



**PENGARUH GAYA TEKAN DAN TEMPERATUR  
*SINTERING* TERHADAP SIFAT FISIK DAN  
KEKERASAN BAHAN DASAR MAGNET BARIUM  
FERIT BERBASIS PASIR BESI**

**Skripsi**

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

**Oleh**

**Rifki Imanudin Ilham**

**NIM.5212413060**

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



**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

**PENGARUH GAYA TEKAN DAN TEMPERATUR  
*SINTERING* TERHADAP SIFAT FISIK DAN  
KEKERASAN BAHAN DASAR MAGNET BARIUM  
FERIT BERBASIS PASIR BESI**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Rifki Imanudin Ilham  
NIM : 5212413060  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : Pengaruh Gaya Tekan dan Temperatur *Sintering* Terhadap Sifat Fisik dan Kekerasan Bahan Dasar Magnet Barium Ferit Berbasis Pasir Besi.

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

Semarang, 11 Mei 2020  
Pembimbing



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

## PENGESAHAN

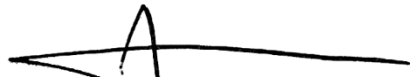
Skripsi dengan judul Pengaruh Gaya Tekan dan Temperatur *Sintering* Terhadap Sifat Fisik dan Kekerasan Bahan Dasar Magnet Barium Ferit Berbasis Pasir Besi telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 9 Juni 2020

Oleh

Nama : Rifki Imanudin Ilham  
NIM : 5212413060  
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, 18 Mei 2020  
Yang membuat pernyataan,



Rifki Imanudin Ilham  
NIM. 5212413060

## **MOTTO**

“Menuntut ilmu adalah taqwa. Menyampaikan ilmu adalah ibadah. Mengulang-ulang ilmu adalah zikir. Mencari ilmu adalah jihad.” (Abu Hamid Al Ghazali)

“Janganlah berputus asa. Tetapi jika anda sampai berputus asa, berjuanglah terus meskipun dalam keadaan putus asa.” (Aristoteles)

Untuk Bapak, Ibu, dan keluarga besar tercinta

## RINGKASAN

**Rifki Imanudin Ilham. 2020.** Pengaruh Gaya Tekan dan Temperatur *Sintering* Terhadap Sifat Fisik dan Kekerasan Bahan Dasar Magnet Barium Ferit Berbasis Pasir Besi. Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T. Teknik Mesin.

Salah satu bahan alami besi oksida di Indonesia yang sering di jumpai adalah pasir besi. Pasir besi di Indonesia banyak ditemukan di pesisir pantai khususnya pantai selatan Jawa. Pasir besi dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam proses pembuatan bahan magnet berjenis ferit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh gaya tekan dan temperatur *sintering* terhadap sifat fisik dan kekerasan bahan dasar magnet barium ferit berbasis pasir besi.

Metode yang digunakan adalah metode eksperimen, dimana pasir besi dari pantai Ketawang Indah Purworejo disaring secara mekanik sebanyak 35 kali dengan bantuan magnet permanen kemudian dioksidasi pada temperatur 900 °C selama 5 jam. Pasir besi hasil oksidasi dicampur barium karbonat (BaCO<sub>3</sub>) menggunakan alat *Shaker Mill* selama 3 jam. Serbuk hasil *milling* dikompaksi dengan gaya tekan sebesar 2,5; 5; dan 7,5 ton. Barium Ferit yang telah dikompaksi kemudian *disintering* pada temperatur 1100, 1150, dan 1200 °C selama 1 jam. Selanjutnya barium ferit diuji sifat fisik dan kekerasannya.

Hasil penelitian yang didapatkan menunjukkan bahwa gaya tekan dan temperatur *sintering* mempengaruhi sifat fisik dan kekerasan barium ferit berbasis pasir besi. Seiring kenaikan gaya tekan dan temperatur *sintering* maka sifat fisik dan kekerasan akan meningkat pula. Sifat fisik dan kekerasan tertinggi terdapat pada barium ferit dengan gaya tekan 7,5 ton dan temperatur *sintering* 1200 °C dengan nilai penyusutan diameter ( $\Delta d$ ) 7,44%, penyusutan tinggi ( $\Delta h$ ) 3,49%, densitas 4,397 g/cm<sup>3</sup>, dan kekerasan sebesar 740,7 HV.

Kata kunci: barium ferit, gaya tekan, *sintering*, sifat fisik, kekerasan.



## PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Pengaruh Gaya Tekan dan Temperatur *Sintering* Terhadap Sifat Fisik dan Kekerasan Bahan Dasar Magnet Barium Ferit Berbasis Pasir Besi”.

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., selaku 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, serta memberi bantuan dan masukkan dalam proses bimbingan penyusunan skripsi.
6. Rusiyanto, S.Pd., M.T., 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., 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 besar yang telah banyak memberikan motivasi dalam menyelesaikan penulisan karya ilmiah ini.
10. Sahabat dan teman satu bimbingan Bagus, Arif, Imam, dan Panca yang telah banyak membantu selama menyelesaikan karya ilmiah ini.
11. Rekan mahasiswa Teknik Mesin Angkatan tahun 2013 dengan kebersamaan dan solidaritasnya.
12. 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, 18 Mei 2020



Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL .....	i
LEMBAR BERLOGO .....	ii
HALAMAN JUDUL.....	iii
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	iv
PENGESAHAN .....	v
PERNYATAAN KEASLIAN.....	vi
RINGKASAN .....	viii
PRAKATA .....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG .....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	4
1.3 Pembatasan Masalah .....	4
1.4 Rumusan Masalah .....	5
1.5 Tujuan Penelitian.....	6
1.6 Manfaat Penelitian.....	6
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI</b>	
2.1 Kajian Pustaka.....	7
2.2 Landasan Teori .....	11
2.2.1 Pasir Besi.....	11

2.2.2	Sifat Magnet .....	14
2.2.3	<i>Soft</i> Magnet (Magnet Lunak) .....	17
2.2.4	<i>Hard</i> magnet (Magnet Keras) .....	18
2.2.5	Barium Heksaferit .....	19
2.2.6	Mechanical Alloying .....	21
2.2.7	Tekanan Kompaksi .....	24
2.2.8	<i>Sintering</i> .....	27
2.2.9	Penyusutan ( <i>Shrinkage</i> ) .....	30
2.2.10	Densitas .....	31
2.2.11	Kekerasan .....	32

### BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat pelaksanaan .....	37
3.2	Desain Penelitian .....	37
3.2.1	Diagram Alir penelitian .....	37
3.2.2	Prosedur Penelitian .....	39
3.3	Alat dan Bahan penelitian .....	43
3.3.1	Alat penelitian .....	43
3.3.2	Bahan Penelitian .....	47
3.4	Parameter Penelitian .....	48
3.5	Teknik Pengumpulan Data .....	49
3.6	Kalibrasi Instrumen .....	51
3.6.1	Timbangan digital .....	51
3.6.2	Vernier Caliper .....	52
3.6.3	Mesin Uji Kekerasan .....	52
3.7	Teknik Analisis Data .....	52

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Deskripsi Data .....	54
4.2	Analisis Data dan Pembahasan .....	59
4.2.1	Pengujian Penyusutan ( <i>shrinkage</i> ) .....	59
4.2.2	Pengujian Densitas .....	65
4.2.3	Pengujian kekerasan .....	68
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan.....	72
5.2	Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA .....		74
LAMPIRAN.....		77

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Pengujian Densitas Barium Heksaferit <i>Doping</i> Ion.....	9
Gambar 2.2 Pengujian Densitas BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> /SiO <sub>2</sub> .....	9
Gambar 2.3 Grafik Pengujian Kekerasan BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> /SiO <sub>2</sub> .....	10
Gambar 2.4 Difraktogram Sinar-X untuk Magnet Hasil Sintesis .....	13
Gambar 2.5 Sketsa Potongan ¼ Satuan Sel Magnetit.....	14
Gambar 2.6 Struktur Magnet Hematit ( $\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ).....	14
Gambar 2.7 Kurva histerisis bahan feromagnetik.....	16
Gambar 2.8 Loop Histerisis Magnet Lunak.....	17
Gambar 2.9 Loop Histerisis Magnet Keras.....	18
Gambar 2.10 Struktur Kristal Barium Heksaferit .....	20
Gambar 2.11 Proses Kompaksi.....	25
Gambar 2.12 Penekanan Aksi Tunggal dan Ganda .....	26
Gambar 2.13 Proses <i>Sintering</i> pada Dua Butir Partikel.....	28
Gambar 2.14 Indentasi Kekerasan <i>Vickers</i> .....	33
Gambar 2.15 Bentuk Indentor Pengujian <i>Vickers</i> .....	33
Gambar 2.16 Tipe Indentasi Piramida Intan .....	35
Gambar 3.1 Diagram alir proses penelitian.....	38
Gambar 3.2 Desain Spesimen .....	40
Gambar 3.3 Timbangan Digital <i>High Precision</i> .....	43
Gambar 3. 4 <i>Furnace</i> (Oven).....	44
Gambar 3.5 Magnet Permanen.....	44
Gambar 3.6 <i>Hydraulic Press Machine</i> .....	45
Gambar 3.7 <i>Dies</i> (Cetakan).....	45
Gambar 3.8 <i>Shaker Ball Milling</i> .....	46
Gambar 3.9 Bola Baja.....	46
Gambar 3.10 <i>Vernier Caliper</i> .....	47
Gambar 3.11 Alat Uji <i>Microhardness Vickers</i> .....	47
Gambar 3.12 Pasir Besi Pantai Purworejo .....	48

Gambar 3.13 Serbuk Barium Karbonat.....	48
Gambar 4.1 Diagram Hasil Pengujian Penyusutan Diameter BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> .....	60
Gambar 4.2 Diagram Hasil Pengujian Penyusutan Tinggi BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> .....	63
Gambar 4.3 Diagram Hasil Pengujian Densitas BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> .....	66
Gambar 4.4 Diagram Hasil Pengujian Kekerasan BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> .....	69

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik unsur besi .....	12
Tabel 2.2 Kandungan Mineral Pasir Besi Sukabumi Selatan .....	12
Tabel 2.3 Sifat Kemagnetan Bahan.....	17
Tabel 2.4 Sifat fisik barium heksaferit ( $BaO \cdot 6Fe_2O_3$ ) .....	21
Tabel 2.5 Tekanan Kompaksi untuk Macam-macam Serbuk .....	27
Tabel 2.6 Mekanisme dan Pergerakan <i>Sintering</i> (Difusi pada <i>Neck</i> ) .....	28
Tabel 3.1 Jumlah Spesimen Uji .....	43
Tabel 3.2 Nilai Penyusutan Diameter Spesimen.....	50
Tabel 3.3 Nilai Penyusutan Tinggi Spesimen .....	50
Tabel 3.4 Instrumen Data Pengujian Densitas .....	50
Tabel 3.5 Instrumen Data Pengujian Kekerasan .....	51
Tabel 4.1 Data Pengujian Penyusutan Diameter Pada Gaya Tekan 2,5 ton .....	55
Tabel 4.2 Data Pengujian Penyusutan Diameter Pada Gaya Tekan 5 ton .....	55
Tabel 4.3 Data Pengujian Penyusutan Diameter Pada Gaya Tekan 7,5 ton .....	55
Tabel 4.4 Data Pengujian Penyusutan Tinggi Pada Gaya Tekan 2,5 ton.....	56
Tabel 4.5 Data Pengujian Penyusutan Tinggi Pada Gaya Tekan 5 ton.....	56
Tabel 4.6 Data Pengujian Penyusutan Tinggi Pada Gaya Tekan 7,5 ton.....	56
Tabel 4.7 Data Pengujian Densitas Pada Gaya Tekan 2,5 ton.....	57
Tabel 4.8 Data Pengujian Densitas Pada Gaya Tekan 5 ton.....	57
Tabel 4.9 Data Pengujian Densitas Pada Gaya Tekan 7,5 ton.....	58
Tabel 4.10 Data Pengujian Kekerasan Pada Gaya Tekan 2,5 ton.....	58
Tabel 4.11 Data Pengujian Kekerasan Pada Gaya Tekan 5 ton.....	59
Tabel 4.12 Data Pengujian Kekerasan Pada Gaya Tekan 7,5 ton.....	59
Tabel 4.13 Data Penyusutan Diameter ( $\Delta d$ ) Spesimen $BaFe_{12}O_{19}$ .....	60
Tabel 4.14 Data Penyusutan Tinggi ( $\Delta h$ ) Spesimen $BaFe_{12}O_{19}$ .....	62
Tabel 4.15 Data Pengujian Densitas ( $\rho$ ) Spesimen $BaFe_{12}O_{19}$ .....	65
Tabel 4.16 Data Pengujian Kekerasan Spesimen $BaFe_{12}O_{19}$ .....	69



## DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG

Ba	: barium
SiO <sub>2</sub>	: silika dioksida
Mn	: mangan
TiO <sub>2</sub>	: titanium dioksida
MgO	: magnesium oksida
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: aluminium oksida
B	: fluks <i>magnetic</i> (T)
Br	: magnetisasi remanen (emu/g)
H	: intensitas magnet (kOe)
Hc	: koersifitas (kOe)
P	: tekanan kompaksi (N/m <sup>2</sup> atau Pa atau kgf/cm <sup>2</sup> )
F	: gaya tekan saat kompaksi (N atau kgf)
A	: luas permukaan (m <sup>2</sup> atau cm <sup>2</sup> )
Δd	: penyusutan diameter (%)
d <sub>1</sub>	: diameter spesimen sebelum <i>sintering</i> (mm)
d <sub>2</sub>	: diameter spesimen setelah <i>sintering</i> (mm)
Δh	: penyusutan tinggi (%)
h <sub>1</sub>	: tinggi spesimen sebelum <i>sintering</i> (mm)
h <sub>2</sub>	: tinggi spesimen setelah <i>sintering</i> (mm)
ρ	: densitas (g/cm <sup>3</sup> )
mk	: massa kering (g)
mb	: massa basah (g)
HVN	: <i>Hardness Vickers Number</i> (HV)

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Magnet merupakan fenomena yang unik, karena material magnet dapat ditarik atau ditolak tanpa adanya sentuhan langsung. Semakin berkembangnya teknologi dan perindustrian mengakibatkan semakin besar pula kebutuhan magnet di Indonesia. Komponen elektronika dan industri saat ini masih menggunakan magnet permanen sebagai sumber energi magnetik. Menurut Sardjono, *et al.*, (2012), hasil analisis pasar yang didapat menunjukkan bahwa tingkat kebutuhan magnet untuk meteran air cukup tinggi, yaitu secara kumulatif mencapai 1 juta *pcs*/tahun. Pengembangan magnet permanen kualitas tinggi juga diperlukan untuk pengembangan produksi mobil listrik nasional. Sayangnya, produk magnet yang digunakan di Indonesia saat ini masih bergantung pada produk impor.

