-alpha* masing-masing ditunjukkan pada Gambar 4.11 dan 4.12.

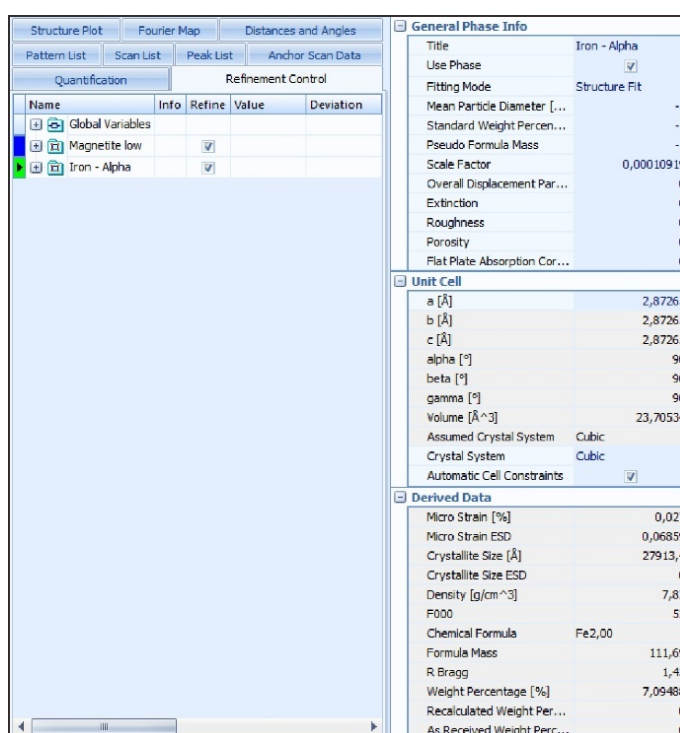


Gambar 4.11 Karakteristik sifat fisik *magnetite low* pemurnian mekanik

Sesuai yang telah diperlihatkan pada Gambar 4.11 Analisis sifat fisik senyawa *magnetite low* pada sampel pemurnian mekanik didapatkan informasi bahwa *unit cell* senyawa *magnetite low* berbentuk *orthorhombic* dengan ukuran

antara kisi $a = 0,592411\text{nm}$, $b = 0,595541\text{nm}$, dan $c = 0,844588$ dengan ukuran kristal tertera $120,27\text{nm}$.

Senyawa *iron-alpha*, hasil analisis sifat fisik diperoleh *unit cell* berbentuk *cubic* yang dimana ukuran antara kisis $a = b = c$ yaitu $0,287265\text{nm}$ dengan besaran volume berkisar $2,70534\text{nm}^3$ dan ukuran kristal $2791,34\text{nm}$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.12.

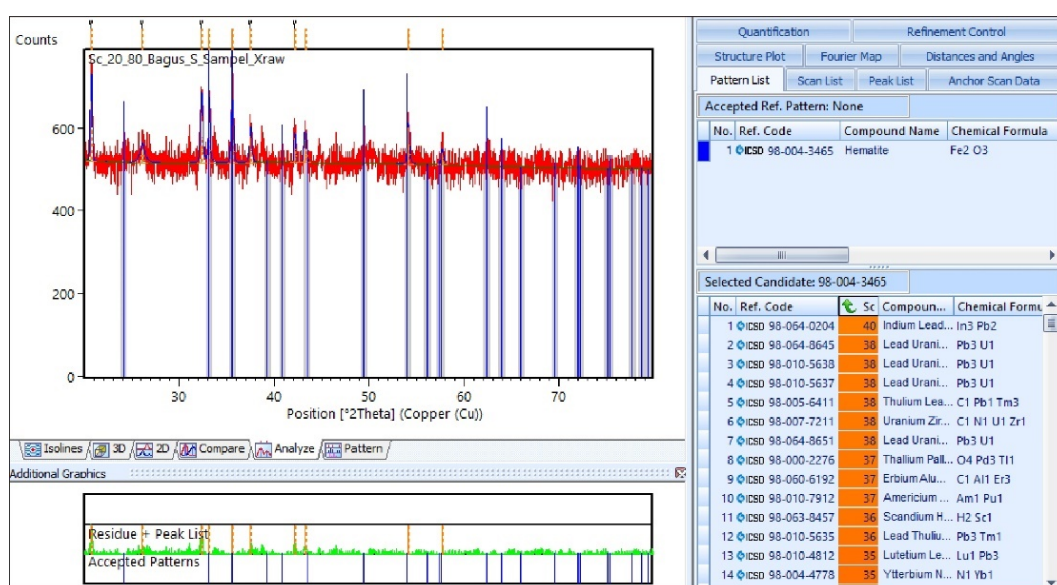


Gambar 4.12 Karakteristik sifat fisik *iron-alpha* pemurnian mekanik

4.2.2.2 Proses Pemurnian Kimia

Pola XRD pada Gambar 4.2 pemurnian kimia mengidentifikasi keberadaan senyawa seperti yang ditunjukkan oleh puncak yang terdeteksi, hasil analisis awal pasir besi yang telah melalui proses pemurnian secara kimia telah ditampilkan pada Gambar 4.13.

Hasil analisis awal sesuai Gambar 4.13 menunjukkan bahwa senyawa yang hadir setelah proses pemurnian kimia diwakili oleh satu senyawa yang dapat digunakan sebagai bahan campuran sebagai bahan dasar pembuatan magnet permanen berbasis ferit, namun masih terdapat beberapa kandidat senyawa pada hasil analisis yang memiliki score tinggi, ini menunjukkan adanya beberapa unsur atau senyawa yang menjadi pengotor, maka perlu dilakukan proses untuk tahapan selanjutnya sehingga didapatkan kandungan Fe murni.

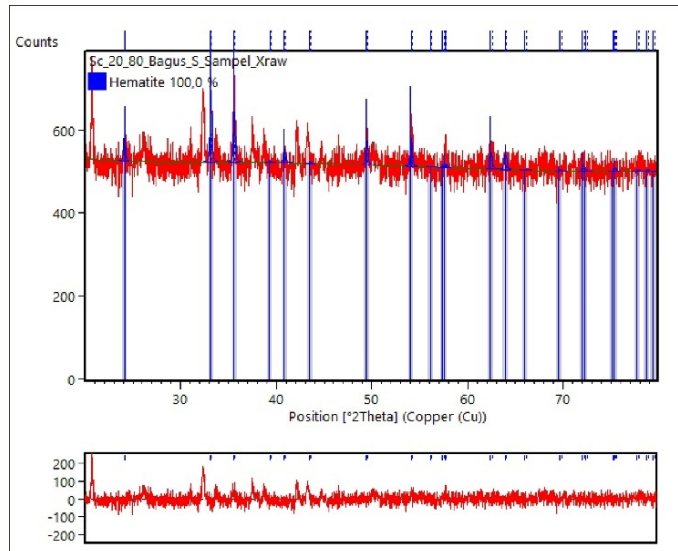


Gambar 4.13 Analisis awal pemurnian kimia

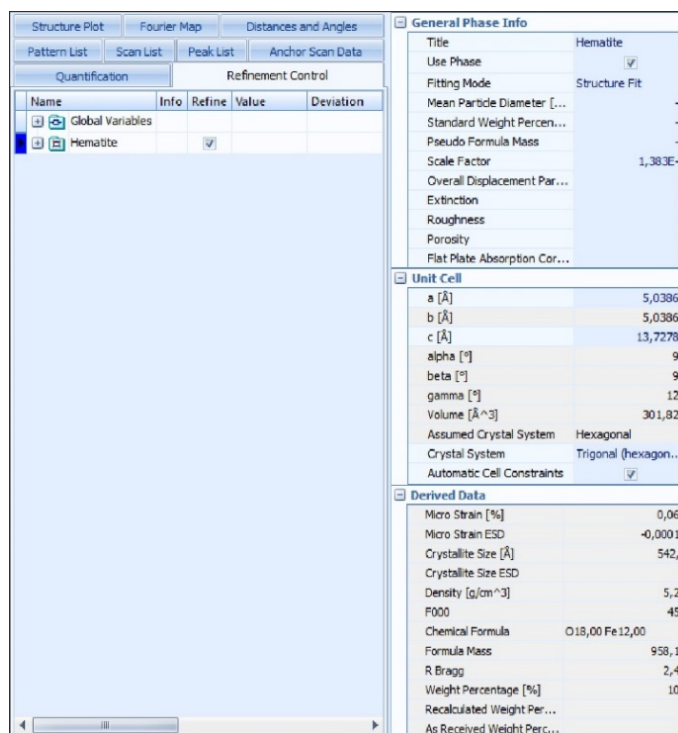
Fasa senyawa terbentuk pada hasil analisis pemurnian kimia melalui *software* XRD adalah *hematite* (Fe₂O₃). Berbeda dengan proses pemurnian secara mekanik yang fasanya masih berbentuk *magnetite* (Fe₃O₄).

Seperti yang diperlihatkan Gambar 4.14 hasil analisis kuantitative pada sampel pemurnian secara kimia menunjukkan presentase *hematite* telah menjadi 100%. Karakteristik sifat fisik Hematit (Fe₂O₃) pada sampel pemurnian kimia

menunjukkan *unit cell* yang dimilikinya berbentuk *hexagonal*, ini sesuai dengan data ICSD nomor 98-004-3465 tentang senyawa *hematite*.



Gambar 4.14 Analisis kuantitatif pemurnian kimia



Gambar 4.15 Karakteristik sifat fisik Fe_2O_3 pemurnian kimia

Pada Gambar 4.15 didapatkan informasi pada *unit cell* antara ukuran a , dan b menunjukkan kesamaan, dan berbeda dengan nilai c , dimana $a = b = 0,503\ 865\text{nm}$

sedangkan $c = 1,372782\text{nm}$ dengan ukuran kristalin mencapai $54,27\text{nm}$ serta volume yang terbaca $30,1829\text{nm}^3$.

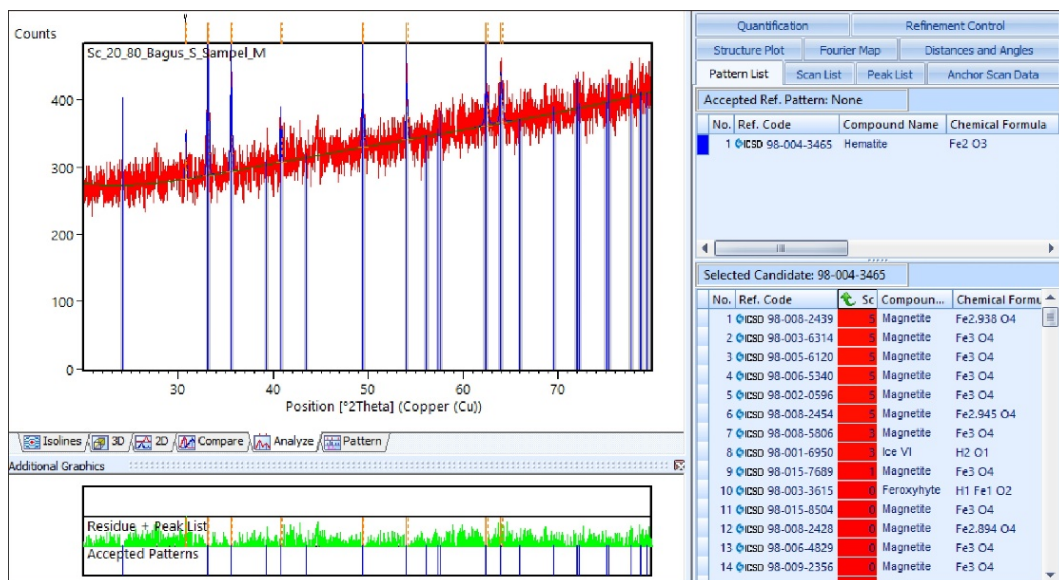
4.2.3 Proses Oksidasi

Proses pemurnian pasir besi secara mekanik maupun secara kimia yang dianalisis menggunakan *software Highscore Plus* menunjukkan adanya senyawa magnetit (Fe_3O_4) dan *hematite* (Fe_2O_3). Untuk menjadikan senyawa hasil pemurnian menjadi *single phase* berupa senyawa *hematite* 100% maka diperlukan adanya transformasi dengan cara memanaskan senyawa hasil pemurnian baik secara mekanik dan kimia hingga temperatur $900\text{ }^\circ\text{C}$ selama 5 jam atau dapat juga dikatakan sebagai proses oksidasi. Mengacu pada Gambar 4.3 karakterisasi menggunakan XRD pada sampel oksidasi $900\text{ }^\circ\text{C}$ selama 5 jam pemurnian secara mekanik dan kimia didapatkan bentuk puncak yang hampir sama pada beberapa derajat sudut 2θ , namun intensitas puncak dari sampel pemurnian secara kimia didapatkan lebih tinggi jika dibandingkan sampel pemurnian secara mekanik.