Guna menekan ketergantungan terhadap pihak asing, perlu adanya pengembangan penelitian yang berfokus pada magnet permanen, salah satunya magnet berbasis ferit. Magnet berbasis ferit kemudian disintesis menggunakan bahan dasar besi oksida. Salah satu bahan alami besi oksida di Indonesia yang sering di jumpai adalah pasir besi. Pasir besi di Indonesia banyak ditemukan di pesisir pantai khususnya pantai selatan Jawa. Kabupaten Purworejo dengan potensi pasir besinya yang di perkirakan memiliki sumber daya cadangan konsentrat 1.700.000 ton dan terbukti 250.000 ton dengan kadar Fe total 47,4% (Hilman, *et al.*, 2015: 78).

Di dalam pasir besi terdapat kandungan unsur besi oksida berupa magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), maghemit ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), dan hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) (Aji, *et al.*, 2007: 106). Meskipun memiliki komposisi kimia yang sama namun maghemit dan hematit memiliki struktur kristal yang berbeda. Jenis ferit yang saat ini laku secara komersial adalah barium ferit ( $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan strontium ferit. Barium ferit termasuk dalam kategori magnet keras dikarenakan mempunyai magnetik remanen ( $B_r$ ) yang baik dan memiliki nilai koersifitas ( $H_c$ ) lebih dari 200 Oe (Wicaksono, *et al.*, 2013: 83).

Bahan dasar yang digunakan dalam pembuatan magnet barium ferit akan mempengaruhi karakteristik magnet. Bahan dasar pembuatan magnet barium ferit adalah hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) yang didapatkan dari proses oksidasi magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Hematit dapat diperoleh melalui proses sintesis dengan mengoksidasi magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) pada temperatur 800 °C berwarna ungu dan memiliki struktur heksagonal (Aji, *et al.*, 2007: 108). Sintesis Barium ferit dari hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) dan barium karbonat ( $\text{BaCO}_3$ ) dapat dilakukan menggunakan banyak metode, salah satunya dengan menggunakan metode metalurgi serbuk. Metalurgi serbuk merupakan teknik pembuatan logam dengan bahan dasar berupa serbuk halus yang kemudian dicetak pada suatu cetakan dan kemudian *disintering* di bawah titik cairnya.

Menurut Mukhlisin (2013: 36), pada variasi komposisi campuran barium ferit ( $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dengan bahan pengikat berupa resin tidak memiliki pengaruh terhadap nilai kekuatan tekan. Hal ini dikarenakan pembuatan magnet dilakukan dengan cara mencetak atau press tanpa melakukan proses pemanasan. Billah (2006: 31) pada penelitian pembuatan dan karakterisasi magnet stronsium ferit dengan

bahan dasar pasir besi yang dikompaksi pada tekanan 3 ton menunjukkan struktur serbuk kristal hasil sintesis sudah sesuai dengan produk komersial namun sifat magnetiknya belum memenuhi standar komersial. Untuk mendapatkan bahan dengan kualitas yang optimal, diperlukan ukuran butir kurang dari 1 mikron (Billah, 2006: 31).

Tekanan kompaksi dan temperatur *sintering* juga mempengaruhi karakteristik magnet. Tekanan yang diberikan saat proses kompaksi dapat memberikan kepadatan yang tinggi pada serbuk metalurgi. Sedangkan perpindahan massa pada proses *sintering* dapat meningkatkan kepadatan serbuk hasil kompaksi. Menurut Simbolon, *et al.*, (2013), pada penelitiannya tentang barium heksaferit ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ) yang dicetak pada tekanan  $1,3 \text{ tonf/cm}^2$  menunjukkan bahwa temperatur *sintering* optimum  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$  dengan komposisi doping Mn 0,1 (mol%) menghasilkan nilai densitas sebesar  $4,77 \text{ gr/cm}^3$  sedangkan penambahan ion Mn dan kenaikan temperatur *sintering* menyebabkan terjadinya penurunan nilai densitas dan menimbulkan *cracking* serta pori-pori pada permukaan sampel. Wibowo (2016) menyatakan kenaikan suhu sinter dapat meningkatkan nilai densitas, kekerasan, kekuatan *bending*, dan kekuatan impak komposit sedangkan seiring kenaikan komposisi silika hanya memiliki pengaruh terhadap meningkatnya nilai densitas, kekerasan, kekuatan *bending*, dan kekuatan impak komposit hanya pada suhu sinter  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$  dengan komposisi  $\text{SiO}_2$  1%.

Dari uraian penjelasan tersebut menunjukkan bahwa pemilihan bahan, gaya tekan dan temperatur *sintering* dapat mempengaruhi karakteristik pembuatan magnet. Mempertimbangkan jumlah pasir besi yang melimpah di Indonesia dan

pengolahan yang belum maksimal maka penelitian ini akan mengkaji tentang pengolahan pasir besi menjadi magnet ferit. Bahan ferit yang disintesis adalah barium ferit karena memiliki sifat magnetik yang baik dan mudah ditemukan di alam bebas. Pada penelitian ini akan dipelajari lebih lanjut mengenai pengaruh gaya tekan dan temperatur *sintering* pada proses pembuatan bahan dasar magnet barium ferit terhadap sifat fisik dan kekerasannya.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah dapat diidentifikasi permasalahan sebagai berikut:

1. Asal pasir besi dapat berpengaruh terhadap kandungan mineral oksida.
2. Proses oksidasi untuk mendapatkan hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).
3. Campuran bahan atau senyawa yang dapat menjadikan oksida besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) yaitu barium karbonat dan stronsium karbonat
4. Jenis alat yang digunakan dalam proses pencampuran bahan.
5. Gaya tekan yang diberikan pada saat proses kompaksi.
6. Temperatur *sintering* yang digunakan.
7. Karakteristik sifat bahan yang dapat diidentifikasi antara lain sifat fisik, sifat mekanik, dan sifat magnetik.

## 1.3 Pembatasan Masalah

Peneliti perlu membatasi masalah agar memudahkan penelitian, adapun batasan yang telah ditetapkan sebagai berikut:

1. Bahan yang digunakan adalah pasir besi yang berasal dari pantai Ketawang Indah Purworejo.
2. Bahan hematit yang digunakan adalah oksida pasir besi pada temperatur 900 °C selama 5 jam.
3. Bahan campuran yang digunakan adalah barium karbonat ( $\text{BaCO}_3$ ) dengan kemurnian 98%.
4. Pencampuran bahan dengan menggunakan mesin *ball milling* atau proses *mechanical alloying* selama 3 jam.
5. Variasi gaya tekan saat proses kompaksi yang digunakan yaitu 2,5; 5; dan 7,5 ton.
6. Variasi temperatur *sintering* yang digunakan yaitu 1100, 1150, dan 1200 °C selama 1 jam.
7. Sifat fisik yang akan diteliti meliputi penyusutan (*shrinkage*) menggunakan *vernier caliper* dan densitas bahan dengan metode *Archimedes*.
8. Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *vickers*.

#### **1.4 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang, permasalahan yang timbul dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh gaya tekan dan temperatur *sintering* terhadap sifat fisik bahan dasar magnet barium ferit berbasis pasir besi?
2. Bagaimana pengaruh gaya tekan dan temperatur *sintering* terhadap kekerasan bahan dasar magnet barium ferit berbasis pasir besi?

### **1.5 Tujuan Penelitian**

Berdasar rumusan masalah, maka tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh gaya tekan dan temperatur *sintering* terhadap sifat fisik bahan dasar magnet barium ferit berbasis pasir besi.
2. Untuk mengetahui pengaruh gaya tekan dan temperatur *sintering* terhadap kekerasan bahan dasar magnet barium ferit berbasis pasir besi.

### **1.6 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Meningkatkan nilai guna pasir yang sebelumnya hanya dimanfaatkan sebagai bahan bangunan.
2. Dapat menjadi referensi bagi penelitian sejenis atau penelitian yang lebih luas tentang pemanfaatan pasir besi.
3. Dapat meningkatkan karakteristik dalam pembuatan magnet sehingga dapat memiliki nilai komersial yang tinggi.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

Rusianto (2016) melakukan penelitian tentang magnet permanen dari partikel nano magnetit yang disintesis dari pasir besi pantai selatan Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan pasir besi sebagai bahan magnet permanen melalui studi karakteristik kemagnetan, sifat fisik, dan sifat mekanik. Bahan magnet permanen diperoleh melalui oksidasi pada temperatur 700, 900, dan 1100 °C selama 5 jam. Hasil penelitian menunjukkan suhu oksidasi optimum dari magnetit diperoleh pada temperatur 900 °C. Barium heksaferit kemudian dipadatkan dengan tekanan 30 MPa dan disinter dengan variasi temperatur 800, 900, 1000, 1100, dan 1200 °C selama 1 jam. Pengujian kekerasan hanya dapat dilakukan pada benda uji dengan temperatur *sintering* 1000, 1100, dan 1200 °C karena pada temperatur *sintering* 800 °C dan 900 °C bahan uji pecah. Hasil pengujian menunjukkan pada temperatur *sintering* 1100 °C penambahan zirconia lebih dari 1% berat menurunkan sifat mekanis. Kekerasan awal barium heksaferit tanpa penambahan zirconia sebesar 227 HV meningkat hingga sebesar 550 HV pada penambahan zirconia 1% berat.

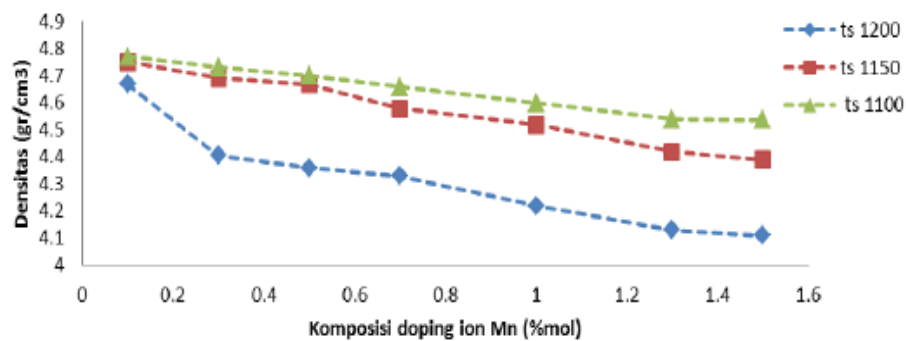
Setiawan (2020) melakukan penelitian berjudul “Pengaruh Proses Pemurnian Secara Mekanik dan Kimia Pasir Besi Terhadap Sifat Fisik dan Magnetik Bahan Dasar Magnet Permanen Barium Ferit”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sifat fisik dan magnetik oksida besi yang diperoleh melalui pemurnian



mekanik dan kimia sebagai bahan dasar magnet permanen. Pasir besi yang diperoleh dari pantai Purworejo di uji XRD dimana hasilnya menunjukkan kandungan senyawa *crystalite low* ( $\text{SiO}_2$ ) sebesar 70,6% dan senyawa *magnetite* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) sebesar 29,4%. Pada proses pemurnian mekanik melalui proses penyaringan dengan bantuan magnet permanen 35 kali didapatkan senyawa *magnetite low* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) sebesar 92,9% dan *iron-alpha* (Fe) sebesar 7,1%. Kemudian dilakukan proses oksidasi pada temperatur 900 °C selama 5 jam hingga terbentuk senyawa *hematite* yang telah mencapai 100% dengan ukuran kristal 46,71 nm. Hematit dicampur barium karbonat ( $\text{BaCO}_3$ ) secara *stoichiometry* kemudian *dimilling* dalam *shaker ball mill* dengan variasi waktu 0, 1, 3, 6, dan 10 jam. Hasil uji PSA menunjukkan pada pemurnian mekanik yang *dimilling* selama 3 jam menghasilkan rata-rata ukuran partikel paling kecil yaitu sebesar 4,529  $\mu\text{m}$ . Hasil penelitian didapat bahwa 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 nm – 66,29 nm, walaupun keduanya berada pada temperatur *sintering* yang sama.

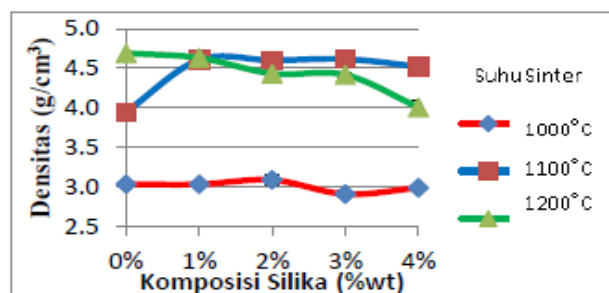
Simbolon, *et al.*, (2013) melakukan penelitian yang berjudul “Sintesis dan Karakterisasi Barium M-Heksaferit dengan Doping Ion Mn dan Temperatur *sintering*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakterisasi barium heksaferit dengan penambahan Mn sebesar 0,1-1,5% (mol) yang *disintering* pada temperatur 1100 °C, 1150 °C, dan 1200 °C selama 2 jam. Barium heksaferit dicetak dengan tekanan kompaksi 1,3 tonf/cm<sup>2</sup>. Gambar 2.1 menunjukkan kondisi optimum dicapai pada temperatur *sintering* 1100 °C dengan nilai *doping* ion Mn 0,1% (mol)

yang menghasilkan densitas  $4,77 \text{ g/cm}^3$ . Sedangkan pada temperatur *sintering* 1150 °C dan 1200 °C terjadi penurunan densitas. Dari hasil penelitiannya terlihat adanya korelasi berbanding terbalik antara penambahan ion Mn dengan nilai densitas. Variasi temperatur *sintering* juga memiliki pola yang sama, artinya semakin tinggi temperatur *sintering* maka densitas akan semakin menurun.



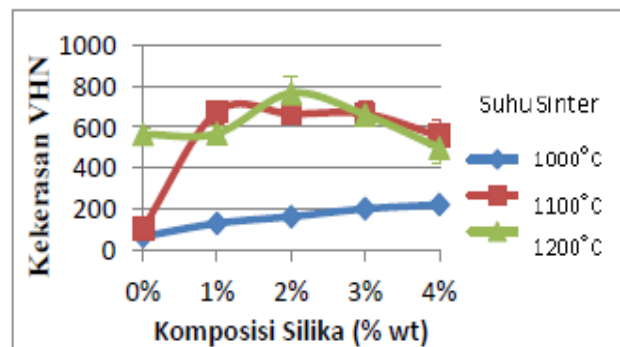
Gambar 2.1 Grafik Pengujian Densitas Barium Heksaferit *Doping* Ion (Simbolon, *et al.*, 2013)

Wibowo (2016) melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Sifat Mekanis Komposit *Barium Hexaferrit* dengan Penguat Silika”. Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh komposisi penguat silika dan temperatur *sintering* pada komposit barium heksaferit terhadap sifat mekanis bahan. Barium heksaferit dicampur penguat silika dengan komposisi 0-4% yang disintering pada temperatur 1000 °C, 1100 °C, dan 1200 °C selama 3 jam kemudian dipress dalam cetakan dengan tekanan kompaksi 23 MPa.



Gambar 2.2 Pengujian Densitas BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/SiO<sub>2</sub> (Wibowo, 2016)

Pada Gambar 2.2 menunjukkan bahwa komposit yang disinter pada temperatur 1100 °C terjadi peningkatan densitas yang cukup signifikan pada komposisi silika 1%. Sedangkan pada temperatur sinter 1200 °C terjadi penurunan densitas dengan meningkatnya komposisi silika. Pada pengujian kekerasan didapatkan diameter injakan sebanyak lima titik. Pada Gambar 2.3 temperatur sinter 1100 °C tercapai kekerasan maksimum pada komposisi SiO<sub>2</sub> 1% berat. Semakin meningkatnya komposisi silika maka kekerasan bahan juga semakin meningkat.



Gambar 2.3 Grafik Pengujian Kekerasan BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/SiO<sub>2</sub> (Wibowo, 2016)

Xu, *et al.*, (2007) melakukan penelitian yang berjudul “*Effect of Stoichiometry on the Phase Formation and Magnetic Properties of BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> Nanoparticles By Reverse Micelle Technique*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *stoichiometry* untuk pembuatan nanopartikel BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> terhadap sifat magnetnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material dengan rasio Fe/Ba = 11 memiliki nilai densitas sebesar 5,2817 g/cm<sup>3</sup>. Penelitian ini memiliki kesamaan dengan penelitian yang akan dilakukan, yaitu pada bagian komposisi bahan yang akan dicampurkan dengan menggunakan rumus *stoichiometry*.

Kristiantoro, *et al.*, (2019) melakukan penelitian berjudul “*Influence of Compaction Pressure on Magnetic Characteristics, Density, and Hardness of*

*Barium Hexaferrite*. Penelitian bertujuan untuk mengetahui efek dari variasi tekanan kompaksi terhadap sifat magnetik, fisik, dan mekanik barium ferit. Barium ferit dibuat dengan rasio 80% hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) dan 20% barium karbonat ( $\text{BaCO}_3$ ) kemudian ditambahkan adiktif seperti silika ( $\text{SiO}_2$ ), kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ), dan *polyvinyl alcohol* (PVA). Dikalsinasi pada temperatur 1200 °C selama 3 jam dan disinter pada temperatur 1250 °C selama 1 jam. Variasi tekanan kompaksi yang digunakan sebesar 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 ton/cm<sup>2</sup>. Hasil paling optimum pada penelitian ini didapatkan pada tekanan 6 ton/cm<sup>2</sup> yaitu dengan densitas 4,530 g/cm<sup>3</sup> dan kekerasan 42,5 HRc.

Billah (2006) melakukan penelitian yang berjudul “Pembuatan dan Karakterisasi Magnet Strontium Ferit dengan Bahan Dasar Pasir Besi”. Penelitian bertujuan untuk membandingkan karakterisasi magnet strontium ferit hasil penelitian terhadap produk komersial PT. NX Indonesia. Hasil uji densitas menunjukkan bahwa strontium ferit memiliki nilai densitas 4,555 g/cm<sup>3</sup>. Strontium ferit hasil penelitian mempunyai karakteristik magnet permanen namun belum bisa menyamai produk komersial.

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Pasir Besi**

Pasir besi merupakan partikel yang mengandung besi yang terbentuk akibat proses penghancuran batuan yang biasanya mengendap di sepanjang pantai. Pasir besi banyak tersebar di Indonesia terutama di sepanjang pantai barat Sumatra,

pantai selatan Jawa, dan beberapa pulau di wilayah timur Indonesia. Pasir besi sebanyak dipakai sebagai bahan baku industri baja, bahan magnet, dan lain-lain.

Tabel 2.1 Karakteristik unsur besi

<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/cm<sup>3</sup>)</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>Melting Point ( °C)</i>	1538

(Callister dan Rethwisch, 2009)

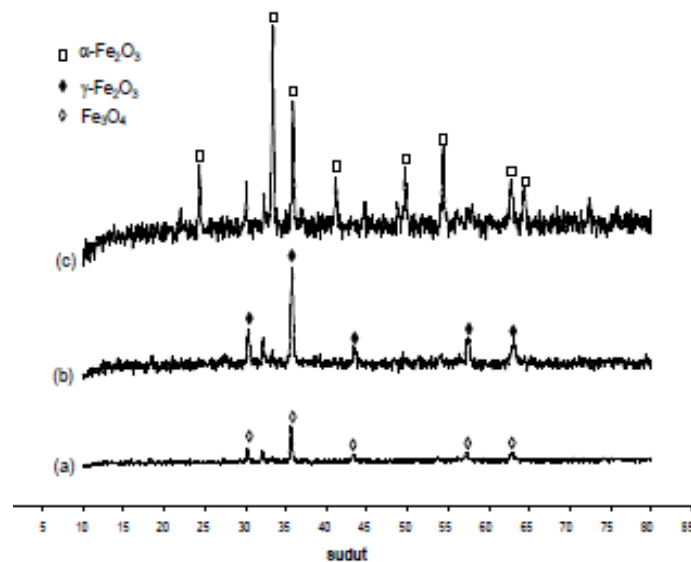
Menurut Hilman, *et al.*, (2014), pasir besi berwarna abu-abu hingga kehitaman, berbutir sangat halus dengan ukuran antara 75-150 mikron, densitas 2-5 g/cm<sup>3</sup>, dan bobot isi (*Specific Gravity*, SG) 2,99-4,23 g/cm<sup>3</sup>. Kandungan mineral utama dalam pasir besi berupa magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), hematit ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), dan maghemit ( $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yang disertai dengan mineral pengotor lain. Perbedaan jumlah kandungan mineral disebabkan oleh tatanan geologi dan proses mineralisasi di setiap wilayah. Sebagai contoh kandungan mineral pasir besi hasil ekstraksi dari Sukabumi Selatan dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Kandungan Mineral Pasir Besi Sukabumi Selatan

Senyawa	Kandungan (% berat)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	60,2377
TiO <sub>2</sub>	19,8437
SiO <sub>2</sub>	10,0465
MgO	2,8422
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,7099
CaO	2,4357
Lain-lain	1,8843

(Sufiandi,2011)

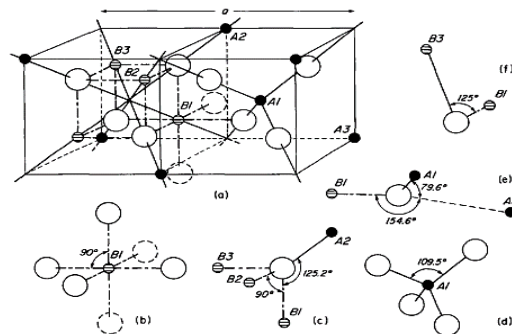
Tabel 2.2 menunjukkan bahwa kandungan mineral  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  memiliki persentase paling besar yaitu 60,2377%. Kandungan tertinggi didominasi oleh oksida besi sebagai mineral ferrimagnetik dan mineral lainnya yang bersifat non ferrimagnetik. Menurut Aji, *et al.*, (2007) meskipun bahan magnetik yang ada pada pasir besi juga berupa magnetit, tetapi proses sintesis telah mereduksi ukuran magnetit menjadi jauh lebih kecil, sehingga mengubah bahan tersebut dari domain jamak menjadi domain tunggal. Serbuk magnetit yang dihasilkan dari sintesis pasir besi diperkirakan berukuran kurang dari 100 nm. Pasir besi memiliki fasa magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), dimana untuk mendapatkan hasil oksida dengan fasa yang berbeda diperlukan proses pemanasan dengan variasi temperatur. Berdasarkan hasil pengukuran, nilai susceptibilitas 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).



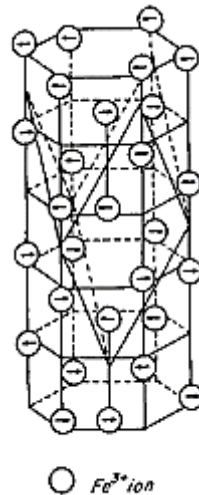
Gambar 2.4 Difraktogram Sinar-X untuk Magnet Hasil Sintesis (Aji, *et al.*, 2007)

Pada Gambar 2.4 huruf (b) menunjukkan bahwa pada temperatur oksidasi 300 °C fasa magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) diubah menjadi maghemit ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ). Perubahan tersebut dapat dicermati melalui perubahan warna serbuk. Sedangkan pada huruf

(c) menunjukkan pada temperatur 800 °C fasa magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) diubah sepenuhnya menjadi hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ). Fasa hematit memiliki perubahan warna keunguan dan apabila diidentifikasi menggunakan difraksi sinar-x maka memiliki struktur heksagonal.



Gambar 2.5 Sketsa Potongan  $\frac{1}{4}$  Satuan Sel Magnetit (Dunlop, 1997:49)



Gambar 2.6 Struktur Magnet Hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) (Dunlop, 1997:71)

## 2.2.2 Sifat Magnet

Magnet merupakan bahan yang dapat menarik benda lain yang memiliki sifat kemagnetan. Rusianto (2016) menyatakan bahwa sifat magnetik dapat dijelaskan atau diprediksi dari nilai suseptibilitas magnetik dari suatu mineral individu maupun material. Suseptibilitas (*suseptibility*) adalah sifat kerentanan kemagnetan yang merupakan perbandingan magnetisasi yang ditimbulkan bahan

dibandingkan dengan medan magnet yang diberikan. Berdasarkan sifat kemagnetan bahan, suatu bahan dapat digolongkan menjadi 5 yaitu diamagnetik, paramagnetik, antiferromagnetik, ferrimagnetik dan ferromagnetik.

a. Diamagnetik

Diamagnetik merupakan sifat suatu benda untuk menciptakan medan magnet ketika dikenai medan magnet. Bahan diamagnetik adalah bahan yang resultan medan magnet atomis masing masing atom atau molekulnya nol, tetapi orbit dan spinnya tidak nol (Halliday dan Resnick, 1989:812). Bahan diamagnetik tidak mempunyai dipol magnet permanen. Saat bahan dikenai medan magnet luar maka gerakan elektron dalam atom akan berubah sehingga menghasilkan resultan medan magnet atomis yang berlawanan arah. Diamagnetik dapat disebut juga sebagai magnet negatif (Cullity dan Graham, 2009:90).

b. Paramagnetik

Paramagnetik merupakan material magnet yang bersifat sementara atau tidak tetap. Bahan paramagnetik adalah bahan yang resultan medan magnet atomis masing masing atom atau molekulnya tidak nol (Halliday dan Resnick, 1989:812). Pada bahan ini atom bergerak secara acak sehingga resultan medan magnet atomis saling meniadakan (Cullity dan Graham, 2009:91). Jika bahan diberi medan magnet luar maka elektron-elektron dalam atom akan bergerak sehingga resultan medan magnet searah dengan medan magnet luar.

c. Antiferromagnetik

Antiferromagnetik secara mikroskopis mirip dengan paramagnetik dengan sifat lemah dengan suseptibilitas rendah (Rusianto, 2016).