4.2.3.1 Proses Oksidasi Sampel Mekanik

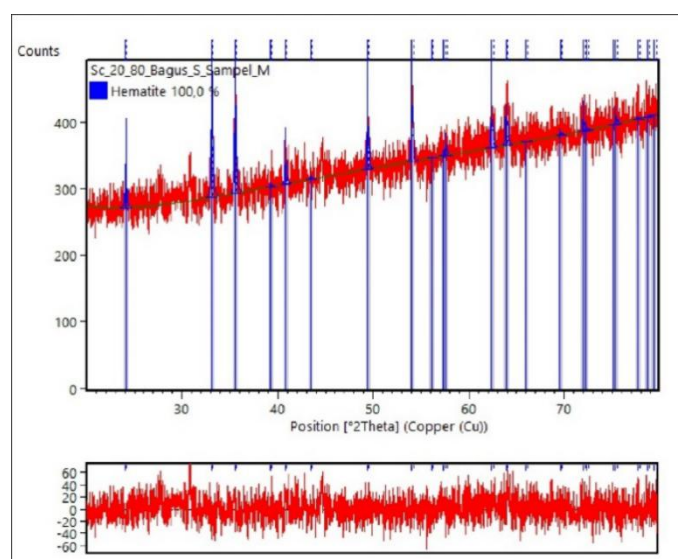
Pada hasil analisis awal sampel pemurnian mekanik seperti yang diperlihatkan Gambar 4.9 didapatkan adanya dua senyawa yang terdeteksi yaitu *magnetite low* dan *iron-alpha*, namun setelah dikenakan *treatment* atau proses oksidasi pada temperatur $900\text{ }^\circ\text{C}$ selama 5 jam fasa senyawa yang sebelumnya adalah *magnetite* dan *iron-alpha* berhasil berubah dan membentuk senyawa *hematite* (Fe_2O_3).

Hasil analisis awal menggunakan *software Highscore Plus* pada sampel oksidasi pemurnian mekanik menunjukkan terbentuknya *single phase hematite* yang ditampilkan pada Gambar 4.16



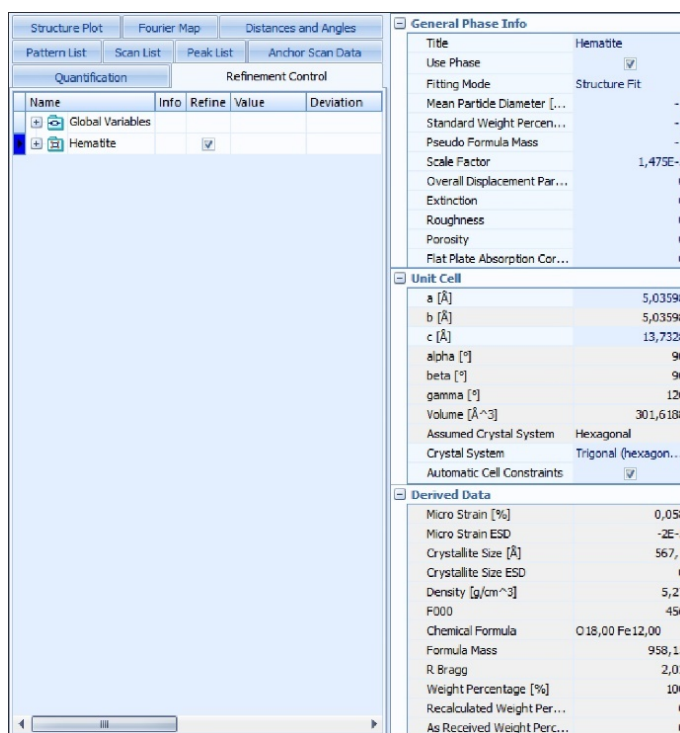
Gambar 4.16 Analisis awal sampel oksidasi 900 °C pemurnian mekanik

Analisis secara kuantitatif melalui *software* analisis XRD menunjukkan bahwa presentase terbentuknya *hematite* telah mencapai 100% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.17



Gambar 4.17 Analisis kuantitatif sampel oksidasi 900 °C pemurnian mekanik

Karakteristik sifat fisik *hematite* hasil oksidasi menunjukkan *unit cell* yang berbentuk *hexagonal* serta ukuran kristal yang terbaca sebesar 56,71nm dengan volume 30,16188nm³ seperti ditunjukkan pada Gambar 4.18



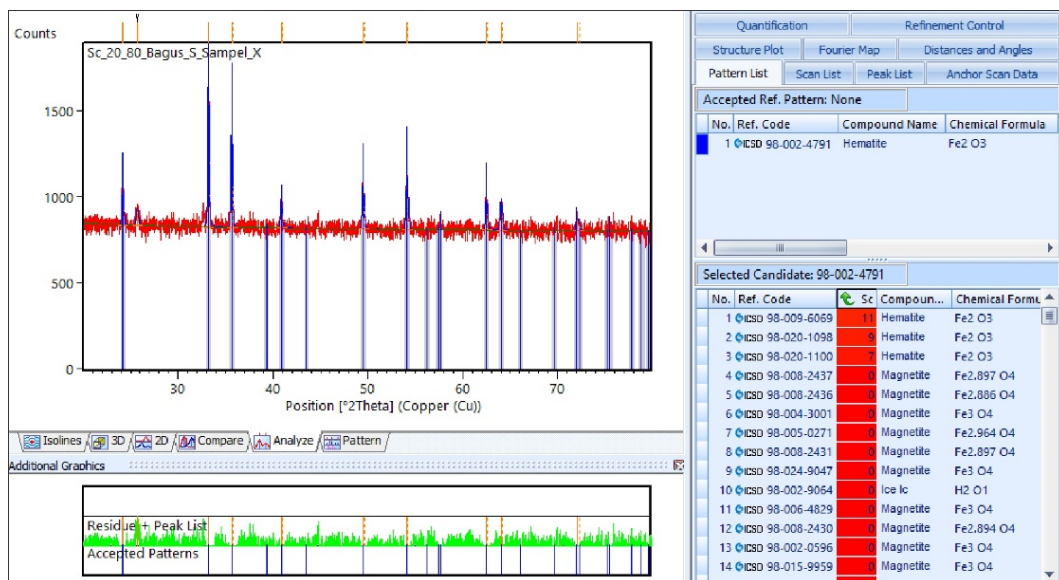
Gambar 4.18 Karakteristik sifat fisik *hematite* sampel oksidasi 900 °C pemurnian mekanik

4.2.3.2 Proses Oksidasi Sampel Kimia

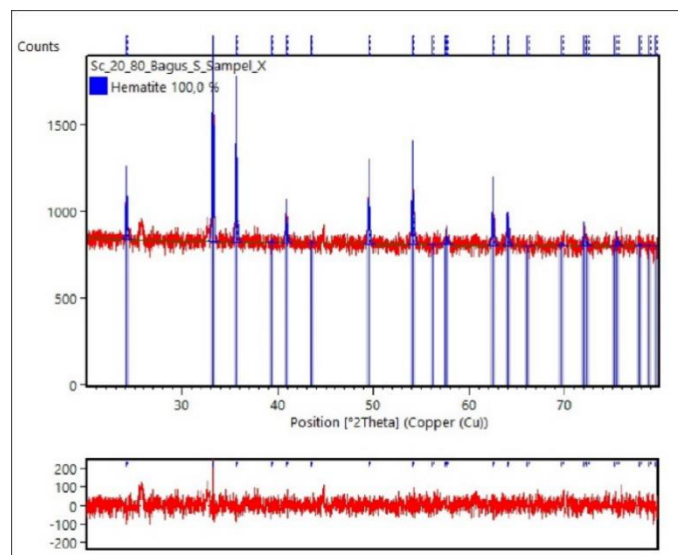
Analisis awal pada sampel oksidasi pemurnian kimia didapatkan intensitas senyawa *hematite* (Fe₂O₃) yang lebih tinggi daripada sebelum dikenakan proses oksidasi, yaitu pada sampel pemurnian kimia seperti yang telah diperlihatkan pada Gambar 4.13. Untuk hasil analisis awal menggunakan *software* analisis *Highscore Plus*, sampel oksidasi 900 °C pemurnian kimia diperlihatkan pada Gambar 4.19

Pada Gambar 4.19 memperlihatkan hasil analisis melalui bantuan *software* analisis XRD pada sampel oksidasi pemurnian kimia sesuai dengan database ICSD nomor 98-002-4791. Dimana senyawa hasil oksidasi 900 °C pemurnian kimia

membentuk *hematite* (Fe_2O_3) *single phase*, dengan intensitas puncak paling tinggi yang teridentifikasi lebih dari 1500(counts). Hal ini ditunjukkan oleh kandidat senyawa yang hadir pada hasil analisis awal yang sudah tidak lagi memiliki score.



Gambar 4.19 Analisis awal sampel oksidasi 900 °C pemurnian kimia



Gambar 4.20 Analisis kuantitative sampel oksidasi 900 °C pemurnian kimia

Hasil analisis secara kuantitative berbasis *software*, pada sampel oksidasi pemurnian kimia Gambar 4.20 menunjukkan presentase senyawa hematit (Fe_2O_3) pada sampel oksidasi 900 °C pemurnian kimia telah mencapai 100%.

Name	Info	Refine	Value	Deviation
Global Variables				
Hematite		<input checked="" type="checkbox"/>		

General Phase Info	
Title	Hematite
Use Phase	<input checked="" type="checkbox"/>
Fitting Mode	Structure Fit
Mean Particle Diameter [...]	-1
Standard Weight Percen...	-1
Pseudo Formula Mass	-1
Scale Factor	5,954E-5
Overall Displacement Par...	0
Extinction	0
Roughness	0
Porosity	0
Flat Plate Absorption Cor...	0

Unit Cell	
a [Å]	5,03366
b [Å]	5,03366
c [Å]	13,73273
alpha [°]	90
beta [°]	90
gamma [°]	120
Volume [Å ³]	301,3383
Assumed Crystal System	Hexagonal
Crystal System	Trigonal (hexagon...
Automatic Cell Constraints	<input checked="" type="checkbox"/>

Derived Data	
Micro Strain [%]	0,030
Micro Strain ESD	0
Crystallite Size [Å]	757,3
Crystallite Size ESD	0
Density [g/cm ³]	5,28
F000	456
Chemical Formula	O18,00 Fe12,00
Formula Mass	958,15
R Bragg	1,43
Weight Percentage [%]	100
Recalculated Weight Per...	0
As Received Weight Per...	0

Gambar 4.21 Karakteristik sifat fisik *hematite* sampel oksidasi 900 °C pemurnian kimia

Pada Gambar 4.21 diperlihatkan karakteristik hematit yang terbentuk pada proses oksidasi sampel pemurnian secara kimia. Dari gambar tersebut didapatkan beberapa informasi dimana *unit cell* yang dimiliki berbentuk *hexagonal* dengan ukuran kristal mencapai 75,73nm dan volume 30,13383nm³.

Proses transformasi seperti ini yang diharapkan dari adanya *treatment* atau proses oksidasi sehingga didapatkan sepenuhnya berupa fasa senyawa terbentuk Fe₂O₃, yang mana senyawa ini merupakan bahan dasar untuk keperluan pembuatan magnet permanen berbasis ferit seperti barium heksaferit (BaFe₁₂O₁₉) ataupun strontium heksaferit (SrFe₁₂O₁₉).

Proses oksidasi pada temperatur 900 °C selama 5 jam antara sampel pemurnian secara mekanik dan kimia, didapatkan ke duanya membentuk senyawa hematit *single phase* dengan presentase 100%. Data hasil analisis ini dapat

dibandingkan untuk mengetahui perbandingan karakter sifat fisik *hematite* yang terbentuk dikarenakan adanya proses oksidasi 900 °C pada sampel pemurnian secara mekanik ataupun secara kimia, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Perbandingan sifat fisik hematit oksidasi 900 °C selama 5 jam

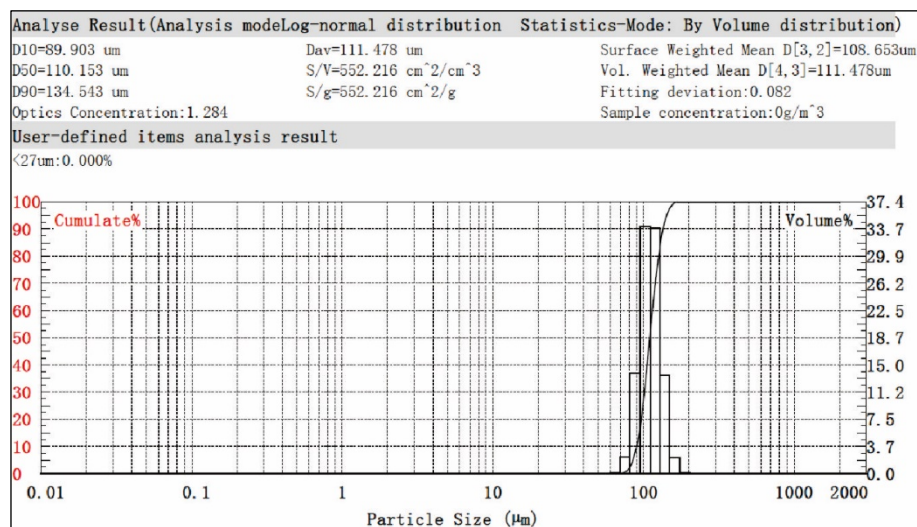
Sampel pemurnian	Unit cell	Ukuran kristalin (nm)	Volume (nm³)
Mekanik	<i>Hexagonal</i>	56,71	30,16188
Kimia	<i>Hexagonal</i>	75,73	30,13383

4.2.4 Proses Mechanical Alloying

Sebelum proses *mechanical alloying* dilakukan untuk membentuk senyawa barium heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$), pasir besi yang telah mengalami proses oksidasi pada temperatur 900°C selama 5 jam baik sampel pemurnian secara mekanik maupun kimia dikarakterisasi sifat fisik lain, guna mengetahui ukuran distribusi partikel dengan menggunakan *particle size analyzer* (PSA). Mesin yang digunakan pada pengujian ini merupakan produk dari *Labtron*, yaitu *Laser Particle Sizer analyser* dengan tipe *LLPA-C10*.