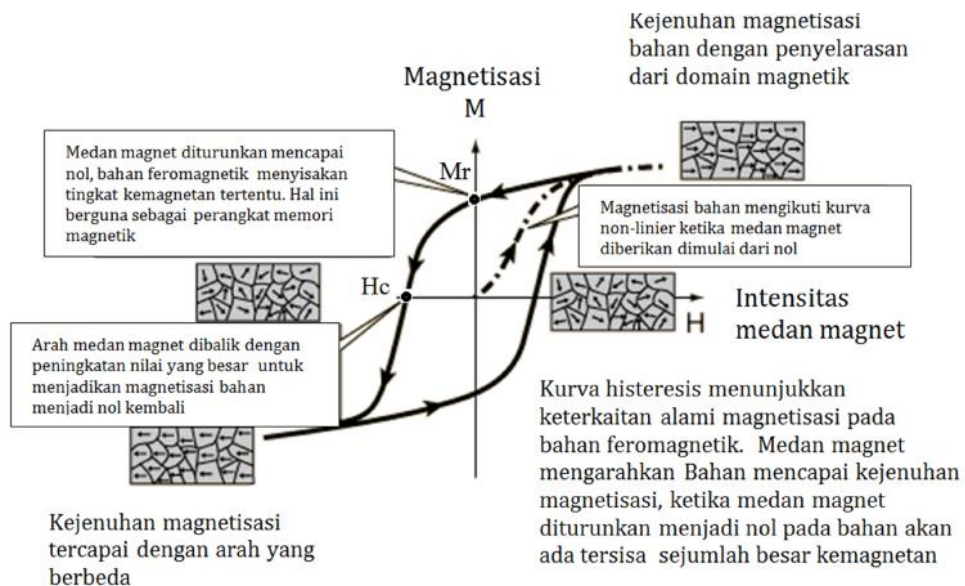


#### d. Ferrimagnetik

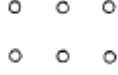
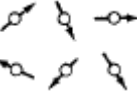



Ferrimagnetik merupakan jenis magnet kuat yang memiliki kekuatan untuk merasakan gaya tarik atau tolak terhadap medan magnet luar. Resultan medan magnet dalam material ini terbagi-bagi dalam keadaan yang searah saling berlawanan, tetapi momen magnetiknya tidak nol meskipun tidak dikenai medan magnet luar.

#### e. Ferromagnetik

Menurut Rusianto (2016) ferromagnetik adalah mekanisme dasar dari bahan tertentu (seperti Fe, Ni, dan Co) berbentuk magnet permanen, yang merupakan magnet spontan. Bahan ferromagnetik mempunyai resultan medan atomis yang besar (Halliday dan Resnick, 1989:813). Pada bahan ferromagnetik banyak spin elektron yang tidak berpasangan sehingga total medan magnetik yang dihasilkan suatu atom lebih besar.



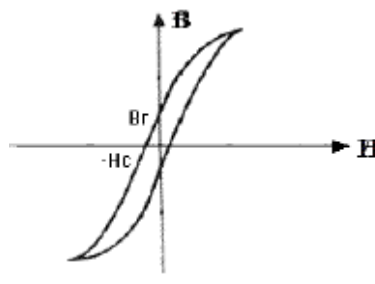
Gambar 2.7 Kurva histeresis bahan ferromagnetik (Rusianto, 2016)

Tabel 2.3 Sifat Kemagnetan Bahan	
Tipe kemagnetan	Pergerakan magnetik
Diamagnetik	
Paramagnetik	
Antiferromagnetik	
Ferrimagnetik	
Ferromagnetik	

(Cullity dan Graham, 2009:90)

### 2.2.3 *Soft Magnet* (Magnet Lunak)

*Soft magnet* (magnet lunak) memiliki sifat kemagnetan sementara atau tidak kekal. Magnet jenis ini dapat menarik benda lain yang memiliki medan magnet namun daya kemagnetannya dapat hilang. Hal ini disebabkan oleh pengaruh medan magnet eksternal yang diterimanya menghilang dan cenderung memiliki suseptibilitas yang rendah. Magnet lunak mempunyai medan magnet koersif yang rendah. Koersifitas dan remanen adalah besaran kemagnetan yang dapat didefinisikan dari suatu loop histeresis magnet.

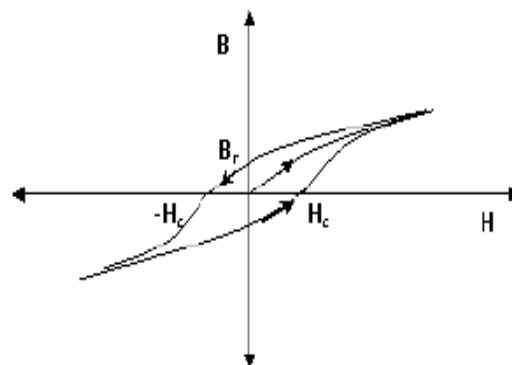


Gambar 2.8 Loop Histeresis Magnet Lunak (Jayanti, *et al.*, 2013)

Gambar 2.8 menunjukkan kurva histeris untuk magnet lunak dimana  $H$  adalah medan magnetik yang diperlukan untuk menginduksi medan berkekuatan  $B$  dari material. Setelah medan  $H$  ditiadakan, dalam specimen tersisa *magnetisme residual*  $B_r$ , yang disebut residual remanen, dan diperlukan medan magnet  $H_c$  yang disebut gaya koersif, yang harus diterapkan dalam arah berlawanan untuk meniadakannya. Nilai  $H$  yang rendah sudah memadai untuk menginduksi medan  $B$  yang kuat dalam logam, dan diperlukan medan  $H_c$  yang kecil untuk menghilangkannya. *Soft magnetic* material dapat mengalami magnetisasi dan tertarik ke magnet lain, namun sifat magnetiknya hanya akan bertahan apabila magnet berada dalam suatu medan magnetik.

#### 2.2.4 *Hard* magnet (Magnet Keras)

*Hard* magnet (magnet kears) disebut juga magnet permanen dikarenakan daya kemagnetannya yang kekal dan juga dapat menarik bahan lain yang memiliki medan magnet yang sangat kuat. Magnet keras menarik material lain yang mengalami magnetisasi menuju dirinya sendiri.



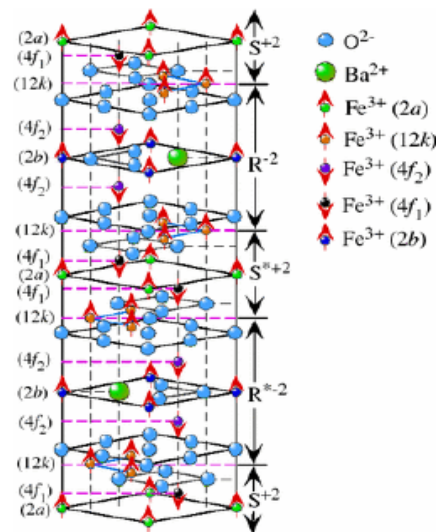
Gambar 2.9 Loop Histerisis Magnet Keras (Jayanti, *et al.*, 2013)

Pada magnet keras ketika material dimasukkan ke dalam suatu medan magnetik  $H$ , garis – garis gaya yang berdekatan dihimpun dalam meterial tersebut sehingga meningkatkan densitas fluks (terjadi peningkatan induksi magnetik  $B$ ). Besarnya induksi bergantung pada medan magnetik dan pada jenis material. Magnet jenis ini dapat mempertahankan kemagnetannya dalam waktu yang lama.

#### 2.2.5 Barium Heksaferit

Bahan keramik biasanya termasuk dalam jenis ferit yang berupa oksida yang disusun oleh hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) sebagai komponen utama. Hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) dapat diperoleh melalui oksidasi (penambahan oksigen) dan kalsinasi magnetit pasir besi. Senyawa barium heksaferit merupakan bahan magnet permanen dari hasil proses pemanasan barium karbonat. Bahan ini kemudian digiling untuk mengurangi ukuran partikel, dipress dalam cetakan, dan disinter hingga temperatur 1200 °C. Magnet yang dihasilkan memiliki ukuran butir sekitar 1  $\mu\text{m}$  dan sangat rapuh (Cullity dan Graham, 2009:487).

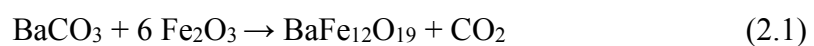
Barium heksaferit ( $\text{BaO}\cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) merupakan magnet permanen yang memiliki 2 struktur kristal yaitu *hexagonal close-packed* (heksagonal mampat) dan struktur *face centered cubic* (kubik pusat sisi). Dalam sel satuan barium ferit terdapat 64 ion yang berisi barium dan oksigen yang tidak memiliki magnet, 16 ion  $\text{Fe}^{3+}$  yang memiliki pergerakan sejajar paralel dan 8 ion  $\text{Fe}^{3+}$  sejajar tidak paralel yang memberikan magnetisasi sejajar pada bidang yang diterapkan (Ozgun, *et al.*, 2009). Amplitudo yang terjadi pada proses kemagnetan didalam barium ferit relatif rendah dikarenakan hanya 1/8 ion yang berkontribusi terhadap magnetisasi material.



Gambar 2.10 Struktur Kristal Barium Heksaferrit (Ozgun, *et al.*, 2009)

Pada struktur skematis dari barium heksaferrit, tanda panah pada ion Fe mewakili arah spin polarisasi. 2a, 12k, dan 4f2 adalah oktahedral, 4f1 adalah tetrahedral, dan 2b adalah heksahedral (Ozgun, *et al.*, 2009). Dalam setiap sel satuan barium ferrit terdapat 24 ion Fe<sup>3+</sup> yang dimana 4 ion berada di sistem tetrahedral, oktahedral dan 2 ion yang lain dalam heksahedral. Terdapat 16 ion dengan spin yang bergerak searah dan 8 ion yang bergerak dengan spin berlawanan.

Barium heksaferrit dapat diperoleh melalui proses pemanasan campuran homogen antara hematit ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan serbuk barium karbonat (BaCO<sub>3</sub>) dengan perbandingan *stoichiometry* melalui reaksi Persamaan 2.1.



Rasio molar dari senyawa BaO dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang bervariasi dapat membentuk fase-fase yang berbeda pula yang dapat teramati dari diagram fase senyawa tersebut. Barium heksaferrit mulai terbentuk pada temperatur 800 °C. Fase barium heksaferrit dengan komposisi kimia BaO.6Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dimana kandungan BaO sekitar 15 mol % (Rusianto, 2016).

Tabel 2.4 Sifat fisik barium heksaferit ( $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

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

(ChengYang Technologies Ltd, 2006)

### 2.2.6 Mechanical Alloying

*Mechanical alloying* adalah sebuah metode reaksi padatan (*solid state reaction*) dari pencampuran beberapa serbuk logam dengan memanfaatkan proses deformasi untuk membentuk suatu paduan. Menurut Suryanarayana, *et al*, (2001) dalam proses *mechanical alloying* campuran serbuk mengalami proses *cold welding* dan *fracturing* (perpatahan) partikel serbuk secara berulang-ulang di dalam *high-energy ball mill*. Tujuan dari proses *mechanical alloying* adalah untuk menghasilkan campuran bahan yang homogen. Campuran serbuk digiling selama waktu tertentu sehingga tercapai komposisi serbuk dimana semuanya sama seperti ukuran elemen-elemen pada awal pencampuran serbuk.

Parameter penting dalam proses *Mechanical alloying* adalah distribusi dan area permukaan dari partikel serbuk. Ukuran partikel akan berpengaruh dalam proses *milling* namun tak terlalu besar asalkan ukuran material lebih kecil dari

ukuran *grinding ball*. Hal ini disebabkan ukuran partikel serbuk berkurang dan mencapai ukuran beberapa mikron setelah beberapa saat proses milling.

Berdasarkan media cairan, *milling* di bagi menjadi 2 yaitu *dry milling* (penggilingan kering) dan *wet milling* (penggilingan basah).

a. *Dry milling*

*Dry milling* bertujuan untuk membentuk bahan yang keras tanpa cairan. *Dry milling* biasanya digunakan dalam operasi pengepresan untuk membentuk dan menkonsolidasikan partikel. *Crushing* dan *milling* pada proses ini dilakukan secara berurutan untuk mengurangi ukuran partikel (King, 2002).

b. *Wet milling*

*Wet milling* adalah proses milling menggunakan media cairan. *Wet milling* sering digunakan diterapkan dilaboratorium daripada *dry milling*. Kerugian dari proses *wet milling* adalah meningkatnya kontaminasi serbuk. *Wet milling* biasanya digunakan untuk membuat slip berbutir kasar atau halus. Slip dari pergerakan cairan akan ditanggihkan partikel bahan. partikel yang lebih besar dan padat akan mengendap lebih cepat di tempat yang memiliki viskositas cairan rendah (King, 2002).

Peralatan *high energy milling* sendiri dapat dibedakan menjadi beberapa jenis. Perbedaan tersebut berupa kapasitas, efisiensi *milling*, pengaturan panas, dan lain-lain.

a. *SPEX shaker mill*

*SPEX shaker mill* biasanya digunakan dalam penelitian laboratorium dan keperluan penyaringan bahan. *SPEX mill* dapat menggiling kira-kira 10-20 g serbuk

dalam sekali proses milling. Milling jenis ini menggerakkan serbuk dan bola-bola pada tiga gerakan yang saling tegak lurus. Versi umum dari *SPEX mill* memiliki satu *vial* yang berisi serbuk sampel dan *grinding ball*, yang dimasukkan dalam penjepit kemudian diayunkan dengan kecepatan sekitar 1200 rpm beberapa kali selama satu menit (Alli, *et al.*, 2015).

*b. Planetary ball mill*

Mill lain yang populer digunakan dalam proses *mechanical alloying* adalah *planetary ball mill* karena beberapa ratus gram serbuk dapat digiling pada saat yang sama. *Ball mill* terdiri dari satu putaran *disk* dan 2 atau 4 *vial*, dimana putaran *disk* dalam satu arah dan putaran *vial* berotasi pada arah yang berlawanan. Gaya sentrifugal dibuat dari *vial* yang mengelilingi sumbunya bersama dengan arah rotasi serbuk dan bola-bola *mill* dalam *vial* (mangkuk). Campuran serbuk mengalami penghancuran dan *cold welding* di bawah impek berenergi tinggi (Alli, *et al.*, 2015).

Bola-bola *milling* dan campuran serbuk *dimilling* bergantian dan bergesekan dengan dinding *vial*. Proses ini menghasilkan impek saat bola dan serbuk teraduk dalam wadah secara berlawanan. Energi impek bola-bola *milling* pada arah normal mencapai 40 kali lebih besar dari akselerasi gravitasi. Oleh karena itu *planetary ball mill* dapat digunakan untuk *milling* kecepatan tinggi.

*c. Attritor mill*

*Attritor mill* adalah *ball mill* konvensional yang terdiri dari drum horizontal berputar yang setengah bagiannya diisi bola-bola baja kecil. Menurut Ali, *et al.* (2015) saat drum berotasi bola-bola berjatuhan pada serbuk yang digiling dimana tingkat penggilingan (*grinding*) meningkat bersama kecepatan rotasi. Namun pada



kecepatan tinggi, gaya sentrifugal yang bekerja pada bola baja melebihi gaya gravitasi dan bola-bola tersebut disematkan di dinding drum. *Attritor mill* dapat menghasilkan serbuk dalam jumlah yang besar. Kecepatan media grinding dalam *attritor* lebih rendah (sekitar 0,5 m/s) daripada *planetary mill* dan *spex mill* yang mengakibatkan energi penggilingan *attritor mill* menjadi rendah.

### 2.2.7 Tekanan Kompaksi

Kompaksi didefinisikan sebagai proses pembuatan bentuk yang diinginkan dengan menerapkan tekanan dalam sebuah cetakan. Tekanan yang diberikan pada saat proses kompaksi digunakan untuk memberikan kepadatan yang tinggi. Rumus tekanan dapat dilihat pada Persamaan 2.2.

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.2)$$

dimana,  $P$  = tekanan kompaksi (N/m<sup>2</sup> atau Pa atau kgf/cm<sup>2</sup>)

$F$  = gaya tekan saat kompaksi (N atau kgf)

$A$  = luas permukaan (m<sup>2</sup> atau cm<sup>2</sup>)

Dengan semakin naiknya tekanan yang diberikan maka densitas serbuk akan semakin naik. Setelah proses kompaksi selesai dilakukan diharapkan mendapatkan densitas yang homogen tetapi hal tersebut sangat sulit didapatkan karena adanya gesekan antara partikel dengan partikel maupun partikel dengan dinding cetakan.

Proses kompaksi terjadi akibat terbebaninya lapisan akibat lapisan yang ada di atasnya, sehingga hubungan antar butir menjadi lebih dekat dan juga air yang

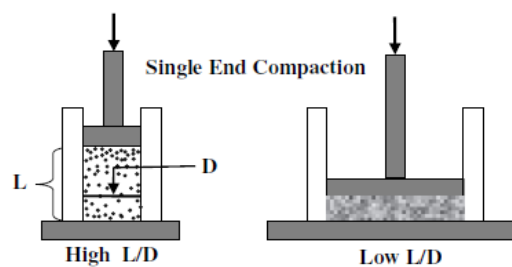
berada dalam pori-pori ikut terdorong keluar. Menurut Upadhyaya (2002:42), pemadatan serbuk logam memiliki fungsi sebagai berikut:

1. Untuk mengkonsolidasikan bubuk menjadi bentuk sesuai dengan yang diinginkan.
2. Untuk memberikan dimensi akhir yang diinginkan dengan pertimbangan perubahan dimensi yang terjadi setelah *sintering*.
3. Untuk menanamkan tingkat dan jenis porositas yang diinginkan.
4. Untuk memberikan kekuatan yang memadai untuk perlakuan selanjutnya.

Kompaksi juga dapat disebut sebagai proses pemampatan serbuk menjadi *green compact* sehingga densitas setelah melewati proses kompaksi dinamakan *green density*. Menurut Moosa (2013) dalam proses metalurgi serbuk umumnya *green density* dapat ditingkatkan dengan cara:

- a. Meningkatkan tekanan kompaksi sesuai dengan jenis serbuk awal
- b. Penggunaan berbagai ukuran partikel
- c. Mengurangi kekerasan partikel
- d. Menambah pelumas

Distribusi *green density* sangat bergantung pada rasio panjang terhadap diameter ( $L/D$ ) kompaksi. Jika rasio ini menurun, maka *green density* menjadi lebih homogen. Gambar 2.11 menunjukkan proses *single compaction*.

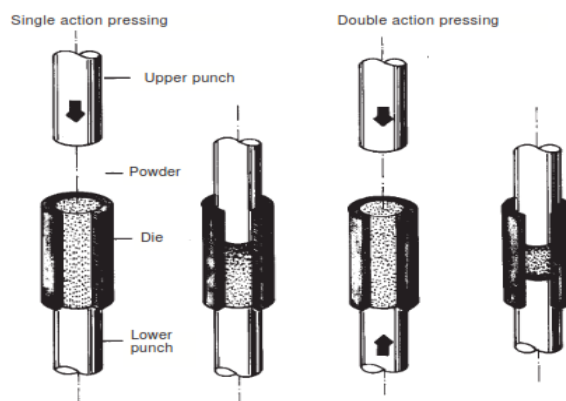


Gambar 2.11 Proses Kompaksi (Moosa, 2013)

Penggunaan teknik kompaksi dapat dicirikan oleh referensi untuk pergerakan elemen alat individu seperti tekanan atas, tekanan bawah dan cetakan relatif terhadap satu sama lain. Penekanan dalam cetakan tetap dapat dibagi menjadi penekanan aksi tunggal dan penekanan aksi ganda (Upadhyaya, 2002:42).

Pada penekanan aksi tunggal yaitu tekanan atas (*upper punch*) menekan kebawah mendorong serbuk material yang berada dalam cetakan. Untuk penekan dari bawah (*lower punch*) hanya diam, tidak bergerak atau mendorong serbuk material yang berada dalam cetakan. Penekanan ini memiliki kepadatan yang lebih tinggi di bagian atas daripada bagian bawah.

Penekanan aksi ganda yaitu penekan atas (*upper punch*) dan penekan bawah (*lower punch*) bergerak secara bersamaan menekan serbuk material yang ada dalam cetakan. Konsekuensinya adalah terdapatnya kepadatan yang tinggi di bagian atas dan bawah kompak. Di pusatnya, tetap ada zona netral yang relatif lemah.



Gambar 2.12 Penekanan Aksi Tunggal dan Ganda (Upadhyaya, 2002:43)

Bahan-bahan dengan kekerasan rendah, seperti aluminium, kuningan, dan perunggu memerlukan tekanan kompaksi yang rendah. Bahan-bahan dengan kekerasan tinggi seperti besi, baja, dan nikel paduan memerlukan tekanan kompaksi

yang tinggi. Semakin tinggi tekanan kompaksi maka akan menaikkan berat jenis hingga optimum. Di atas tekanan optimum tersebut, peningkatan tekanan tidak akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap massa jenis.

Tabel 2.5 Tekanan Kompaksi untuk Macam-macam Serbuk

Material	Tekanan kompaksi	
	Tonf/in <sup>2</sup>	MPa (N/mm <sup>2</sup> )
Aluminium	5-20	70-280
Brass	30-50	415-690
Bronze	15-20	205-230
Copper-graphite brushes	25-30	345-415
Carbides	10-30	140-415
Ferrites	8-12	110-165
Iron bearings	15-25	205-345
Iron	25-60	345-825
Iron powder cores	10-50	140-690
Tungsten	5-10	70-140
Tantalum	5-10	70-140

(Upadhyaya, 2002:59)

### 2.2.8 Sintering

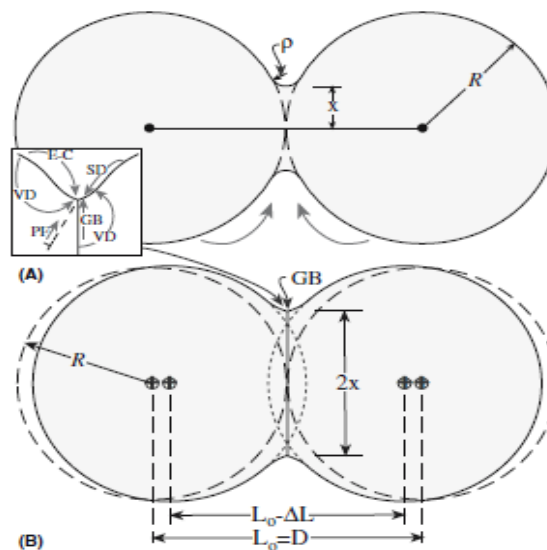
*Sintering* merupakan suatu proses pemadatan atau densifikasi dari sekumpulan serbuk pada temperatur tinggi hingga mendekati titik leburnya. Proses *sintering* bertujuan untuk merapatkan ikatan antara partikel yang biasanya berbentuk *green compact* dengan cara memanaskan material pada tempeatur 0,7-0,9 di bawah titik leleh material. Proses *sintering* menyebabkan terjadinya perubahan struktur mikro seperti pengurangan jumlah dan ukuran pori, pertumbuhan butir, peningkatan densitas dan penyusutan (*shrinkage*). Beberapa faktor yang mempengaruhi hasil *sintering* yaitu temperatur *sintering*, waktu penahanan (*holding time*), dan atmosfer.

Proses sintering hampir sama dengan kalsinasi. Kalsinasi adalah pembakaran tahap awal yang berupa reaksi dekomposisi secara endotermik yang

berfungsi untuk melepaskan gas-gas dalam bentuk karbonat sehingga akan menghasilkan serbuk dengan kemurnian oksida yang tinggi. Magnet ferit biasanya diproduksi dari kalsinasi diantara temperatur 800-1100 °C (Rusianto, 2016:37).

Menurut Carten dan Norton (2007), proses *sintering* memiliki beberapa tahapan yang berbeda yaitu:

- Konsolidasi (pengembangan *neck*) selama proses pemanasan
- Menghilangkan pori-pori diantara partikel awal
- Komponen menyusut
- Beberapa butir tumbuh sementara yang lain menyusut



Gambar 2.13 Proses *Sintering* pada Dua Butir Partikel (Carten dan Norton, 2007:429)

Tabel 2.6 Mekanisme dan Pergerakan *Sintering* (Difusi pada *Neck*)

Mekanisme	<i>Transport path</i>
SD	<i>Surface diffusion</i>
VD	<i>Volume diffusion</i>
E-C	<i>Evaporation-condensation</i>
GB	<i>Grain boundary</i>
VD	<i>Volume diffusion</i>
PF	<i>Plastic flow</i>

(Carten dan Norton, 2007:430)

Pada gambar 2.13 terlihat bahwa kedua partikel tidak lagi berbentuk bulat apabila *neck* (leher) mulai terbentuk. Hal ini dikarenakan pusat dari kedua partikel bergerak menuju satu sama lain. Perubahan yang terjadi selama proses pemanasan terkait ke (1) perubahan ukuran dan bentuk butir (2) perubahan ukuran dan bentuk pori. Sebelum di panaskan, serbuk hasil kompaksi terdiri dari butir-butir individu dan mengandung porositas mencapai 60% volume. Jumlah porositas tergantung pada ukuran dan distribusi partikel serbuk serta metode pembentukan batas butir/*grain boundary* (GB). Karakteristik material dapat dimaksimalkan dengan cara mengurangi porositas sebanyak mungkin. Tujuan ini dapat dicapai selama proses pemanasan dengan mentransfer partikel dari satu struktur ke struktur lain.

Terdapat beberapa faktor penting yang terlibat selama proses *sintering* berlangsung yaitu temperatur, waktu, dan keadaan atau suasana di dalam tungku. Adapun variabel material yang dapat menjadi faktor penting dalam *sintering* yaitu ukuran partikel, bentuk partikel, struktur partikel, komposisi partikel, kepadatan hijau (*green density*) (Upadhyaya, 2002:70).

Salah satu yang mempengaruhi perpindahan massa pada proses *sintering* adalah temperatur. Dengan semakin meningkatnya temperatur *sintering* maka sifat mekanis bahan juga akan meningkat. Sifat mekanis tersebut antara lain kekerasan, kekuatan impak dan *bending*. Hal ini disebabkan karena semakin meningkatnya temperatur sintering, maka akan memicu terjadinya *interdiffusion* dari serbuk hasil kompaksi (*green compact*) dan meningkatkan kepadatan produk hasil *sinter*. Akan tetapi temperatur *sintering* yang berlebih juga menimbulkan kerugian antara lain

penyusutan (*shrinkage*), keakuratan dimensi berkurang, dan terjadinya pertumbuhan butir.