4.2.4.1 Mechanical Alloying Oksida Pemurnian Mekanik

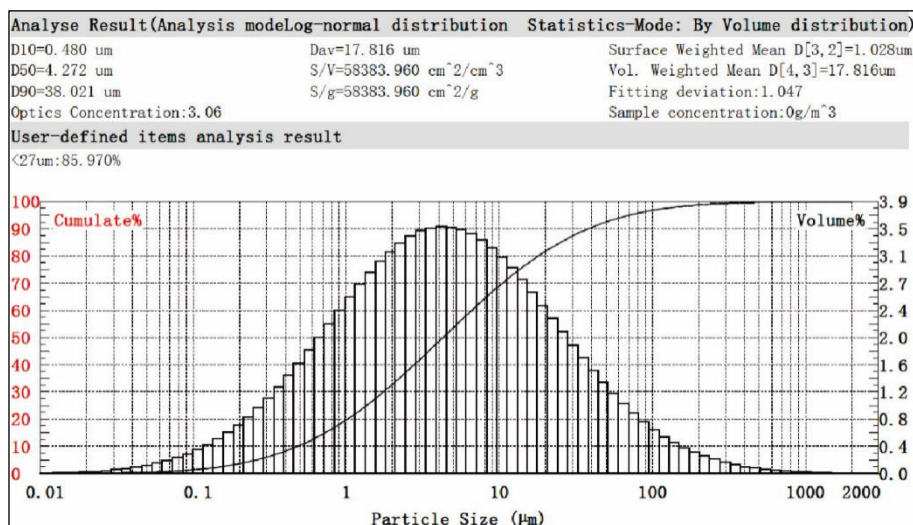
Pengujian butir menggunakan PSA pada oksida sampel pemurnian mekanik diperlihatkan pada Gambar 4.22. Dimana ditribusi ukuran partikel yang ditunjukkan pada grafik hasil pengujian berbentuk monomodal.



Gambar 4.22 Hasil PSA oksida pemurnian mekanik

Dengan adanya distribusi ukuran yang sempit, didapatkan variasi ukuran partikel yang tidak banyak dan cenderung menjadi homogen. Ukuran partikel hasil pengujian didapatkan berkisar diantara $\pm 90\mu\text{m}$ hingga mencapai $\pm 134\mu\text{m}$. Berdasarkan informasi yang ada pada Gambar 4.22 diperoleh hasil rata-rata ukuran partikel adalah sebesar $111,478\mu\text{m}$ (D_{AV}).

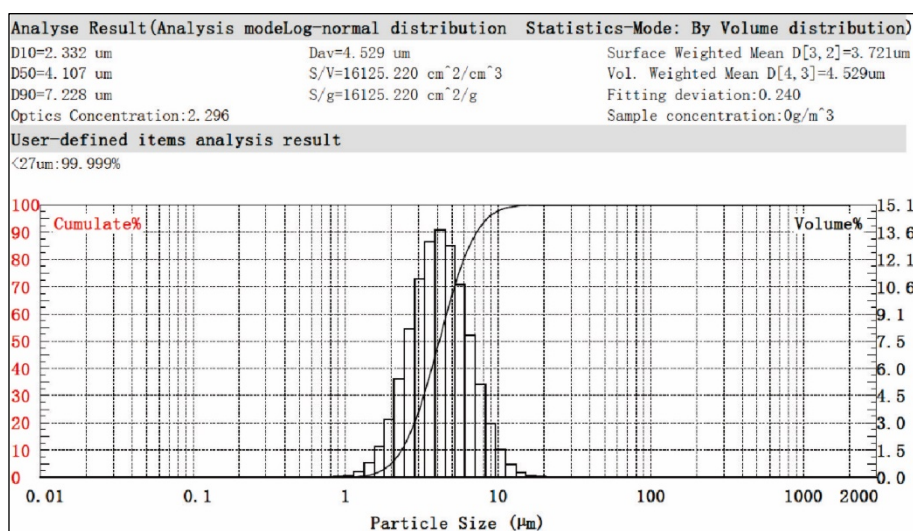
Pasir besi hasil oksidasi $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 5 jam pada sampel pemurnian mekanik kemudian dicampur dengan serbuk barium karbonat (BaCO_3). Perbandingan massa hasil oksidasi dan barium karbonat dihitung menggunakan perhitungan *stoichiometry*. Proses pencampuran dilakukan secara mekanik (*mechanical alloying*) menggunakan alat *shaker ball milling* dengan perbandingan massa sampel dengan massa *steel ball* adalah 1:10. Proses pencampuran hasil oksidasi sampel pemurnian mekanik dan barium karbonat dilakukan selama 1 jam, setelahnya diuji untuk mengetahui karakteristik ukuran partikel menggunakan PSA. Hasil pengujian PSA sampel *milling* 1 jam pada campuran oksidasi sampel pemurnian mekanik dengan barium karbonat diperlihatkan pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Hasil PSA proses *milling* 1 jam antara oksida sampel pemurnian mekanik dengan BaCO₃

Berdasarkan Gambar 4.23 menunjukkan bahwa grafik hasil pengujian PSA sampel *milling* 1 jam berbentuk monomodal dengan variasi distribusi ukuran partikel yang relatif lebar. Hal ini mengidentifikasi ukuran partikel yang didapat dari hasil pengujian sangat banyak (heterogen) yang berkisar antara $\pm 0,5\mu\text{m}$ hingga mencapai $\pm 38\mu\text{m}$. Berdasarkan gambar tersebut juga didapatkan hasil rata-rata ukuran partikel sampel *milling* 1 jam antara oksidasi sampel pemurnian mekanik yang dicampur dengan BaCO₃ adalah $17,816\mu\text{m}$ (D_{AV}). Jika dibandingkan ukuran partikel rata-rata yang didapatkan dari oksidasi sampel pemurnian mekanik adalah $111,478\mu\text{m}$, sedangkan pada sampel *milling* 1 jam antara oksida besi sampel pemurnian mekanik yang dicampur dengan BaCO₃ adalah $17,816\mu\text{m}$. Ini menunjukkan bahwa proses *mechanical alloying* selama 1 jam pada campuran mempengaruhi terjadinya reduksi ukuran partikel yang sangat signifikan yaitu sebesar $93,662\mu\text{m}$ (84,018%).

Proses *mechanical alloying* masih dilakukan pada campuran yang sama, tetapi dengan variasi waktu *milling* yang digunakan adalah 3 jam. Grafik distribusi ukuran partikel hasil pengujian menggunakan PSA sampel *milling* 3 jam ditunjukkan pada Gambar 4.24



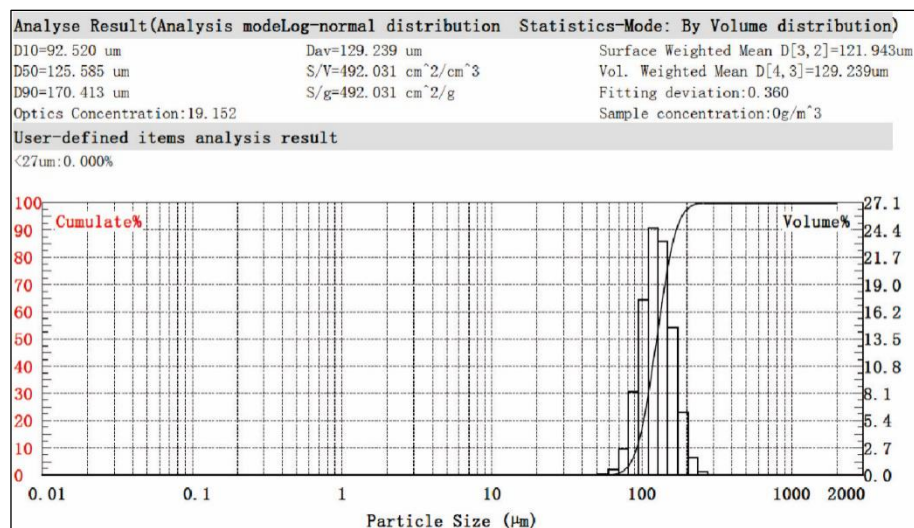
Gambar 4.24 Hasil PSA proses *milling* 3 jam antara oksida sampel pemurnian mekanik dengan BaCO₃

Berdasarkan Gambar 4.24 didapatkan grafik hasil pengujian menggunakan PSA berbentuk monomodal dengan variasi distribusi ukuran partikel yang sempit. Partikel yang terbaca pada proses pengujian relatif homogen berkisar antara $\pm 2\mu\text{m}$ sampai $\pm 7\mu\text{m}$. Didapat pula hasil rata-rata ukuran partikel sampel *milling* 3 jam antara oksidasi sampel pemurnian mekanik yang dicampur dengan BaCO₃ adalah $4,529\mu\text{m}$ (D_{AV}).

Jika dibandingkan antara ukuran partikel rata-rata setelah dilakukan proses *mechanical alloying* selama 1 jam didapatkan $111,478\mu\text{m}$, sedangkan pada proses *mechanical alloying* 3 jam didapatkan $4,529\mu\text{m}$. Dari hasil perbandingan tersebut didapatkan adanya reduksi ukuran partikel, dimana hasil reduksi yang didapatkan

dari adanya proses *mechanical alloying* dari 1 ke 3 jam adalah sebesar 13,287 μ m (74,579%).

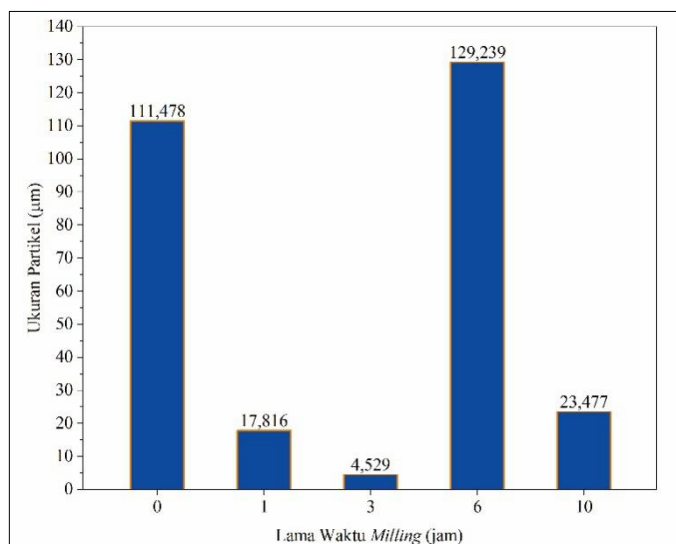
Pada variasi *milling* 6 jam antara oksida sampel pemurnian mekanik yang dicampur dengan BaCO₃ hasil pengujian PSA ditampilkan pada Gambar 4.25.



Gambar 4.25 Hasil PSA proses *milling* 6 jam antara oksida sampel pemurnian mekanik dengan BaCO₃

Berdasarkan informasi Gambar 4.25 grafik yang dihasilkan melalui pengujian PSA terhadap sampel *milling* selama 6 jam berbentuk monomodal, dengan distribusi ukuran partikel yang sempit berkisar diantara $\pm 92\mu$ m hingga $\pm 170\mu$ m. Hasil ukuran partikel rata-rata yang didapatkan sesuai dengan Gambar 4.25 sampel *milling* 6 jam antara oksida sampel pemurnian mekanik yang dicampur dengan BaCO₃ adalah sebesar 129,239 μ m (D_{AV}). Proses *mechanical alloying* ternyata memberikan pengaruh terhadap bertambahnya ukuran rata-rata partikel pada sampel *milling* 6 jam antara oksida sampel pemurnian mekanik yang dicampur dengan BaCO₃. Hal ini dapat terjadi dikarenakan adanya tumbukan secara intensive antara *steel ball* dengan campuran, sehingga mengakibatkan bergabungnya kembali partikel kecil yang sebelumnya telah terbentuk.

6 jam, dimana hasil reduksi yang didapatkan dari adanya proses *mechanical alloying* dari 6 ke 10 jam adalah sebesar 105,762 μm (81,834%).



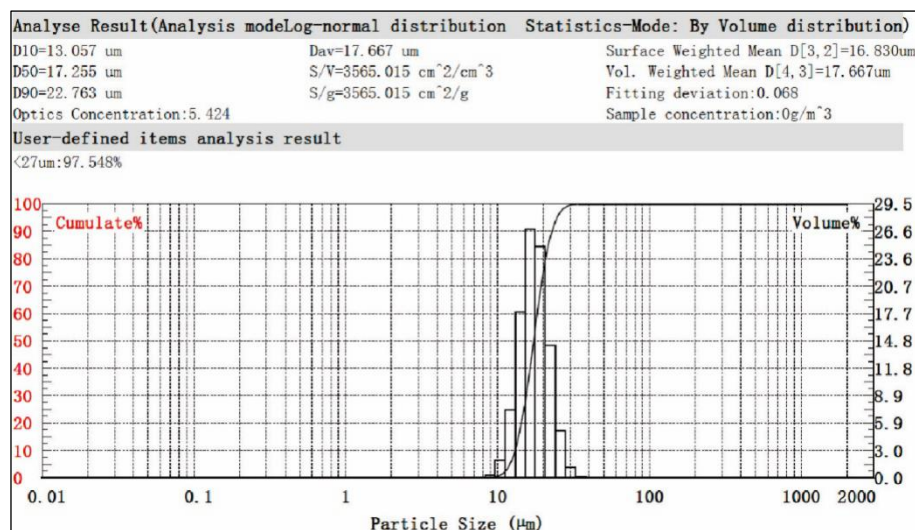
Gambar 4.27 Grafik *mechanical alloying* oksida pemurnian mekanik yang dicampur dengan BaCO_3

Seperti yang telah diperlihatkan pada Gambar 4.27 hasil dari adanya proses *mechanical alloying* oksida pemurnian mekanik yang dicampur dengan BaCO_3 didapatkan grafik dengan variasi waktu *milling*. Dari grafik tersebut didapatkan waktu *milling* yang paling optimal untuk mereduksi ukuran partikel adalah selama 3 jam (4,529 μm) namun campuran belum dapat dikatakan homogen. Pada proses reduksi ukuran antara 0 sampai dengan 3 jam, sifat yang dimiliki bahan masih pada tahap *embrittlement* hal ini ditunjukkan dengan adanya grafik distribusi variasi ukuran yang lebar pada sampel *milling* 1 dan mengalami reduksi yang paling tinggi yaitu 84,018%.