### 2.2.9 Penyusutan (*Shrinkage*)

Penyusutan (*shrinkage*) dapat diartikan sebagai selisih dimensi antara sampel awal dengan sampel hasil akhir dalam satuan persen (%). Penyusutan terutama dapat disebabkan oleh tekanan dan temperatur yang diberikan yang nilainya berbeda tergantung jenis material. Pada penelitian ini penyusutan dimensi sampel dapat diketahui dengan mengukur dimensi sampel (diameter dan tinggi) dan membandingkannya pada sebelum dan sesudah proses *sintering*. Pengukuran dimensi sampel menggunakan *vernier caliper* (jangka sorong) dengan ketelitian 0,02 mm. Penyusutan (*shrinkage*) pada dimensi sampel dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.3 dan 2.4.

$$\Delta d = \frac{d_1 - d_2}{d_1} \times 100 \% \quad (2.3)$$

$$\Delta h = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \times 100 \% \quad (2.4)$$

Dimana,  $\Delta d$  = penyusutan diameter (%)

$\Delta h$  = penyusutan tinggi (%)

$d_1$  = diameter sampel sebelum *sintering* (mm)

$d_2$  = diameter sampel setelah *sintering* (mm)

$h_1$  = tinggi sampel sebelum *sintering* (mm)

$h_2$  = tinggi sampel setelah *sintering* (mm)

### 2.2.10 Densitas

Densitas atau massa jenis adalah suatu besaran kerapatan massa benda yang dinyatakan dalam berat benda per satuan volume benda tersebut. Kompresibilitas adalah ukuran bubuk yang akan dikompresi atau kepadatan saat penerapan tekanan eksternal. Kepadatan yang nyata dari suatu bubuk biasanya dinyatakan dalam  $\text{g/cm}^3$ , dibulatkan ke 0,01  $\text{g/cm}^3$  terdekat, pada tekanan pemadatan yang ditentukan, atau sebagai tekanan yang diperlukan untuk mencapai kepadatan tertentu (Upadhyaya, 2002:26).

Terdapat 2 macam densitas yaitu *true density* (densitas teoritik) dan *bulk density* (densitas bahan). True density adalah densitas suatu material padat tanpa porositas. Sedangkan *bulk density* adalah densitas suatu material yang mengandung porositas dan cacat kisi. Pengukuran densitas bahan (*bulk density*) menggunakan metode *Archimedes* pada standar ASTM C373-88-2006 yaitu dengan mengukur massa kering sampel dan massa basahnya. Densitas dapat dihitung dengan Persamaan 2.5.

$$\rho = \frac{m_k}{m_k - m_b} \times \rho_{\text{air}} \quad (2.5)$$

dimana,  $\rho$  = *bulk density* ( $\text{g/cm}^3$ )

$m_k$  = massa kering (g)

$m_b$  = massa basah (g)

$\rho_{\text{air}}$  = 1  $\text{g/cm}^3$  (pada saat suhunya 27 °C)



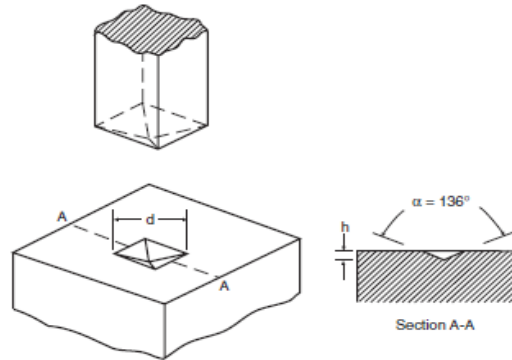
### 2.2.11 Kekerasan

Sifat kekerasan suatu material adalah kemampuan material didalam merespon atau menahan gaya dari luar (gaya penetrasi atau gaya indentasi) sehingga material mengalami deformasi plastis. Kekerasan suatu bahan dapat diketahui dengan cara mengukur ketahanan suatu benda terhadap penekanan indenter, dengan cara penekanan indenter bola baja atau piramida intan yang dikeraskan pada permukaan benda kerja lalu mengukur bekas penekanan dari indenter tersebut.

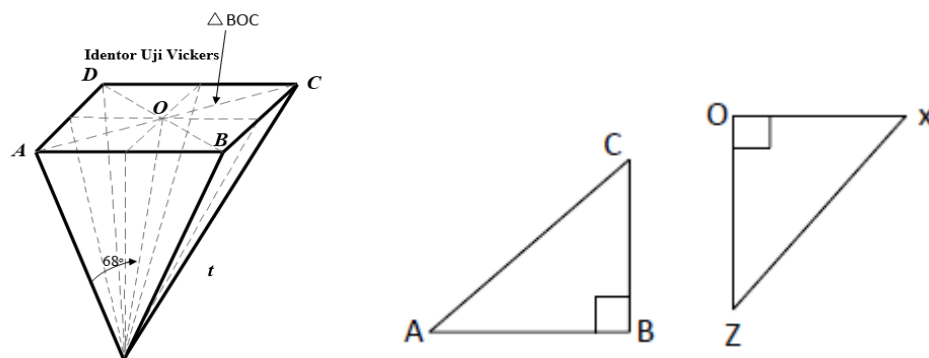
Terdapat tiga jenis umum mengenai ukuran kekerasan, yang tergantung pada cara melakukan pengujian, ketiga jenis tersebut adalah kekerasan goresan (*scratch hardness*), kekerasan lekukan (*indentation hardness*) dan kekerasan pantulan (*rebound*) atau kekerasan dinamik (*dynamic hardness*). Nilai kekerasan suatu benda kerja dapat diketahui dengan pengujian kekerasan menggunakan mesin uji kekerasan (*hardness taster*) menggunakan tiga cara atau metode yang biasanya dilakukan yaitu metode *Brinell*, *Rockwell* dan *Vickers*.

Uji kekerasan *Vickers* menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar, besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramid yang saling berhadapan adalah  $136^\circ$ . Karena bentuk penumbuknya piramid maka pengujian ini sering dinamakan uji kekerasan piramida intan. Angka kekerasan piramida intan (DPH) atau angka kekerasan *Vickers* (VHN), didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Uji kekerasan *Vickers* sering digunakan dalam penelitian dikarenakan dapat memberikan skala kekerasan

yang berkelanjutan, mulai dari logam lunak (*soft metal*) dengan DPH 5 sampai bahan yang sangat keras dengan DPH 1500 (Dieter, 1961:289).



Gambar 2.14 Indentasi Kekerasan *Vickers* (Dowling, 2012:161)



Gambar 2.15 Bentuk Indentor Pengujian *Vickers*

$$\cos 45^\circ = \frac{BC}{AC}$$

$$AB = AC \cdot \cos 45^\circ$$

$$= AC \cdot \frac{1}{2} \sqrt{2}$$

$$= \frac{1}{2} d\sqrt{2}$$

Sebelum mencari ZX, harus diketahui dulu nilai Ox

$$Ox = \frac{1}{2} AB$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} d\sqrt{2}$$

$$= \frac{1}{4} d\sqrt{2}$$

Menggunakan rumus trigonometri, kemudian hitung nilai  $Z_x$

$$\sin 68^\circ = \frac{Ox}{Zx}$$

$$Zx = \frac{Ox}{\sin 68^\circ}$$

Luas bidang BZC yaitu:

$$BZC = \frac{1}{2} \cdot Ox \cdot BC$$

$$BZC = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} d\sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} d\sqrt{2}}{\sin 68^\circ}$$

$$BZC = \frac{\frac{1}{8} d^2}{\sin 68^\circ}$$

Ketika penekanan spesimen, luas penampang indenter setara dengan 4 kali luas bidang BZC

$$A = 4 \cdot BZC$$

$$= 4 \cdot \frac{\frac{1}{8} d^2}{\sin 68^\circ}$$

$$= 4 \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{d^2}{\sin 68^\circ}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{d^2}{0,927}$$

$$A = \frac{d^2}{1,854}$$

Pada penelitian ini akan digunakan metode pengujian mikro *Vickers* dikarenakan permukaan benda uji yang kecil sehingga pembebanan yang dibutuhkan juga kecil yaitu sekitar 10-1000 gf dengan durasi 10-15 detik. Standar

pengujian akan menggunakan ASTM C1327-08 *Test Method for Vickers Indentation Hardness of Advanced Ceramics*. Persamaan yang berhubungan dengan pengujian *vickers* adalah Persamaan 2.6.

$$\begin{aligned} \text{HVN} &= \frac{P}{A} \\ \text{HVN} &= \frac{P}{\frac{d^2}{1,854}} \\ \text{HVN} &= \frac{1,854 P}{d^2} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Dimana,  $\text{HVN} = \text{Vickers Hardness Number (HV)}$

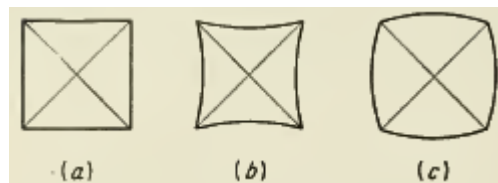
$P =$  beban yang diterapkan (kgf)

$d =$  panjang diagonal rata-rata (mm),  $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$

$d_1 =$  panjang diagonal 1 (mm)

$d_2 =$  panjang diagonal 2 (mm)

Indentasi (lekukan) sempurna yang dibuat oleh indenter piramida intan adalah persegi atau bujur sangkar. Penyimpangan lekukan bisa saja terjadi seperti lekukan bantal jarum akibat terjadinya penurunan logam disekitar permukaan piramida yang datar. Keadaan demikian terdapat pada logam yang dilunakkan dan menghasilkan pengukuran panjang diagonal yang berlebihan.



Gambar 2.16 Tipe Indentasi Piramida Intan (Dieter, 1961:290)

Pada Gambar 2.16, Gambar a merupakan salah satu tipe lekukan piramid yang sempurna, Gambar b merupakan tipe lekukan piramid bantal jarum yang

disebabkan karena terjadinya penurunan benda kerja di sekitar permukaan piramida yang datar. Sedangkan Gambar c merupakan tipe lekukan piramida berbentuk tong yang disebabkan karena benda kerja mengalami proses pengerjaan dingin.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat pelaksanaan**

Waktu dan tempat pelaksanaan penelitian direncanakan secara seksama agar nantinya penelitian dapat terlaksana secara terjadwal dan selesai tepat waktu. Adapun waktu dan tempat pelaksanaan penelitian adalah sebagai berikut.

Waktu : Desember 2019 – Maret 2020.

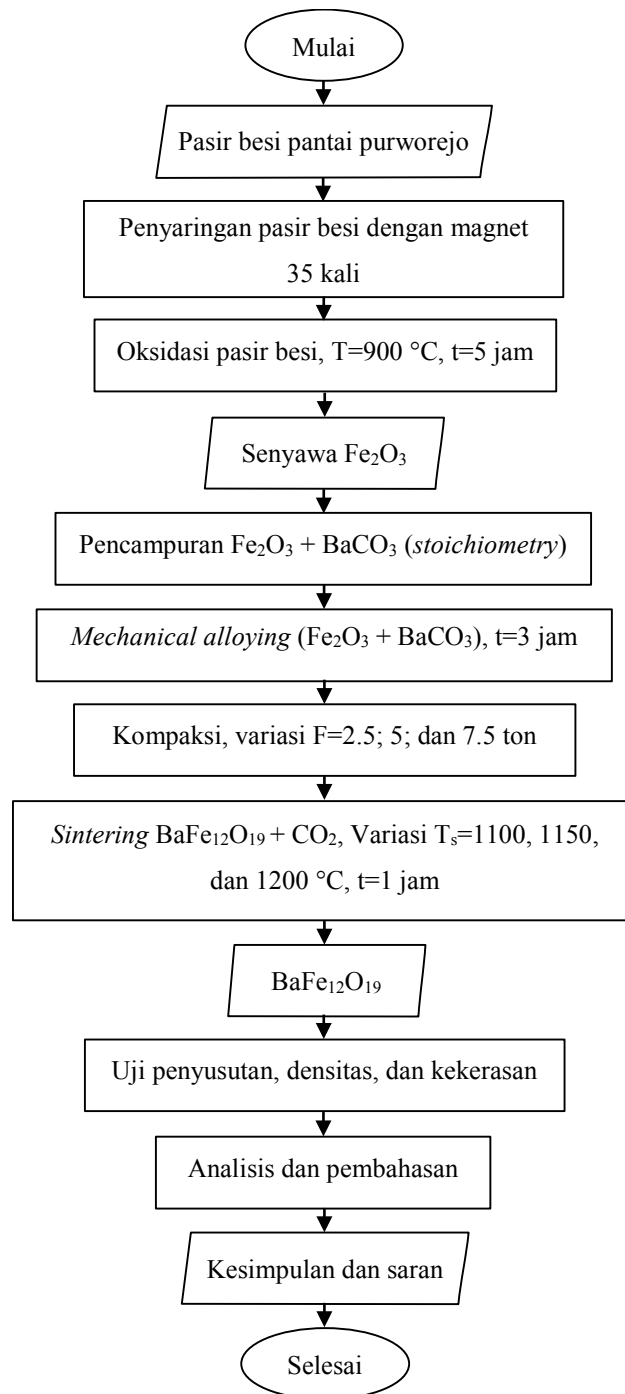
Tempat : Laboratorium Produksi Jurusan Teknik Mesin Gedung E5 Lantai 1  
Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

#### **3.2 Desain Penelitian**

Pada penelitian ini, desain penelitian yang digunakan adalah desain penelitian menggunakan metode eksperimental. Eksperimen adalah metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi terkendalikan (Sugiyono, 2010:107).

##### **3.2.1 Diagram Alir penelitian**

Diagram alir dalam penelitian ini bertujuan untuk memudahkan kita untuk melaksanakan penelitian dengan memperjelas tahap-tahap penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan kekerasan bahan dasar magnet barium ferit dari campuran  $BaCO_3$  dengan  $Fe_2O_3$ . Perlakuan yang diberikan dalam penelitian ini yaitu memvariasikan gaya tekan dan temperatur *sintering*. Diagram alir proses penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram alir proses penelitian

### 3.2.2 Prosedur Penelitian

Pada diagram alir Gambar 3.1 langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### A. Studi Literatur

Studi literatur adalah proses dalam pencarian referensi ataupun data. Studi literatur berfungsi untuk mengetahui informasi yang nantinya digunakan sebagai dasar dalam perancangan penelitian dalam proses pembuatan spesimen barium ferit berbahan dasar pasir besi.

#### B. Persiapan Bahan Dasar dan Pembuatan Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan magnet barium ferit adalah pasir besi yang didapat dari Pantai Ketawang Indah Purworejo. Pasir besi nantinya dioksidasi untuk memperoleh senyawa hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Berikut langkah-langkah pembuatan hematit:

1. Mencuci pasir besi menggunakan air aquades sampai bersih agar pengotor yang menempel dapat dihilangkan.
2. Keringkan pasir besi dibawah sinar matahari selama 1 hari penuh hingga benar-benar kering.
3. Setelah kering, pisahkan pasir besi dan pasir non besi dengan penyaringan secara mekanik dengan bantuan magnet.
4. Penyaringan secara mekanik dilakukan sebanyak 35 kali agar tidak ada kotoran yang menempel pada pasir besi.
5. Pasir besi yang telah disaring, dioksidasi di dalam *furnace* pada temperatur 900 °C dengan laju pemanasan 10 °C/min dan *holding time* selama 5 jam.



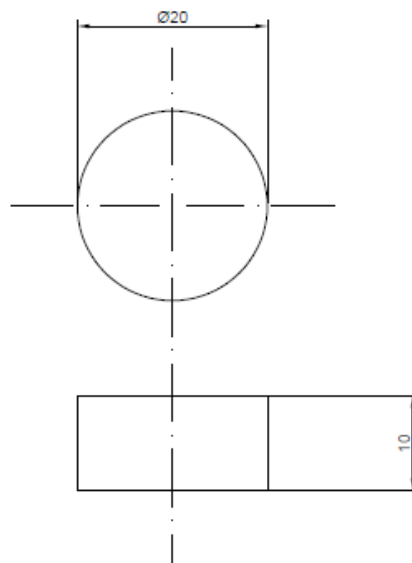
### C. Proses Pencampuran dan Pembuatan Serbuk Barium Ferit

Bahan hematit hasil oksidasi nantinya akan dicampur barium karbonat ( $\text{BaCO}_3$ ) dan dicetak menjadi padatan. Berikut langkah-langkah pembuatan serbuk barium ferit:

1. Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) hasil oksidasi pasir besi kemudian dicampur dengan barium karbonat ( $\text{BaCO}_3$ ) dengan perbandingan yang didapat melalui perhitungan *Stoichiometry*.
2. Campuran serbuk  $\text{BaCO}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  dimasukkan ke dalam tabung *shaker mill* untuk mencampur sekaligus mereduksi ukuran partikel hingga paling kecil.
3. Proses *mechanical alloying* di dalam *shaker ball mill* selama 3 jam.

### D. Proses Pencetakan Barium Ferit

Proses pencetakan barium ferit yaitu dengan menimbang 10 gram presentase serbuk barium ferit menggunakan timbangan digital. Serbuk yang telah ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam *dies* (cetakan) dan dikompaksi dengan variasi gaya tekan sebesar 2,5; 5; dan 7,5 ton.



Gambar 3.2 Desain Spesimen

#### E. Pengukuran Awal Dimensi Spesimen

Setelah proses kompaksi, ukur dimensi dari spesimen menggunakan *vernier caliper*. Dimensi yang diukur dalam penelitian ini yaitu diameter dan tinggi spesimen.

#### F. Proses Sintering

Setelah pengukuran awal dimensi spesimen kemudian spesimen disintering di dalam *furnace*. Proses *sintering* adalah peristiwa penghilangan pori-pori antar partikel bahan sehingga pada saat yang sama terjadi penyusutan pada spesimen yang diikuti oleh pertumbuhan butir. Proses *sintering* dilakukan dengan variasi temperatur 1100, 1150, dan 1200 °C dengan laju pemanasan 10 °C/min dan waktu penahanan (*holding time*) selama 1 jam.

#### G. Pengujian Penyusutan

Pengujian penyusutan dilakukan dengan mengukur dimensi sampel (diameter dan tinggi) dan membandingkannya pada sebelum dan sesudah proses *sintering*. Adapun langkah-langkah uji penyusutan adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan spesimen dan alat yang digunakan yaitu *vernier caliper* dengan ketelitian 0,02 mm.
2. Mengukur diameter dan tinggi awal spesimen sebelum proses *sintering* menggunakan *vernier caliper*.
3. Mengukur diameter dan tinggi spesimen setelah proses *sintering* menggunakan *vernier caliper*.
4. Menentukan nilai penyusutan diameter dan tinggi dengan Persamaan 2.3 dan 2.4.

#### H. Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan dengan menggunakan alat timbangan digital *high precision* dengan ketelitian 0,001 g. Proses uji densitas adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan spesimen dan alat yang digunakan untuk menimbang.
2. Menimbang berat kering spesimen dengan timbangan digital *high precision* dengan ketelitian 0,001 g.
3. Menimbang berat spesimen dalam air dengan timbangan digital *high precision* yang dimodifikasi dengan seutas tali dan digantungkan ke alat timbang sehingga posisi spesimen melayang di dalam air.
4. Menentukan nilai densitas dengan Persamaan 2.5.

#### I. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode *vickers*. Pengujian *vickers* menggunakan penumbuk piramida intan yang ujungnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan yang saling berhadapan adalah  $136^\circ$ . Pengujian *vickers* dilakukan menggunakan alat uji *Microhardness* FM-800 dengan pembebanan sebesar 100 *gf* dengan *holding time* selama 10 detik.

#### J. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian yang telah didapat kemudian dimasukkan kedalam tabel data yang telah disiapkan seperti pada Tabel 3.2, Tabel 3.3, Tabel 3.4, dan Tabel 3.5. Analisis data dan pembahasan dilakukan pada data yang telah didapatkan guna sebagai tolak ukur dalam pembuatan barium ferit sudah dapat digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan magnet permanen.

Dalam proses penelitian, jumlah sampel spesimen uji sangat penting untuk diperhitungkan agar waktu dan biaya dalam penelitian menjadi lebih efisien. Adapun jumlah kebutuhan spesimen dituliskan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jumlah Spesimen Uji

Gaya Tekan (ton)	Temperatur Sintering (°C)	Penyusutan	Densitas	Kekerasan
2,5	1100	3	3	3
	1150	3	3	3
	1200	3	3	3
5	1100	3	3	3
	1150	3	3	3
	1200	3	3	3
7,5	1100	3	3	3
	1150	3	3	3
	1200	3	3	3
Jumlah Kebutuhan Spesimen		27	27	27

### 3.3 Alat dan Bahan penelitian

#### 3.3.1 Alat penelitian

Alat- alat yang digunakan dalam proses pembuatan magnet barium ferit adalah sebagai berikut:

1. Timbangan digital *high precision* merk Fujitsu FSR-A 200 berkapasitas 220 gram dengan ketelitian 0,001 gram yang berfungsi untuk menimbang berat serbuk BaCO<sub>3</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Gambar 3.3 Timbangan Digital *High Precision*

2. *Furnace* (oven) jenis *Nabertherm* N31/H buatan *Germany* yang berfungsi untuk memanaskan bahan pada proses oksidasi dan *sintering* material barium ferit. Adapun spesifikasi dari *Furnace Nabertherm* N31/H yaitu:

*Tmax* : 1280 °C

Volume : 31 L

*Connected load* : 15 kW

*Electrical connection* : 3 phase

*Minutes to Tmax<sup>2</sup>* : 105 minutes



Gambar 3. 4 *Furnace* (Oven)

3. Magnet permanen yang digunakan sebagai media ekstraksi untuk memisahkan antara material pasir besi yang mengandung unsur fero dan non fero.



Gambar 3.5 Magnet Permanen

4. *Hydraulic press machine* merk HP-100 dengan kapasitas mencapai 100 ton yang berfungsi untuk menekan serbuk barium ferit sehingga membentuk material padat pada proses kompaksi. Spesifikasi *Hydraulic press machine* merk HP-100 adalah sebagai berikut:

Kapasitas : 1000 kN

Tekanan : 30 MPa

*Slider drive mechanism* : *rack press*

*Punch shape* : *double column hydraulic press*



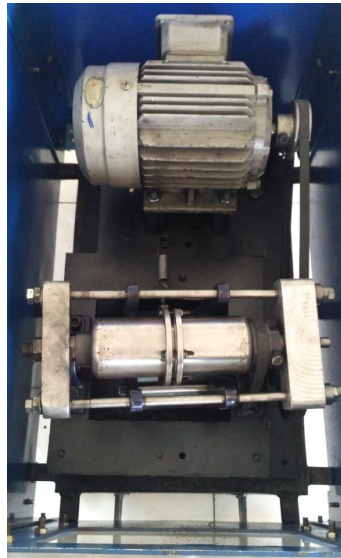
Gambar 3.6 *Hydraulic Press Machine*

5. *Dies* (cetakan) berbentuk silinder yang berfungsi untuk mencetak spesimen barium ferit. Ukuran diameter lubang cetakan sebesar 20 mm dengan tinggi 8 mm.



Gambar 3.7 *Dies* (Cetakan)

6. *Shaker Ball Milling* yang berfungsi sebagai alat pencampur dan penghalus serbuk untuk mendapatkan ukuran partikel yang sangat kecil. Alat ini berada di Laboratorium Teknik Mesin UNNES.



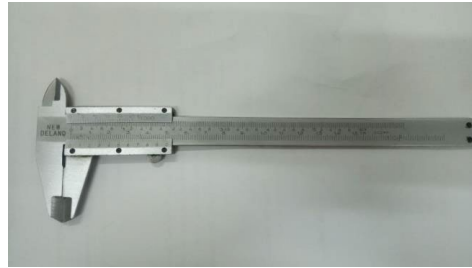
Gambar 3.8 *Shaker Ball Milling*

7. Bola baja yang berfungsi sebagai media penggiling dalam tabung mesin *ball milling*. Bola baja dalam tabung mesin *milling* nantinya akan bergerak dan menghantam bola baja lainnya. Ukuran bola baja yang dipakai yaitu bola baja yang besar berdiameter 8 mm dan bola baja yang kecil berdiameter 15 mm.



Gambar 3.9 Bola Baja

8. *Vernier caliper* (jangka sorong) merk Mitutoyo dengan ketelitian 0,02 mm yang berfungsi untuk mengukur diameter dan tinggi spesimen barium ferit.



Gambar 3.10 *Vernier Caliper*

9. Alat uji kekerasan *vickers Microhardness* FM-800 yang berfungsi untuk mengetahui nilai kekerasan pada spesimen barium ferit. Alat tersebut berada di Laboratorium E5 Lantai 1 Gedung Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Spesifikasi dari alat uji kekerasan *Microhardness* FM-800 adalah:

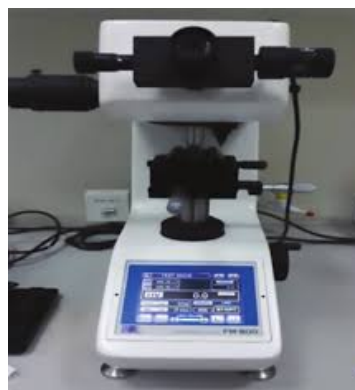
*Capacity* : 5 gf – 50 kgf

*Load applying speed* : 60  $\mu\text{m}/\text{sec}$

*Dwell time* : 5 - 99 sec

*Object lens* : 2 lenses ( x50 and x10)

*Measuring microscope* : 0,01  $\mu\text{m}$



Gambar 3.11 Alat Uji *Microhardness Vickers*

### 3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam pembuatan material barium ferit adalah sebagai berikut:



1. Pasir besi yang berasal dari pantai Ketawang Indah Purworejo.



Gambar 3.12 Pasir Besi Pantai Purworejo

2. Serbuk Barium Karbonat ( $\text{BaCO}_3$ ).



Gambar 3.13 Serbuk Barium Karbonat

3. Air akuades untuk mencuci pasir besi sebelum mengekstraksi manual.
4. Alkohol 96% yang digunakan sebagai membersihkan tabung *Shaker ball milling*.
5. Amplas yang digunakan untuk menghaluskan permukaan material.

### 3.4 Parameter Penelitian

Parameter merupakan perincian dari variabel yaitu hal yang difokuskan segala kejadiannya sebagai data penelitian. Variabel yang akan diteliti dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel Bebas

Menurut Sugiyono (2016:61) variabel bebas dalam penelitian menjadi sebab dari timbulnya variabel terikat. Variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi

gaya tekan dan temperatur *sintering* pada material barium ferit. Variasi gaya tekan pada penelitian ini yaitu 2,5; 5; dan 7,5 ton sedangkan variasi temperatur *sintering* yang diberikan yaitu 1100, 1150, dan 1200 °C.

## 2. Variabel terikat

Menurut Sugiyono (2016:61) variabel terikat merupakan akibat dari adanya pengaruh variabel bebas dari penelitian. Variabel terikat pada penelitian ini adalah penyusutan (*shrinkage*), densitas, dan kekerasan.