4.2.4.2 Mechanical Alloying Oksida Pemurnian Kimia

Hasil pengujian PSA pada sampel oksidasi 900 °C selama 5 jam pemurnian secara kimia diperlihatkan pada Gambar 4.28. Dimana ditribusi ukuran partikel

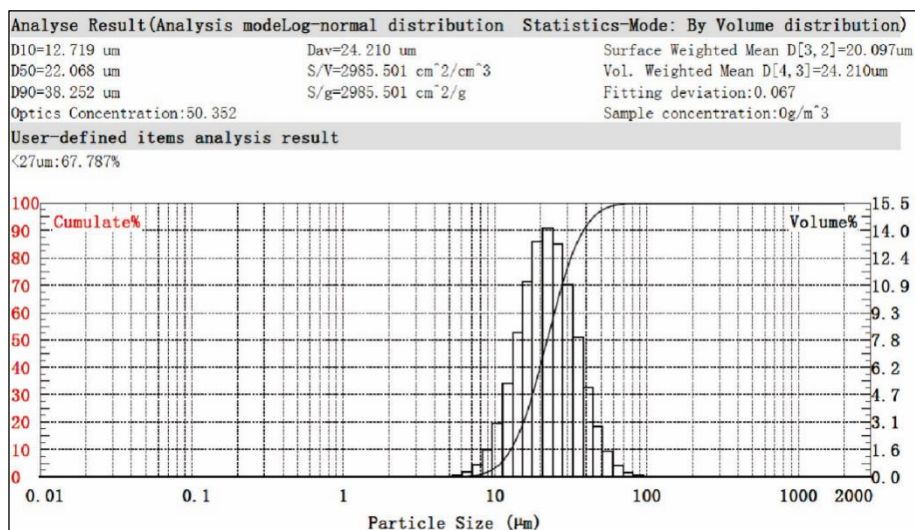
yang ditunjukkan pada grafik hasil pengujian berbentuk monomodal dengan ukuran distribusi yang sangat sempit.



Gambar 4.28 Hasil PSA oksida pemurnian kimia

Ukuran partikel hasil pengujian PSA didapatkan berkisar diantara $\pm 13\mu\text{m}$ hingga mencapai $\pm 22\mu\text{m}$. Dengan adanya distribusi ukuran yang sempit, didapatkan variasi ukuran partikel yang tidak banyak dan cenderung menjadi homogen. Berdasarkan informasi yang ada pada Gambar 4.28 diperoleh hasil rata-rata ukuran partikel adalah sebesar $17,667\mu\text{m}$ (D_{AV}).

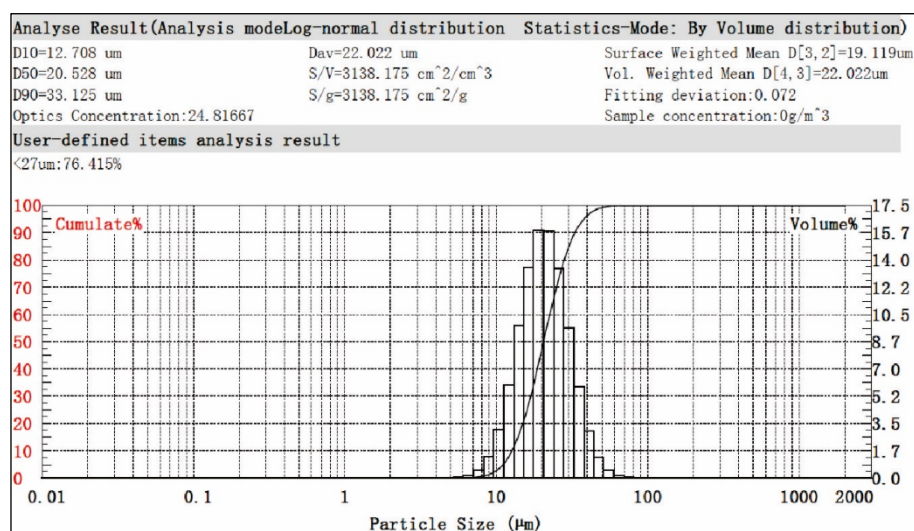
Pasir besi hasil oksidasi $900\text{ }^\circ\text{C}$ selama 5 jam pada sampel pemurnian kimia diberikan perlakuan yang sama untuk keperluan pembentukan senyawa $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$, yaitu dicampur dengan serbuk barium karbonat (BaCO_3) dan perbandingan massa dihitung dengan menggunakan perhitungan *stoichiometry*. Hasil pengujian PSA sampel *milling* 1 jam antara oksidasi sampel pemurnian kimia dengan barium karbonat diperlihatkan pada Gambar 4.29.



Gambar 4.29 Hasil PSA proses *milling* 1 jam antara oksida pemurnian kimia dengan BaCO₃

Berdasarkan Gambar 4.29 menunjukkan bahwa grafik hasil pengujian PSA sampel *milling* 1 jam berbentuk monomodal dengan variasi distribusi ukuran partikel yang relatif sempit (homogen). Hal ini mengidentifikasi ukuran partikel yang didapat dari hasil pengujian berkisar antara $\pm 12\mu\text{m}$ hingga mencapai $\pm 38\mu\text{m}$. Berdasarkan gambar tersebut juga didapatkan hasil rata-rata ukuran partikel sampel *milling* 1 jam antara oksidasi sampel pemurnian kimia yang dicampur dengan BaCO₃ adalah $24,210\mu\text{m}$ (D_{AV}). Jika dibandingkan ukuran partikel rata-rata yang didapatkan dari hasil oksidasi 900 °C sampel pemurnian kimia adalah $17,667\mu\text{m}$, sedangkan pada sampel *milling* 1 jam antara oksida pemurnian kimia yang dicampur dengan BaCO₃ adalah $24,210\mu\text{m}$. Hasil dari adanya proses *mechanical alloying* selama 1 jam pada campuran antara oksida pemurnian kimia yang dicampur BaCO₃ menunjukkan adanya peningkatan ukuran partikel.

Proses *mechanical alloying* sampel *milling* 3 jam antara oksida pemurnian kimia yang dicampur dengan BaCO_3 menghasilkan rata-rata ukuran partikel seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.30.



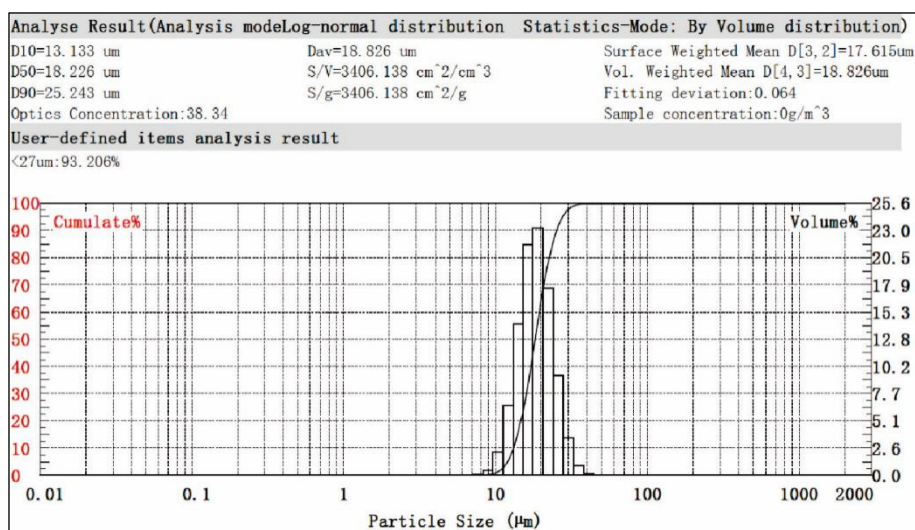
Gambar 4.30 Hasil PSA proses *milling* 3 jam antara oksida pemurnian kimia dengan BaCO_3

Berdasarkan Gambar 4.30 didapatkan grafik hasil pengujian menggunakan PSA berbentuk monomodal dengan variasi distribusi ukuran partikel yang sempit. Partikel yang terbaca pada proses pengujian relatif homogen berkisar antara $\pm 12\mu\text{m}$ sampai $\pm 33\mu\text{m}$. Didapat pula hasil rata-rata ukuran partikel sampel *milling* 3 jam antara oksidasi sampel pemurnian mekanik yang dicampur dengan BaCO_3 adalah $22,022\mu\text{m}$ (D_{AV}).

Jika dibandingkan antara ukuran partikel rata-rata setelah dilakukan proses *mechanical alloying* selama 1 jam didapatkan $24,210\mu\text{m}$, sedangkan pada proses *mechanical alloying* 3 jam didapatkan $22,022\mu\text{m}$. Dari hasil perbandingan tersebut didapatkan adanya reduksi ukuran partikel, hasil reduksi yang didapatkan dari adanya proses *mechanical alloying* dari 1 ke 3 jam adalah sebesar $2,188\mu\text{m}$

(9,037%). Reduksi sampel *milling* selama 3 jam menunjukkan hasil yang tidak terlalu signifikan, setelah pada awal proses *mechanical alloying* didapatkan kenaikan ukuran distribusi partikel.

Pada proses *mechanical alloying* sampel *milling* 6 jam, hasil rata-rata ukuran partikel diperlihatkan pada Gambar 4.31.

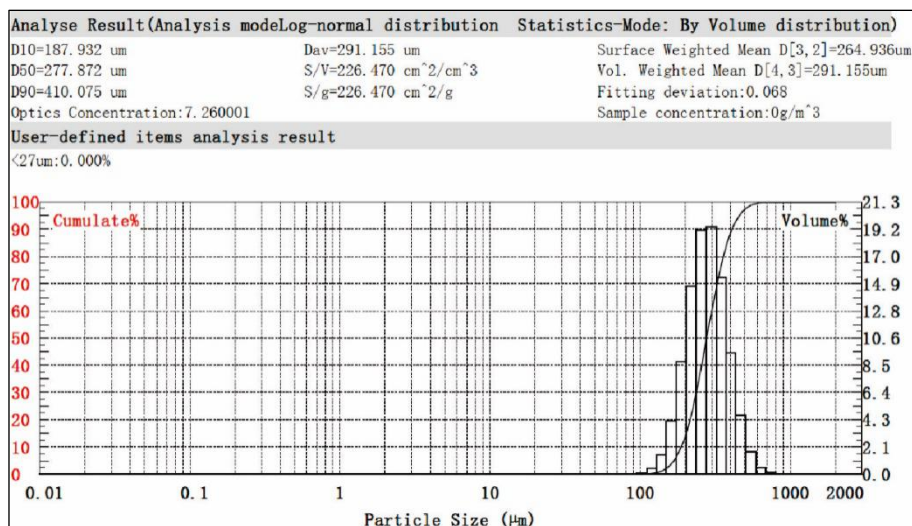


Gambar 4.31 Hasil PSA proses *milling* 6 jam antara oksida sampel pemurnian kimia dengan BaCO₃

Berdasarkan Gambar 4.31 hasil pengujian PSA didapatkan grafik berbentuk monomodal dengan variasi distribusi ukuran partikel yang sangat sempit jika dibandingkan dengan ukuran distribusi partikel sampel variasi waktu *milling* lain. Partikel yang terbaca pada proses pengujian menjadi homogen yang berkisar diantara $\pm 13\mu\text{m}$ sampai $\pm 25\mu\text{m}$. Didapat pula hasil rata-rata ukuran partikel sampel *milling* 6 jam adalah $18,826\mu\text{m}$ (D_{AV}). Jika dibandingkan antara ukuran partikel rata-rata setelah dilakukan proses *mechanical alloying* selama 3 jam didapatkan $22,022\mu\text{m}$, sedangkan pada proses *mechanical alloying* 6 jam didapatkan $18,826\mu\text{m}$. Hasil perbandingan tersebut didapatkan adanya reduksi

ukuran partikel, hasil reduksi yang didapatkan dari adanya proses *mechanical alloying* dari 3 ke 6 jam adalah sebesar $3,196\mu\text{m}$ (14,512%).

Proses *mechanical alloying* diteruskan hingga mencapai 10 jam. Hasil rata-rata distribusi ukuran partikel hasil pengujian PSA diperlihatkan pada Gambar 4.32.

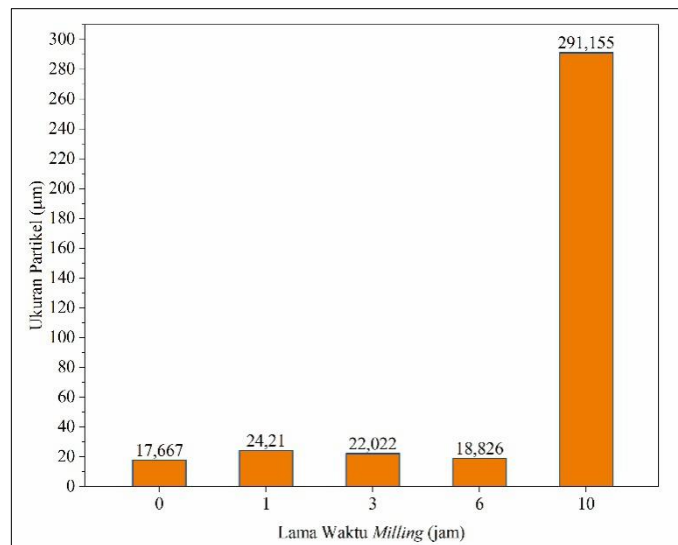


Gambar 4.32 Hasil PSA proses *milling* 10 jam antara oksida pemurnian kimia dengan BaCO_3

Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.32 rata-rata distribusi ukuran partikel sampel *milling* 10 jam antara oksida pemurnian kimia yang dicampur dengan BaCO_3 menghasilkan grafik berbentuk monomodal dengan variasi ukuran yang berkisar diantara $\pm 187\mu\text{m}$ hingga $\pm 410\mu\text{m}$. Hasil ukuran partikel rata-rata yang didapatkan sesuai dengan Gambar 4.32 pada sampel *milling* 10 jam oksida sampel pemurnian kimia yang dicampur dengan BaCO_3 adalah sebesar $291,155\mu\text{m}$ (D_{AV}).

Jika dibandingkan antara ukuran partikel rata-rata setelah dilakukan proses *mechanical alloying* selama 6 jam didapatkan $18,826\mu\text{m}$, sedangkan pada proses *mechanical alloying* 10 jam didapatkan $291,155\mu\text{m}$. Dari hasil perbandingan

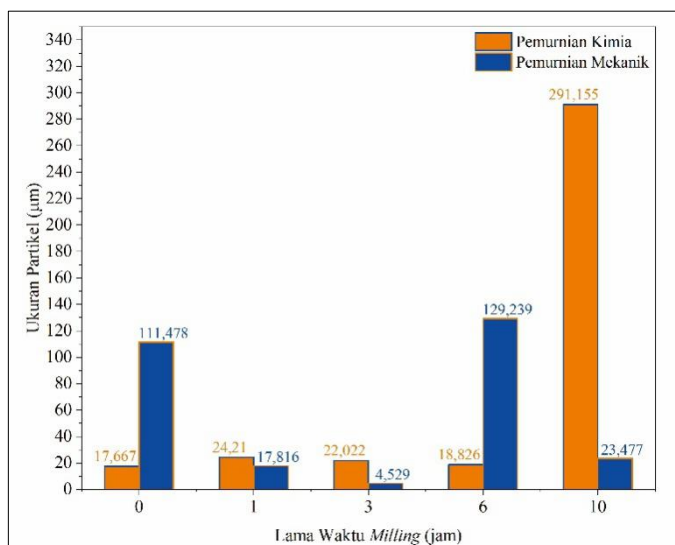
tersebut didapatkan adanya kenaikan kembali ukuran partikel, setelah sebelumnya sempat mengalami kenaikan pada proses *mechanical alloying* 1 jam. Pada kenaikan ukuran partikel ini dapat terjadi dikarenakan adanya campuran yang telah menjadi homogen.



Gambar 4.33 Grafik *mechanical alloying* oksida pemurnian kimia yang dicampur dengan BaCO_3

Hasil dari adanya proses *mechanical alloying* sampel hasil oksidasi $900\text{ }^\circ\text{C}$ pemurnian kimia yang dicampur dengan BaCO_3 didapatkan grafik dengan variasi waktu *milling*. Dari Gambar 4.33 didapatkan waktu *milling* yang optimal untuk mereduksi ukuran partikel oksida sampel pemurnian kimia yang dicampur dengan BaCO_3 adalah selama 6 jam dengan ukuran distribusi $18,826\mu\text{m}$.

Perbandingan waktu *milling* terhadap ukuran reduksi yang dihasilkan dari adanya proses *mechanical alloying* pada hasil oksidasi $900\text{ }^\circ\text{C}$ sampel pemurnian mekanik maupun kimia dengan serbuk barium karbonat diperlihatkan pada Gambar 4.34



Gambar 4.34 Grafik *mechanical alloying* oksida sampel pemurnian mekanik dan kimia yang dicampur dengan BaCO_3

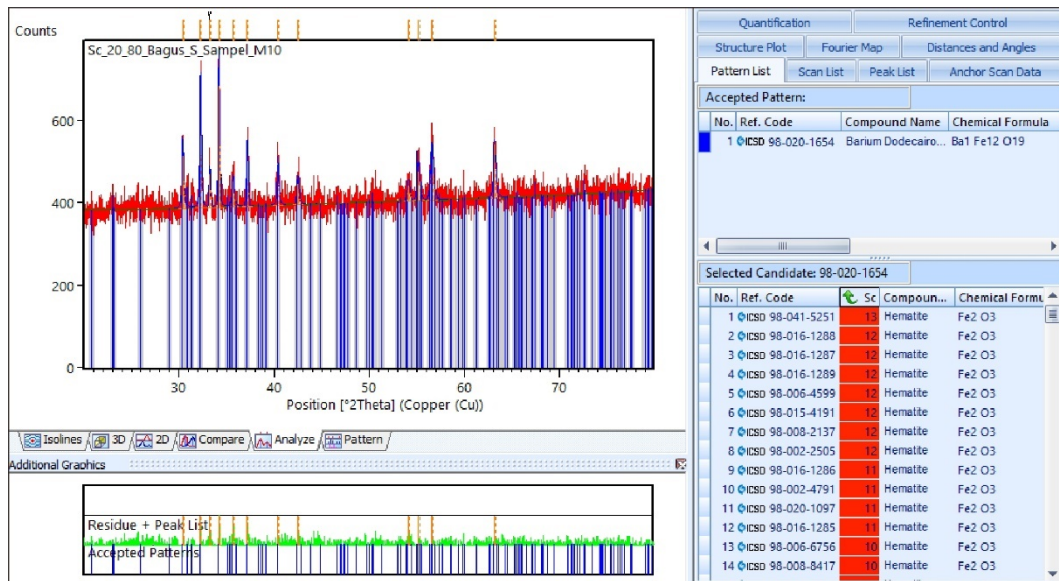
4.2.5 Karakterisasi XRD Sampel *Sintering* 1100 °C 1 Jam

Setelah dilakukan proses *mechanical alloying* antara oksida sampel pemurnian mekanik maupun kimia yang dicampur dengan BaCO_3 , sampel hasil *mechanical alloying* dengan rentan waktu 10 jam dipanaskan pada hingga 1100 °C selama 1 jam yang kemudian didinginkan hingga mencapai temperatur ruangan. Hasil dari proses *sintering* ini nantinya dikarakterisasi menggunakan XRD dan dianalisis menggunakan bantuan *software Highscore Plus* untuk mengetahui terbentuknya $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$.

4.2.5.1 Karakterisasi XRD Sampel *Sintering* 1100 °C Hasil *Mechanical Alloying*

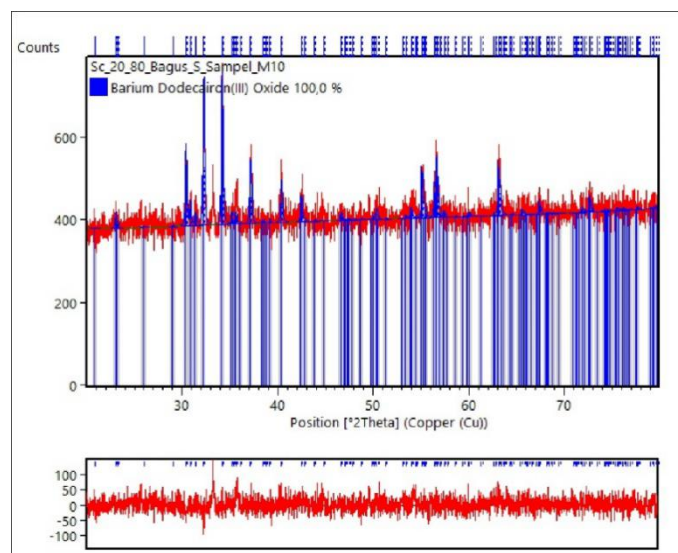
Oksida Pemurnian Mekanik Dan BaCO_3

Mengacu pada pola XRD Gambar 4.4 analisis awal menggunakan *software Highscore Plus* pada sampel hasil *sintering* mengidentifikasi keberadaan senyawa yang terdeteksi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.35.



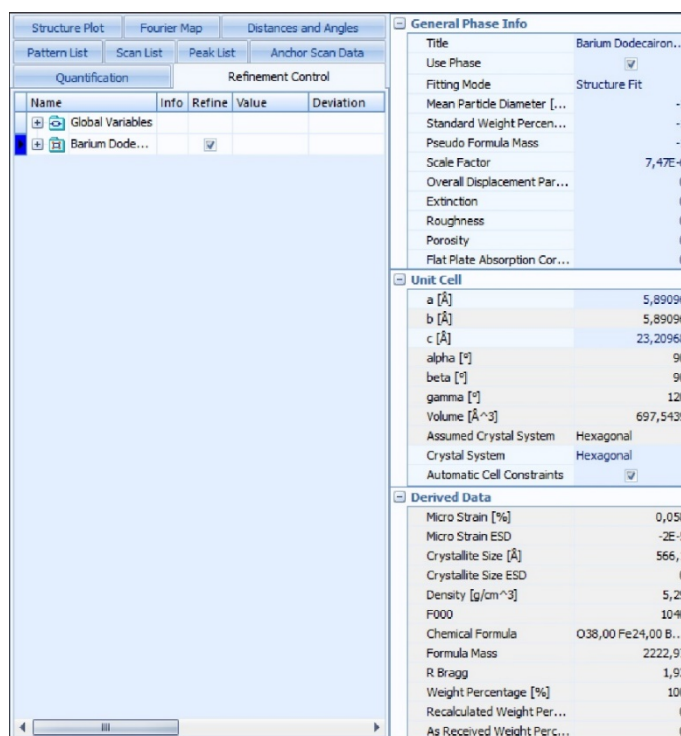
Gambar 4.35 Analisis awal sampel *sintering* 1100 °C *mechanical alloying* oksida pemurnian mekanik dan BaCO₃

Hasil analisis awal sesuai Gambar 4.35 menunjukkan senyawa yang terbentuk adalah BaFe₁₂O₁₉, namun masih terdapat residu berupa senyawa *hematite* (Fe₂O₃) yang terdeteksi. Dalam analisis secara kuantitative senyawa *Barium Dodecairon (III) Oxide* (BaFe₁₂O₁₉) ditampilkan pada Gambar 4.36



Gambar 4.36 Analisis kuantitative sampel *sintering* 1100 °C *mechanical alloying* oksida pemurnian mekanik dan BaCO₃

Hasil analisis kuantitatif sampel *sintering* pada Gambar 4.36 menunjukkan bahwa kandungan senyawa *Barium Dodecairon (III) Oxide* ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) terbentuk mencapai 100%. Pada hasil analisis sifat fisik pada *Barium Dodecairon (III) Oxide* didapatkan seperti pada Gambar 4.37.

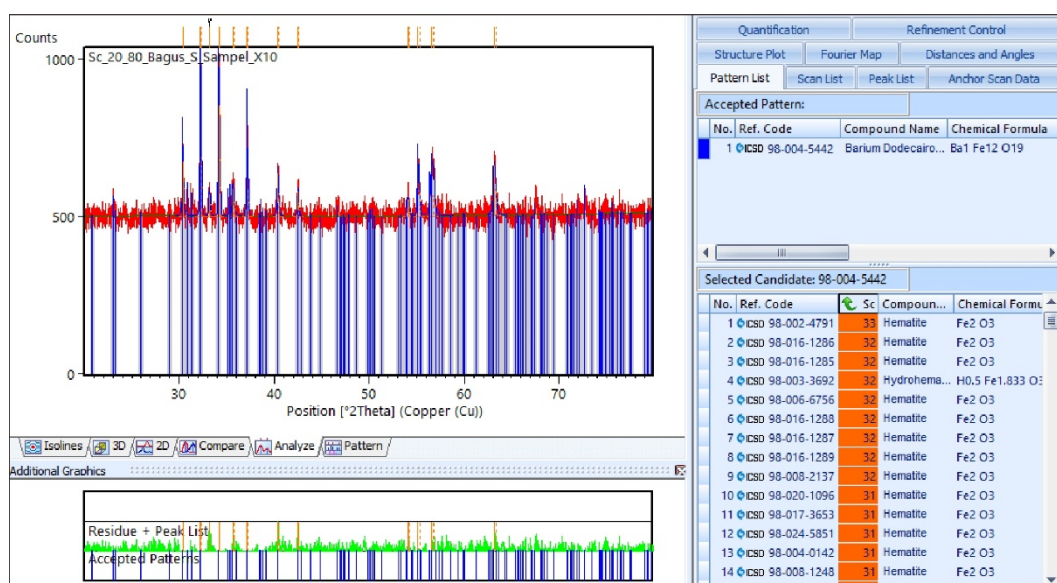


Gambar 4.37 Karakteristik sifat fisik $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sampel *sintering* 1100 °C hasil *mechanical alloying* oksida pemurnian mekanik dan BaCO_3

Pada gambar 4.37 diperlihatkan karakteristik *Barium Dodecairon (III) Oxide* yang terbentuk dari adanya proses *sintering* pada temperatur 1100 °C. Dari gambar tersebut didapatkan beberapa informasi dimana *unit cell* yang dimiliki berbentuk *hexagonal* dengan ukuran kisi $a = b = 0,589096\text{nm}$ dan $c = 2,320968\text{nm}$ dengan volume $69,75439\text{nm}^3$. Ukuran kristal yang terbentuk mencapai $56,61\text{nm}$.

4.2.5.2 Karakterisasi XRD Sampel *Sintering* 1100 °C *Mechanical Alloying* Oksida Pemurnian Kimia Dan BaCO₃

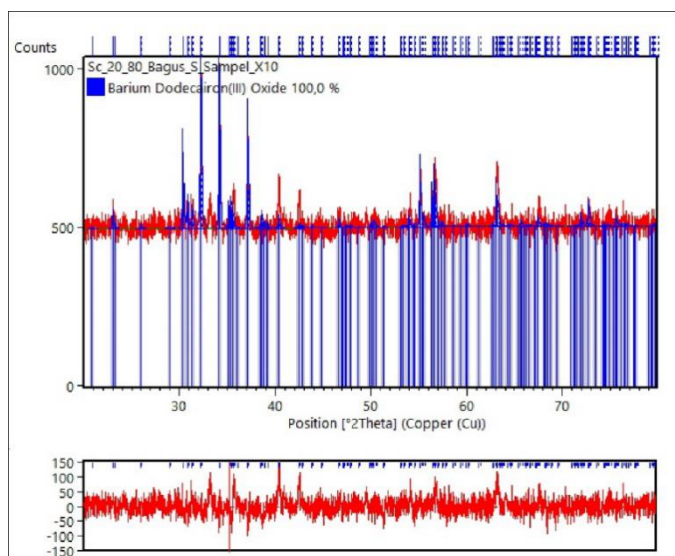
Berdasarkan pada pola XRD Gambar 4.4 analisis awal menggunakan *software Highscore Plus* pada sampel hasil *sintering* pemurnian kimia didapatkan keberadaan senyawa yang terdeteksi pada puncak-puncak, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.38.



Gambar 4.38 Analisis awal sampel *sintering* 1100 °C *mechanical alloying* oksida pemurnian kimia dan BaCO₃

Pada Gambar 4.38 memperlihatkan hasil analisis awal melalui *software* analisis XRD *Highscore Plus* sesuai dengan database ICSD nomor 98-004-5442. Dimana senyawa yang mendominasi adalah *Barium Dodecairon (III) Oxide*. Analisis kuantitative presentase senyawa *Barium Dodecairon (III) Oxide* pada hasil analisis diperlihatkan pada Gambar 4.39.

Seperti yang diperlihatkan Gambar 4.39 hasil analisis secara kuantitative melalui *software* analisis menunjukkan presentase pada *Barium Dodecairon (III) Oxide* sebesar 100%.



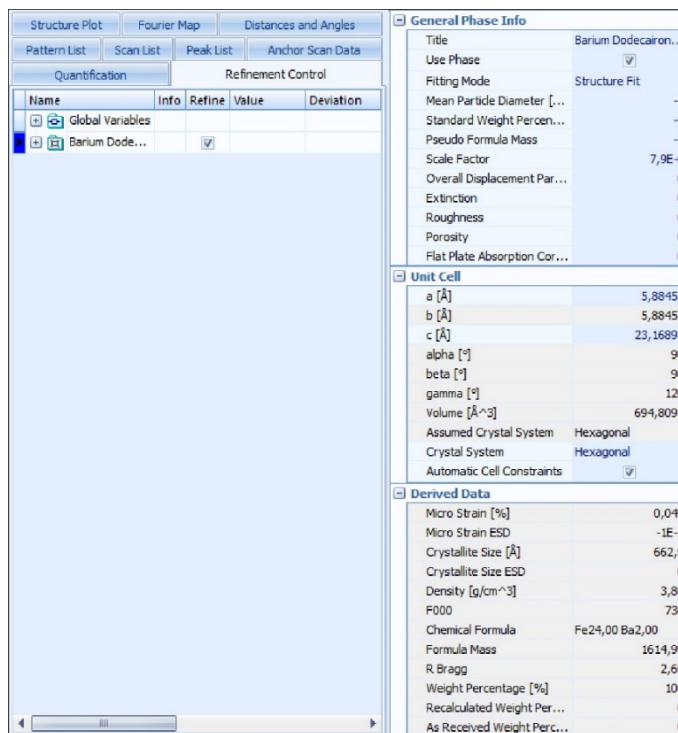
Gambar 4.39 Analisis kuantitatif sampel *sintering* 1100 °C *mechanical alloying* oksida pemurnian kimia dan BaCO₃

Karakteristik sifat fisik BaFe₁₂O₁₉ pada sampel sampel *sintering* 1100 °C hasil *mechanical alloying* oksidasi pemurnian kimia dan BaCO₃ menunjukkan unit cell yang berbentuk *hexagonal*, dengan ukuran kristal hasil analisis sebesar 66,29nm. Pada ukuran parameter kisi memperlihatkan ukuran $a = b = 0,588457\text{nm}$ dan untuk ukuran kisi $c = 2,316895$, dimana volume yang dihasilkan mencapai 69,48095nm³.

Hasil analisis sifat fisik pada Barium Dodecairon (III) Oxide sampel *sintering* 1100 °C pasca dilakukan *mechanical alloying* oksidasi pemurnian kimia dan BaCO₃ ditunjukkan pada Gambar 4.40.

Dari adanya hasil analisis pada sampel *sintering* dengan menggunakan bantuan *software* XRD, didapatkan kesimpulan bahwa proses *sintering* pada sampel hasil *mechanical alloying* oksidasi pemurnian mekanik maupun kimia dengan BaCO₃, keduanya menunjukkan hasil yang belum optimal dalam pembentukan senyawa BaFe₁₂O₁₉. Hal ini dikarenakan baik dalam sampel mekanik

maupun kimia, masing-masing masih memiliki residu yaitu berupa senyawa *hematite* (Fe_2O_3).

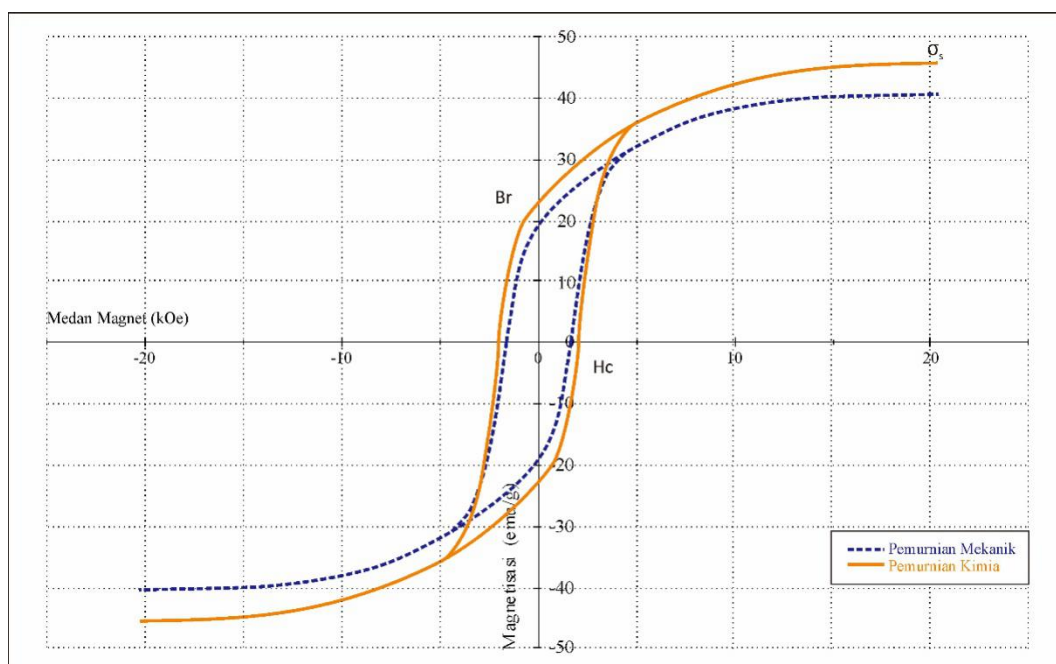


Gambar 4.40 Karakteristik sifat fisik $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sampel *sintering* 1100 °C hasil *mechanical alloying* oksida pemurnian kimia dan BaCO_3

4.2.6 Karakterisasi Sifat Magnetik

Karakterisasi XRD proses *sintering* 1100 °C selama 1 jam pada sampel *mechanical alloying* 10 jam, antara hasil oksidasi 900 °C sampel pemurnian mekanik maupun kimia yang dicampur dengan BaCO_3 menunjukkan terbentuknya senyawa $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$. Senyawa $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ yang terbentuk kemudian dikarakterisasi untuk mengetahui karakteristik sifat kemagnetannya. Dalam pengujian sifat magnet ini, digunakan alat *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM). Hasil karakterisasi awal menggunakan VSM terlampir pada Tabel 4.2 dimana tercantum nilai koersifitas (jH_c), saturasi magnetik (σ_s) dan remanen (B_r).

Data yang didapatkan pada Tabel 4.2 hasil pengujian menggunakan VSM menghasilkan perbandingan nilai yang digambarkan pada kurva histerisis, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.41



Gambar 4.41 Kurva *hysteresis* sampel *sintering* 1100 °C *mechanical alloying* oksida pemurnian mekanik dan kimia dengan BaCO₃

Pada Gambar 4.41 dapat dibandingkan antara sampel *sintering* 1100 °C selama 1 jam pada barium heksaferit hasil *mechanical alloying* 10 jam, yang diproduksi menggunakan metode pemurnian mekanik maupun kimia memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan. Mengacu pada Tabel 4.2 nilai koersifitas, remanen, dan saturasi magnetik yang dimiliki oleh sampel pemurnian kimia menunjukkan hasil yang lebih baik. Hal ini ditunjukkan pada kurva histerisis yang terbentuk pada sampel pemurnian kimia yang lebih tinggi dan sedikit lebih lebar. Perbandingan nilai remanen (B_r) yang dimiliki antara sampel pemurnian mekanik dan kimia adalah 19,14 – 22,82 (emu/g), sedangkan pada perbandingan nilai

saturasi (σ_s) sampel pemurnian mekanik dan kimia berada pada kisaran 40,70 – 46,01 (emu/g) dan nilai koersifitas (jH_c) berada pada 1,639 – 2,034 (kOe).

Jika nilai kemagnetan antara barium heksaferit yang diproduksi melalui proses pemurnian mekanik maupun kimia dibandingkan dengan standar yang dikeluarkan oleh Chen Yang Technologies, maka hasil uji menggunakan VSM menunjukkan nilai yang masih dibawah standar, dikarenakan standar minimum nilai koersifitas (jH_c) adalah berkisar 2.64 – 3.52 (kOe).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian tentang pengaruh proses pemurnian secara mekanik dan kimia pasir besi terhadap sifat fisik dan magnetik bahan dasar magnet berbasis pasir besi, didapatkan kesimpulan sebagai berikut

1. Sintesis senyawa magnetik melalui pemurnian mekanik pada pasir besi menghasilkan senyawa *magnetite low* (Fe_3O_4) sedangkan pada pemurnian kimia menghasilkan senyawa *hematite* (Fe_2O_3) namun belum berada pada tahap *single phase*.
2. Karakteristik sifat fisik dan kimia pada proses *mechanical alloying* antara oksida pemurnian secara mekanik maupun kimia dengan serbuk barium karbonat (BaCO_3) yang telah *disintering* $1100\text{ }^\circ\text{C}$ menghasilkan pembentukan senyawa $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$. Namun dalam pembentukannya belum dapat dikatakan optimal, dikarenakan masih terdapat residu berupa senyawa *hematite* (Fe_2O_3). Karakteristik sifat fisik yang dimiliki $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ pada sampel pemurnian mekanik menunjukkan ukuran kristalin yang lebih kecil daripada $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sampel pemurnian kimia, yaitu $56,61\text{nm} - 66,29\text{nm}$, walaupun keduanya berada pada temperatur *sintering* yang sama.
3. Sintesis dan karakterisasi bahan magnet permanen melalui proses *mechanical alloying* oksida pemurnian mekanik maupun kimia dengan serbuk barium karbonat (BaCO_3) yang telah *disintering* $1100\text{ }^\circ\text{C}$ menghasilkan pembentukan

senyawa $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$. Hasil pengujian menggunakan *Vibrating Sample Magnetometer* menghasilkan nilai remanen (B_r) 19,14 – 22,82 (emu/g), dan nilai koersifitas (H_c) sebesar 1,639 – 2,034 (kOe), serta nilai saturasi 40,70 – 46,01 (emu/g).

5.2 Saran

Dari proses penelitian yang dilakukan, masih terdapat kekurangan, dengan adanya saran dan masukan diharapkan dapat menambah isi dari penulisan karya ilmiah ini, diantaranya

1. Diperlukan adanya perlakuan yang sama pada bahan awal pasir besi, seperti penyeragaman ukuran butir pasir besi, yang selanjutnya dilakukan proses pemurnian dengan menggunakan masing-masing metode yang divariasikan, sehingga hasilnya akan diketahui apakah metode yang mempengaruhi dalam proses penelitian atau permasalahan yang ada dalam penelitian berasal dari bahan baku.
2. Parameter dalam penelitian perlu diperhatikan khususnya pada proses pemurnian mekanik, karena dilakukan secara manual, maka dibutuhkan pengaturan dalam proses ekstraksi. Beberapa parameter penting pada proses pemurnian mekanik antara lain, kecepatan laju penyaringan menggunakan magnet dan ketinggian yang harus sama saat pengulangan proses yang sebanyak 35 kali, dan harus diperhatikan jumlah pengurangan massa bahan awal hingga akhir proses, sehingga mendapatkan hasil yang valid.

3. Perlu adanya percobaan dalam metode pemurnian untuk mendapatkan oksida besi dengan cara yang lebih efisien, salah satunya dengan menggabungkan dua metode yang ada pada penelitian ini, tahap awal yang dilakukan dengan menyeragamkan ukuran butir yang kemudian diekstraksi menggunakan bantuan magnet hingga beberapa kali setelahnya dilarutkan menggunakan metode pemurnian kimia dengan memvariasikan temperatur, tahanan waktu, dan kecepatan pengadukan.

DAFTAR PUSTAKA

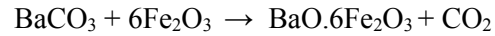
- Afdal, dan L. Niarti. 2013. Karakterisasi Sifat Magnet dan Kandungan Mineral Pasir Besi Sungai batang Kuranji Padang Sumatera Barat. *Jurnal Ilmu Fisika* 5(1): 24-30.
- Aji, M. P., A. Yulianto, dan S. Bijaksana. 2007. Sintesis Nano Partikel *Magnetite*, *Maghemite*, Dan *Hematite* Dari Bahan Lokal. *Jurnal Sains Materi Indonesia* : 106-108.
- Bilalodin, Sunardi, dan M. Effendy. 2013. Analisis Kandungan Senyawa Kimia dann Uji Sifat Magnetik Pasir Besi Pantai Ambal. *Jurnal Fisika Indonesia* 17(50): 29-31.
- Callister, W.D. dan D. G. Rethwisch. 2009. *Materials Science and Engineering An Introduction*. 8thed. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Cornell, R. M. dan U. Schwertmann. 2003. *The Iron Oxide Structure, Properties, Reaction, Occurences and Uses*. 2nd ed. German: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.
- Cullity, B. D. dan C. D. Graham. 2009. *Intrduction to Magnetic Materials*. 2nd edition. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Dunlop, D. J. dan Ö. Özdemir. 1997. *Rock Magnetism Fundamentals and Frontiers*. Cambridge University Press. United Kingdom.
- Groover, M. P. 2010. *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems*, 4th ed. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Hayati, R., A. Budiman, dan D. Puryanti. 2016. Karakterisaasi Suseptibilitas Magnet Barium Ferit yang Disintesis dari Pasir Besi dan Barium Karbonat Menggunakan Metode Metalurgi Serbuk. *Jurnal Fisika Unand* 5(2):187-192.
- Irasari, P. dan N. Idayanti. 2009. Aplikasi Magnet Permanen BaFe₁₂O₁₉ dan NdFeB Pada Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Skala Kecil. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 11(1): 38-41.
- Jayanti, N. D., A. Yulianto, dan Sulhadi. 2013. Fabrikasi Magnet Komposit Berbahan Dasar Magnet Daur Ulang Dengan Pengikat Cult. *Unnes Physics Journal* 2(1): 24-29.

- Kartika, D. L., dan S. Pratapa. 2014. Sintesis Fe_2O_3 dari Pasir besi Dengan Metode Logam Terlarut Asam Klorida. *Jurnal Sains dan Seni POMITS* 3(2): 33-35.
- Patnaik, P. 2003. *Handbook of inorganic chemicals*. United State of America: The McGraw-Hill Co.
- Qazi, S. J. S., A. R. Rennie, J. K. Cockroft, dan M. Vickers. 2009. Use of Wide Angle X-Ray Diffraction to Measure Shape and Size of Dispersed Colloidal Particles. *Journal of Colloid and Interface Science* 338: 105-110.
- Rusianto, T. 2016. Pengembangan Magnet Permanen dari partikel Nano *Magnetite* yang Disintesis dari Pasir Besi Pantai Selatan Yogyakarta. *Disertasi*. Program Studi Ilmu Teknik Mesin Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Sadullahoglu, B. Ertug, H. Gocke, B. Altuncevahir, M. Ozturk, R. Topkaya, N. Akdogan, M. L. Ovecoglu, dan O. Addemir. 2015. The Effect of Milling Time and Sintering Temperature on Crystallization of $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ Phase and Magnetic Properties of Ba-Hexaferrite Magnet. *Acta Physica Polonica A* 128(3):377-382.
- Sudirman, Ridwan, Mujamilah, S. Budiman, dan F. E. Putri. 2002. Studi Elastoferit Berbasis Etil Vinil Asetat (EVA) dan Elastomer Termoplastik (ETP) dan Pengujian Sifat Mekanik, Struktur Mikro dan Magnetiknya. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 392): 34-38.
- Sugiyono. 2016. *Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D)*. Bandung: Alfabeta.
- Taufiq, A., Triwikantoro, S. Pratapa, dan Darminto. 2008. Sintesis Partikel Nano $\text{Fe}_3 \text{xMnxO}_4$ Berbasis Pasir besi dan Karakterisasi Struktur serta Kemagnetannya. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi* 1(2): 67-73.
- Upadhyaya, G. S. 2002. *Powder Metallurgy Technology*. England: Cambridge International Science Publishing.
- Vogel, A. I., G. H. Jeffery., J. Assett., J. Mendham, dan R. C. Denney. 1989. *Textbook Of Quantitative Chemical Analysis*. New York: John Wiley & Son.
- Yulianto, A., S. Bijaksana, W. Loeksmanto, dan D. Kurnia. 2003. Produksi Hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dari Pasir Besi : Pemanfaatan Potensi Alam Sebagai Bahan Industri Berbasis Sifat Kemagnetan. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 5(1): 51-54

LAMPIRAN

Lampiran 1. Reaksi kimia pembentukan barium heksaferit

Persamaan kimia:



Unsur	Ar
Ba	137.327
C	12.0107
Fe	55.845
O	15.9994

Perhitungan massa senyawa

$$\begin{array}{l} \text{BaCO}_3 \rightarrow \\ \text{Ba} = 137.327 \times 1 = 137.327 \\ \text{C} = 12.0107 \times 1 = 12.0107 \\ \text{O}_3 = 15.9994 \times 3 = 47.9982 + \\ \hline \text{Massa BaCO}_3 = 197.3359 \text{ gram} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 6.\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \\ \text{Fe}_2 = 55.845 \times 2 = 111.69 \\ \text{O}_3 = 15.9994 \times 3 = 47.9982 + \\ \hline \text{Massa Fe}_2\text{O}_3 = 159.6882 \text{ gram} \\ \text{Massa } 6.\text{Fe}_2\text{O}_3 = 6 \times 159.6882 = 958.1292 \text{ gram} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \\ \text{Ba} = 137.327 \\ \text{O} = 15.9994 \\ \text{6Fe}_2\text{O}_3 = 958.1292 + \\ \hline \text{Massa BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3 = 1111.4556 \text{ gram} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{CO}_2 \rightarrow \\ \text{C} = 12.0107 \times 1 = 12.0107 \\ \text{O}_2 = 15.9994 \times 2 = 31.9988 + \\ \hline \text{Massa CO}_2 = 44.0095 \text{ gram} \end{array}$$

Kebutuhan sampel pengujian dimisalkan 1 spesimen = 10 gram

$$\begin{aligned} \text{Berat (Ba)} &= \frac{\text{Ar. Unsur}}{\text{Mr. Senyawa}} \times 10 \text{ gram} & \% (\text{Ba}) &= \frac{\text{Ar. Unsur}}{\text{Mr. Senyawa}} \times 100\% \\ &= \frac{137.327}{1111.4556} \times 10 \text{ gram} & &= \frac{137.327}{1111.4556} \times 100\% \\ &= 1.2355599 \text{ gram} & &= 12.355599 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat (Fe)} &= \frac{12.55.845}{1111.4556} \times 10 \text{ gram} & \% (\text{Fe}) &= \frac{12.55.845}{1111.4556} \times 100\% \\ &= 6.0293906 \text{ gram} & &= 60.293906 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat (O)} &= \frac{19.15.9994}{1111.4556} \times 10 \text{ gram} & \% (\text{O}) &= \frac{19.15.9994}{1111.4556} \times 100\% \\ &= 2.7350494 \text{ gram} & &= 27.350494 \end{aligned}$$

Presentase unsur penyusun BaCO_3

$$\begin{aligned} \text{Ba} (\%) &= \frac{\text{Ar. Unsur}}{\text{Mr. Senyawa}} \\ &= \frac{137.327}{197.3359} \\ &= 0.6959048 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{C} (\%) &= \frac{12.0107}{197.3359} \\ &= 0.0608642 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{O}_3 (\%) &= \frac{3.15.9994}{197.3359} \\ &= 0.243231 \end{aligned}$$

Presentase unsur penyusun Fe_2O_3

$$\begin{aligned} \text{Fe}_2 (\%) &= \frac{\text{Ar. Unsur}}{\text{Mr. Senyawa}} \\ &= \frac{2.55.845}{159.6882} \\ &= 0.6994255 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{O}_3 (\%) &= \frac{3.15.9994}{159.6882} \\ &= 0.3005745 \end{aligned}$$

Berat BaCO_3 dalam $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{berat Ba}}{\text{Ba} (\%)} \\ &= \frac{1.2355599}{0.6959048} \\ &= 1.7754726 \text{ gram} \end{aligned}$$

Berat Fe_2O_3 dalam $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$

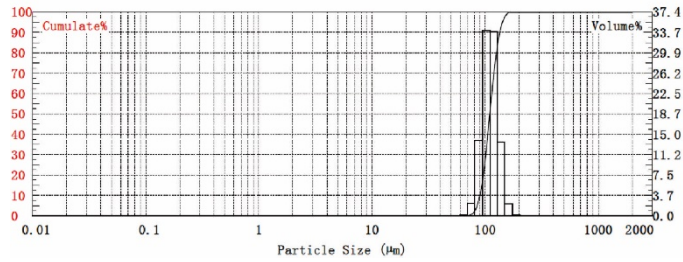
$$\begin{aligned} &= \frac{\text{berat Fe}}{\text{Fe} (\%)} \\ &= \frac{6.0293906}{0.6994255} \\ &= 8.6204901 \text{ gram} \end{aligned}$$

Berat CO_2 dalam BaCO_3

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Ar. CO}_2}{\text{Mr. BaCO}_3} \times \text{Berat BaCO}_3 \\ &= \frac{44.0095}{197.3359} \times 1.7754726 \\ &= 0.3959627 \text{ gram} \end{aligned}$$

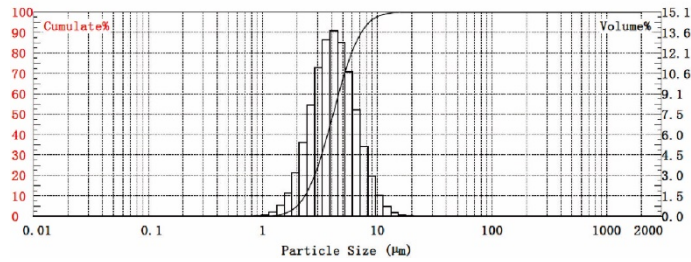
Lampiran 2. Pengujian PSA pemurnian mekanik

Analyse Result (Analysis model: Log-normal distribution Statistics-Mode: By Volume distribution)
 D10=69.903 um Dav=111.478 um Surface Weighted Mean D[3,2]=108.653um
 D50=110.153 um S/V=552.216 cm²/cm³ Vol. Weighted Mean D[4,3]=111.478um
 D90=134.543 um S/g=552.216 cm²/g Fitting deviation:0.082
 Optics Concentration:1.284 Sample concentration:0g/m³
 User-defined items analysis result
 <27um:0.000%



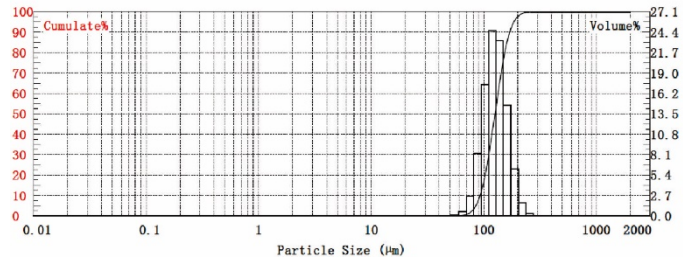
Sampel *milling* 0 jam

Analyse Result (Analysis model: Log-normal distribution Statistics-Mode: By Volume distribution)
 D10=2.332 um Dav=4.529 um Surface Weighted Mean D[3,2]=3.721um
 D50=4.107 um S/V=16125.220 cm²/cm³ Vol. Weighted Mean D[4,3]=4.529um
 D90=7.228 um S/g=16125.220 cm²/g Fitting deviation:0.240
 Optics Concentration:2.296 Sample concentration:0g/m³
 User-defined items analysis result
 <27um:99.999%



Sampel *milling* 3 jam

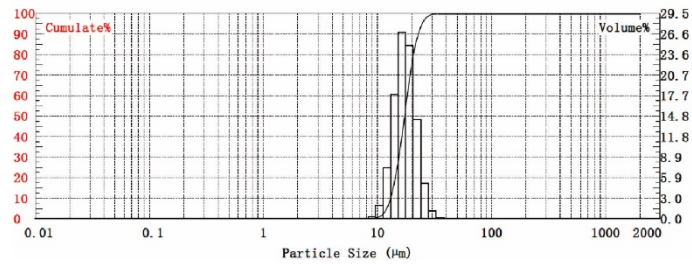
Analyse Result (Analysis model: Log-normal distribution Statistics-Mode: By Volume distribution)
 D10=92.520 um Dav=129.239 um Surface Weighted Mean D[3,2]=121.943um
 D50=125.585 um S/V=492.031 cm²/cm³ Vol. Weighted Mean D[4,3]=129.239um
 D90=170.413 um S/g=492.031 cm²/g Fitting deviation:0.360
 Optics Concentration:19.152 Sample concentration:0g/m³
 User-defined items analysis result
 <27um:0.000%



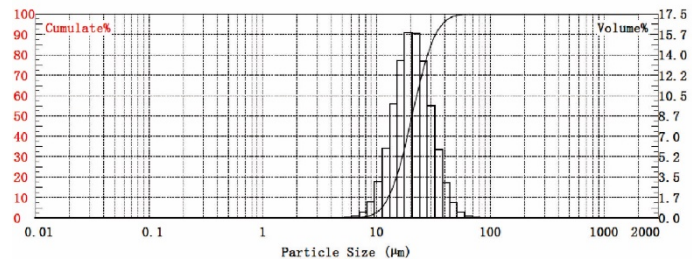
Sampel *milling* 6 jam

Lampiran 3. Pengujian PSA pemurnian kimia

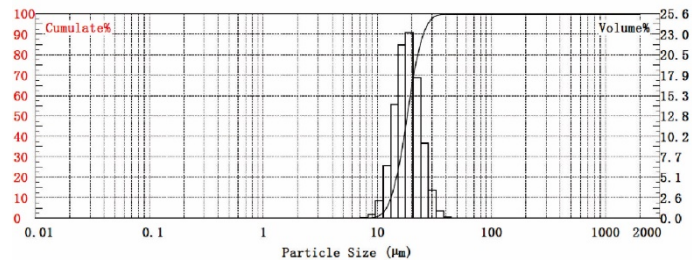
Analyse Result (Analysis model: Log-normal distribution Statistics-Mode: By Volume distribution)
 D10=13.057 μm Dav=17.667 μm Surface Weighted Mean D[3,2]=16.830 μm
 D50=17.255 μm S/V=3565.015 cm^2/cm^3 Vol. Weighted Mean D[4,3]=17.667 μm
 D90=22.763 μm S/g=3565.015 cm^2/g Fitting deviation: 0.068
 Optics Concentration: 5.424 Sample concentration: 0 g/m^3
 User-defined items analysis result
 <27 μm : 97.548%

Sampel *milling* 0 jam

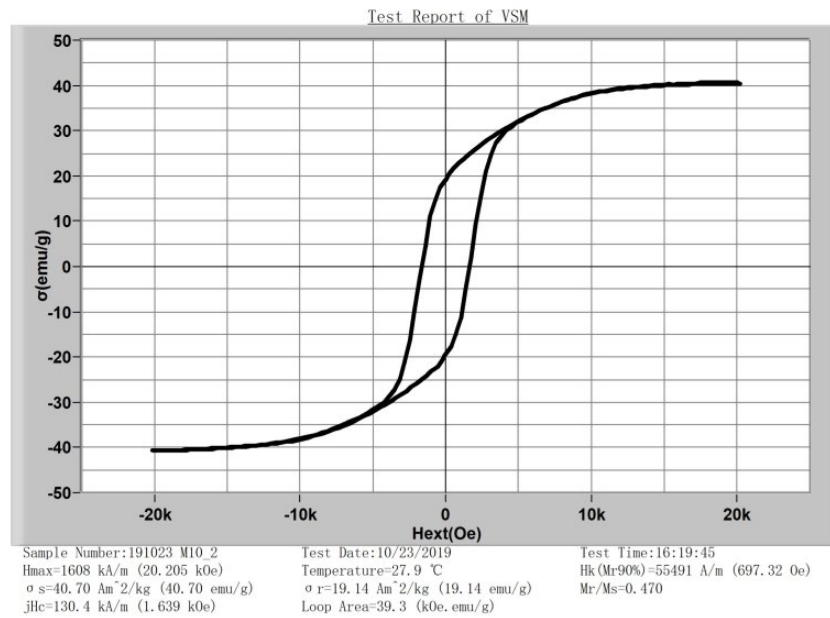
Analyse Result (Analysis model: Log-normal distribution Statistics-Mode: By Volume distribution)
 D10=12.708 μm Dav=22.022 μm Surface Weighted Mean D[3,2]=19.119 μm
 D50=20.528 μm S/V=3138.175 cm^2/cm^3 Vol. Weighted Mean D[4,3]=22.022 μm
 D90=33.125 μm S/g=3138.175 cm^2/g Fitting deviation: 0.072
 Optics Concentration: 24.81667 Sample concentration: 0 g/m^3
 User-defined items analysis result
 <27 μm : 76.415%

Sampel *milling* 3 jam

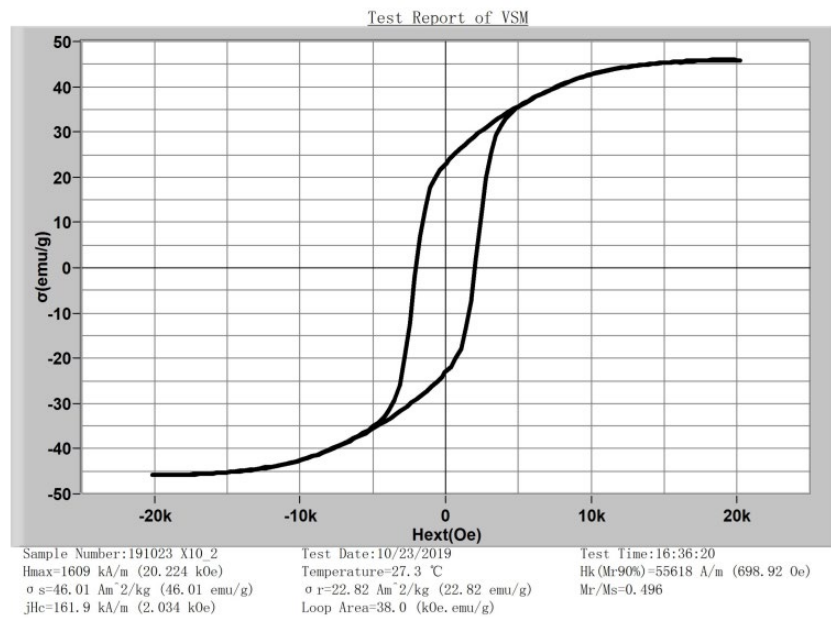
Analyse Result (Analysis model: Log-normal distribution Statistics-Mode: By Volume distribution)
 D10=13.133 μm Dav=18.826 μm Surface Weighted Mean D[3,2]=17.615 μm
 D50=18.226 μm S/V=3406.138 cm^2/cm^3 Vol. Weighted Mean D[4,3]=18.826 μm
 D90=25.243 μm S/g=3406.138 cm^2/g Fitting deviation: 0.064
 Optics Concentration: 38.34 Sample concentration: 0 g/m^3
 User-defined items analysis result
 <27 μm : 93.206%

Sampel *milling* 6 jam

Lampiran 4. Pengujian VSM barium heksaferit proses pemurnian mekanik



Lampiran 5. Pengujian VSM barium heksaferit proses pemurnian kimia



Lampiran 6. Standar magnet permanen

ChenYang Hard Ferrite (Ceramic) Magnets**Copyright© 2006, ChenYang Technologies GmbH & Co. KG****Material Information**

- Produced by powder metallurgical method with chemical composition of $Ba/SrO.6Fe_2O_3$
- Relatively brittle & hard
- Good resistance to demagnetization
- Excellent corrosion resistance
- Raw material is readily available and low in cost
- Good temperature stability
- high coercive force and high electric resistance
- Most widely used permanent magnets.

Typical Physical Properties

Curie Temperature (°C)	450
Maximum Operating Temperature (°C)	250
Hardness (Hv)	480 – 580
Density (g/cm ³)	4,8 - 4,9
Relative Recoil Permeability (μrec)	1,20
Saturation Field Strength, kOe (kA/m)	10 (800)
Temperature Coefficient of Br (%/°C)	-0,2
Temperature Coefficient of iHc (%/°C)	0,3
Tensile Strength (N/mm)	<100
Transerve Rupture Strength (N/mm)	300

Lampiran 7. Surat tugas panitia ujian



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
FAKULTAS TEKNIK

Gedung E9 Lt 2, Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229

Telepon: 024 8508101

Laman: mesin.unnes.ac.id, surel: teknik.mesin@mail.unnes.ac.id

No. : 1977/UN37.1.5/KM/2020
Lamp. :
Hal : Surat Tugas Panitia Ujian Sarjana

Dengan ini kami tetapkan bahwa ujian Sarjana Fakultas Teknik UNNES untuk jurusan Teknik Mesin adalah sebagai berikut:

I. Susunan Panitia Ujian:

a. Ketua : RUSIYANTO, S. Pd., M. T.
b. Sekretaris : Wahyudi, S. Pd., M. Eng.
c. Pembimbing Utama : Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, S. T., M. T.
d. Penguji : 1. RUSIYANTO, S. Pd., M. T.
: 2. Samsudin Anis, S. T., M. T., Ph. D.

II. Calon yang diuji:

Nama : Bagus Setiawan
NIM/Jurusan/Program Studi : 5212413021/Teknik Mesin
/Teknik Mesin, S1
Judul Skripsi : PENGARUH PROSES MEKANIK DAN KIMIA PEMURNIAN PASIR BESI TERHADAP SIFAT FISIK DAN MAGNETIK BAHAN DASAR MAGNET PERMANEN BARIUM FERIT

II. Waktu dan Tempat Ujian:

Hari/Tanggal : Selasa / 25 Februari 2020
Jam : 10:30:00
Tempat : E9 Lt.2 Ruang Ujian
Pakaian :

Tembusan
1. Ketua Jurusan TEKNIK MESIN
2. Calon yang diuji



5212413021

Lampiran 8. Laporan selesai bimbingan



Formulir Laporan Selesai Bimbingan Skripsi/Tugas Akhir
FM-06-AKD-24/rev.02
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Yth. Ketua Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Negeri Semarang

Yang bertanda tangan di bawah

Nama : Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, S. T., M. T.
NIP : 197509272006041002
Pangkat/Golongan : Pembina - IV/a
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Sebagai Pembimbing

Melaporkan bahwa penyusunan Skripsi/Tugas Akhir oleh mahasiswa:

Nama : Bagus Setiawan
NIM : 5212413021
Program Studi : Teknik Mesin, S1
Topik : PENGEMBANGAN MATERIAL MAGNET BERBAHAN DASAR BAHAN ALAM
PASIR BESI

telah selesai dan siap untuk diujikan.

Semarang, 7 Februari 2020
Dosen Pembimbing,

Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, S. T., M. T.
NIP. 197509272006041002



5212413021

Lampiran 9. Surat tugas dosen penguji dan pembimbing



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
 UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
FAKULTAS TEKNIK
 Gedung Dekanat Kampus Sekaran Gunungpati Semarang 50229
 Telepon/Fax (024) 8508101 - 8508009
 Laman : <http://www.ft.unnes.ac.id>, email: ft@mail.unnes.ac.id

SURAT TUGAS

Nomor : 4040/UN37.1.5/TU/2019

Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang memberi tugas kepada Saudara yang namanya tersebut di bawah ini sebagai Penguji Seminar Proposal Skripsi Mahasiswa Prodi S1 Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Adapun nama-namanya sebagai berikut:

No	Nama / NIP	Pangkat / Golru	Tugas
1	Rusiyanto, S.Pd., M.T. 197403211999031002	Penata Tk. I, III/d	Penguji 1
2	Samsudin Anis, S.T., M.T., P.hD. 197601012003121002	Penata Tk. I, III/d	Penguji 2
3	Dr. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T. 197509272006041002	Penata Tk. I, III/d	Pembimbing

untuk menguji mahasiswa :

Nama : Bagus Setiawan
 NIM : 5212413021
 Prodi : S1 Teknik Mesin
 Topik : PENGARUH PROSES MEKANIK DAN KIMIA PEMURNIAN PASIR BESI TERHADAP SIFAT FISIK DAN MAGNETIK BAHAN DASAR MAGNET PERMANEN BERBASIS PASIR BESI

Waktu : Selasa, 16 April 2019
 Jam : 11.00 WIB - Selesai
 Tempat : Gedung E9, Ruang Seminar, Lantai 2
 Pakaian : Hitam Putih Jas Almamater

Demikian agar tugas dilaksanakan dengan sebaik-baiknya.



Semarang, 15 April 2019

Dekan

Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.
 P. 196911301994031001

Tembusan :

1. Wakil Dekan Bidang II;
2. Ketua Jurusan TM;
3. Kasubbag Keuangan,
Fakultas Teknik UNNES

Lampiran 10. Surat penetapan dosen pembimbing



**KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
Nomor: 1122 / FT - UNNES / 2017**

**Tentang
PENETAPAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI/TUGAS AKHIR SEMESTER
GASAL/GENAP
TAHUN AKADEMIK 2017/2018**

- Menimbang** : Bahwa untuk memperlancar mahasiswa Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Teknik Mesin Fakultas Teknik membuat Skripsi/Tugas Akhir, maka perlu menetapkan Dosen-dosen Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Teknik Mesin Fakultas Teknik UNNES untuk menjadi pembimbing.
- Mengingat** : 1. Undang-undang No.20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional (Tambahkan Lembaran Negara RI No.4301, penjelasan atas Lembaran Negara RI Tahun 2003, Nomor 78)
2. Peraturan Rektor No. 21 Tahun 2011 tentang Sistem Informasi Skripsi UNNES
3. SK. Rektor UNNES No. 164/O/2004 tentang Pedoman penyusunan Skripsi/Tugas Akhir Mahasiswa Strata Satu (S1) UNNES;
4. SK Rektor UNNES No.162/O/2004 tentang penyelenggaraan Pendidikan UNNES;
- Menimbang** : Usulan Ketua Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Teknik Mesin Tanggal 2 Oktober 2017

MEMUTUSKAN

Menetapkan :
PERTAMA :

Menunjuk dan menugaskan kepada:

Nama : Dr. Rahmat Doni Widodo, ST, MT.

NIP : 197509272006041002

Pangkat/Golongan : III/d

Jabatan Akademik : Lektor

Sebagai Pembimbing

Untuk membimbing mahasiswa penyusun skripsi/Tugas Akhir :

Nama : Bagus Setiawan

NIM : 5212413021

Jurusan/Prodi : Teknik Mesin/Teknik Mesin

Topik : PENGEMBANGAN MATERIAL MAGNET BERBAHAN
DASAR BAHAN ALAM PASIR BESI

KEDUA : Keputusan ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan.

Tembusan
1. Pembantu Dekan Bidang Akademik
2. Ketua Jurusan
3. Petinggal



DITETAPKAN DI : SEMARANG
TANGGAL : 18 Oktober 2017

DEKAN

Dr. Nur Qudus, M.T.

NIP. 196911301994031001



5212413021

....: FM-03-AKD-24/Rev. 00 :..