### 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 kekerasan bahan dasar magnet barium ferit, perlu dilakukan suatu eksperimen dengan variasi gaya tekan dan variasi temperatur *sintering* antara  $\text{BaCO}_3$  dengan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Pengambilan data dalam eksperimen ini dilakukan dengan cara menguji beberapa sampel. Data penelitian pengaruh gaya tekan dan temperatur *sintering* pada pembuatan bahan dasar magnet barium ferit kemudian diuji sifat fisik yang meliputi penyusutan (*shrinkage*) dan densitas serta kekerasan. Hasil pengujian yang didapatkan kemudian dimasukkan pada Tabel Instrumen 3.2, 3.3, 3.4, dan 3.5 agar memudahkan untuk analisis data.

Tabel 3.2 Nilai Penyusutan Diameter Spesimen

Gaya Tekan (ton)	Temperatur <i>Sintering</i> (°C)	Penyusutan diameter (%)			
		1	2	3	Rata-rata
2,5	1100				
	1150				
	1200				
5	1100				
	1150				
	1200				
7,5	1100				
	1150				
	1200				

Tabel 3.3 Nilai Penyusutan Tinggi Spesimen

Gaya Tekan (ton)	Temperatur <i>Sintering</i> (°C)	Penyusutan Tinggi (%)			
		1	2	3	Rata-rata
2,5	1100				
	1150				
	1200				
5	1100				
	1150				
	1200				
7,5	1100				
	1150				
	1200				

Tabel 3.4 Instrumen Data Pengujian Densitas

Gaya Tekan (ton)	Temperatur <i>Sintering</i> (°C)	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )			
		1	2	3	Rata-rata
2,5	1100				
	1150				
	1200				
5	1100				
	1150				
	1200				
7,5	1100				
	1150				
	1200				

Tabel 3.5 Instrumen Data Pengujian Kekerasan

Gaya Tekan (ton)	Temperatur <i>Sintering</i> (°C)	Nilai Kekerasan (HV)			
		1	2	3	Rata-rata
2,5	1100				
	1150				
	1200				
5	1100				
	1150				
	1200				
7,5	1100				
	1150				
	1200				

### 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. Kalibrasi dilakukan untuk menjaga alat agar tetap presisi. Dalam penelitian ini alat yang perlu dikalibrasi adalah *vernier caliper* (jangka sorong) dan mesin uji kekerasan.

#### 3.6.1 Timbangan digital

Pengkalibrasian timbangan digital dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Letakkan wadah timbangan dalam keadaan kosong
2. Hidupkan timbangan dengan menekan tombol ON
3. Selanjutnya sesuaikan satuan yang digunakan pada indikator timbangan
4. Apabila indikator sudah sesuai kemudian tekan tombol TARE

### 3.6.2 Vernier Caliper

*Vernier caliper* adalah alat ukur yang memiliki ketelitian hingga seperseratus milimeter. Proses kalibrasi *vernier caliper* yaitu dengan melonggarkan baut pengunci kemudian menggeser rahang *caliper* dan rahang geser sehingga saling berhimpit. Untuk pembacaan kalibrasi *vernier caliper* yaitu dengan melihat strip angka nol awal pada skala geser tepat segaris dengan strip angka nol pada skala utama. Kemudian strip angka nol akhir skala geser tepat segaris dengan salah satu strip pada skala utama.

### 3.6.3 Mesin Uji Kekerasan

Mesin uji kekerasan digunakan untuk mengetahui seberapa keras spesimen menerima beban. Proses kalibrasi mesin uji kekerasan adalah sebagai berikut:

1. Master blok diletakkan pada landasan dengan posisi tegak lurus terhadap indenter.
2. Menaikkan landasan sampai master blok dan indenter bersinggungan.
3. Menurunkan tuas untuk pengaplikasian beban pada master blok.
4. Pemberian *holding time* (waktu penahanan).
5. Menghilangkan beban pada master blok.
6. Nilai kekerasan yang muncul pada mesin uji kemudian dilihat apakah sudah sesuai dengan nilai kekerasan master blok yang digunakan.
7. Apabila nilainya sama maka proses kalibrasi dinyatakan berhasil.

## 3.7 Teknik Analisis Data

Penelitian ini menggunakan teknik analisis deskriptif yaitu mengamati dan mencatat secara langsung hasil eksperimen kemudian menyajikan data dan

menyimpulkan hasil penelitian yang telah dilakukan. Data yang dihasilkan yaitu meliputi tabel data hasil uji penyusutan (*shrinkage*), densitas, dan kekerasan. Data berbentuk tabel kemudian disajikan dalam bentuk grafik untuk dianalisis dan ditarik kesimpulan sehingga diketahui pengaruh gaya tekan dan temperatur *sintering* terhadap sifat fisik dan kekerasan bahan dasar magnet barium ferit berbasis pasir besi.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Deskripsi Data

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen yang digunakan untuk mengetahui hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat setelah diberikan perlakuan. Pada penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah variasi gaya tekan yaitu sebesar 2,5; 5; dan 7,5 ton dan variasi temperatur *sintering* yaitu sebesar 1100 °C, 1150 °C, dan 1200 °C. Variabel terikat yang digunakan pada penelitian ini meliputi pengujian penyusutan (*shrinkage*) untuk mengetahui pengurangan dimensi ukuran pada spesimen, pengujian densitas menggunakan rumus *Archimedes* untuk mengetahui nilai kerapatan pada spesimen, dan pengujian kekerasan dengan metode vickers untuk mengetahui sifat mekanik dari spesimen.

Pengujian penyusutan dilakukan pada dimensi diameter dan tinggi spesimen dengan mengukur spesimen sebelum dan sesudah proses *sintering*. Data ukuran dimensi spesimen yang didapat kemudian dihitung menggunakan Persamaan 2.3 dan 2.4. Data yang diperoleh dari pengujian penyusutan diameter dapat dilihat pada Tabel 4.1, 4.2, dan 4.3. Sedangkan data pengujian penyusutan tinggi dapat dilihat pada Tabel 4.4, 4.5, dan 4.6.

$$\Delta d = \frac{d_1 - d_2}{d_1} \times 100 \% = \frac{20,24 - 19,8}{20,24} \times 100 \% = 2,17 \%$$

$$\Delta h = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \times 100 \% = \frac{8,54 - 8,4}{8,54} \times 100 \% = 1,63 \%$$

Tabel 4.1 Data Pengujian Penyusutan Diameter Pada Gaya Tekan 2,5 ton

Temperatur Sintering (°C)	Spesimen	d <sub>1</sub> (mm)	d <sub>2</sub> (mm)	Δd (%)
1100	1	20,24	19,8	2,17
	2	20,26	19,8	2,27
	3	20,26	19,8	2,17
1150	1	20,2	19,5	3,45
	2	20,2	19,56	3,16
	3	20,28	19,6	3,25
1200	1	20,24	19,22	5,03
	2	20,26	19,3	4,73
	3	20,26	19,4	4,44

Tabel 4.2 Data Pengujian Penyusutan Diameter Pada Gaya Tekan 5 ton

Temperatur Sintering (°C)	Spesimen	d <sub>1</sub> (mm)	d <sub>2</sub> (mm)	Δd (%)
1100	1	20,2	19,7	2,47
	2	20,24	19,72	2,56
	3	20,28	19,8	2,46
1150	1	20,18	19,4	3,86
	2	20,38	19,52	4,21
	3	20,4	19,6	4,01
1200	1	20,18	19,12	5,25
	2	20,2	19,2	4,95
	3	20,22	19,2	5,04

Tabel 4.3 Data Pengujian Penyusutan Diameter Pada Gaya Tekan 7,5 ton

Temperatur Sintering (°C)	Spesimen	d <sub>1</sub> (mm)	d <sub>2</sub> (mm)	Δd (%)
1100	1	20,2	19,32	4,35
	2	20,2	19,32	4,35
	3	20,24	19,4	4,15
1150	1	20,2	19,8	6,43
	2	20,22	19,8	6,52
	3	20,24	19,8	6,42
1200	1	20,2	18,7	7,42
	2	20,2	18,7	7,42
	3	20,26	18,7	7,5



Tabel 4.4 Data Pengujian Penyusutan Tinggi Pada Gaya Tekan 2,5 ton

Temperatur Sintering (°C)	Spesimen	h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)	Δh (%)
1100	1	8,54	8,4	1,63
	2	8,5	8,4	1,17
	3	8,56	8,42	1,63
1150	1	8,54	8,34	2,34
	2	8,54	8,36	2,1
	3	8,54	8,36	2,1
1200	1	8,5	8,22	3,29
	2	8,54	8,28	3,04
	3	8,54	8,28	3,04

Tabel 4.5 Data Pengujian Penyusutan Tinggi Pada Gaya Tekan 5 ton

Temperatur Sintering (°C)	Spesimen	h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)	Δh (%)
1100	1	8,48	8,34	1,65
	2	8,46	8,34	1,41
	3	8,36	8,2	1,91
1150	1	8,4	8,22	2,14
	2	8,36	8,1	3,11
	3	8,48	8,24	2,83
1200	1	8,48	8,2	3,3
	2	8,5	8,22	3,32
	3	8,5	8,22	3,32

Tabel 4.6 Data Pengujian Penyusutan Tinggi Pada Gaya Tekan 7,5 ton

Temperatur Sintering (°C)	Spesimen	h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)	Δh (%)
1100	1	8,36	8,16	2,39
	2	8,4	8,14	2,61
	3	8,4	6,16	2,85
1150	1	8,4	8,2	2,38
	2	8,36	8,1	3,11
	3	8,36	8,12	2,87
1200	1	8,36	8,06	3,58
	2	8,4	8,1	3,57
	3	8,42	8,14	3,32

Pengujian densitas dilakukan dengan menimbang massa kering dan massa di dalam air dari spesimen menggunakan timbangan digital *high precision* dengan ketelitian 0,001 gram. Kemudian hitung densitas menggunakan Persamaan 2.5. Data yang diperoleh dari pengujian densitas dapat dilihat pada Tabel 4.7, 4.8, dan 4.9.

$$\rho = \frac{mk}{mk - mb} \times \rho_{\text{air}} = \frac{9,517}{9,517 - 7,201} \times 1 = 4,109 \text{ g/cm}^3$$

Tabel 4.7 Data Pengujian Densitas Pada Gaya Tekan 2,5 ton

Temperatur Sintering (°C)	Spesimen	m <sub>k</sub> (g)	m <sub>b</sub> (g)	ρ (g/cm <sup>3</sup> )
1100	1	9,517	7,201	4,109
	2	9,503	7,205	4,135
	3	9,536	7,216	4,11
1150	1	9,539	7,281	4,213
	2	9,549	7,275	4,21
	3	9,503	7,244	4,206
1200	1	9,462	7,26	4,249
	2	9,463	7,266	4,307
	3	9,421	7,235	4,309

Tabel 4.8 Data Pengujian Densitas Pada Gaya Tekan 5 ton

Temperatur Sintering (°C)	Spesimen	m <sub>k</sub> (g)	m <sub>b</sub> (g)	ρ (g/cm <sup>3</sup> )
1100	1	9,523	7,225	4,129
	2	9,534	7,234	4,145
	3	9,554	7,262	4,168
1150	1	9,469	7,23	4,229
	2	9,439	7,208	4,23
	3	9,34	7,243	4,226
1200	1	9,567	7,362	4,344
	2	9,393	7,216	4,314
	3	9,34	7,181	4,326

Tabel 4.9 Data Pengujian Densitas Pada Gaya Tekan 7,5 ton

Temperatur Sintering (°C)	Spesimen	m <sub>k</sub> (g)	m <sub>b</sub> (g)	ρ (g/cm <sup>3</sup> )
1100	1	9,501	7,23	4,183
	2	9,488	7,219	4,181
	3	9,488	7,202	4,167
1150	1	9,508	7,253	4,237
	2	9,475	7,234	4,245
	3	9,536	7,293	4,251
1200	1	9,421	7,279	4,398
	2	9,413	7,272	4,396
	3	9,424	7,282	4,397

Pengujian kekerasan berfungsi untuk mengetahui kekuatan spesimen setelah diberikan tekanan oleh indenter. Pengujian kekerasan yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode *vickers*. Pengujian *vickers* dilakukan menggunakan alat uji *Microhardness* FM-800 dengan pembebanan sebesar 100 gf dengan *holding time* selama 10 detik. Pengujian dilakukan di Laboratorium E5 Lantai 1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Data yang diperoleh dari uji kekerasan dapat dilihat pada Tabel 4.10, 4.11, dan 4.12.

Tabel 4.10 Data Pengujian Kekerasan Pada Gaya Tekan 2,5 ton

Temperatur Sintering (°C)	Spesimen	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	HVN
1100	1	26,68	26,5	262,3
	2	27,12	24,76	275,6
	3	27,36	29,94	225,9
1150	1	18,84	20,81	471,8
	2	19,71	21,12	445
	3	18,88	20,15	487
1200	1	17,59	17,91	588,6
	2	17,91	17,46	592,9
	3	18,68	17,32	572,4

Tabel 4.11 Data Pengujian Kekerasan Pada Gaya Tekan 5 ton

Temperatur Sintering (°C)	Spesimen	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	HVN
1100	1	19,8	16,53	562
	2	17,62	19,98	524,7
	3	17,02	20,88	516,4
1150	1	19,08	17,11	566,4
	2	17,59	19,81	530,3
	3	16,39	20,06	558,3
1200	1	16,31	15,89	715,4
	2	16,34	15,61	726,7
	3	14,83	17	732,2

Tabel 4.12 Data Pengujian Kekerasan Pada Gaya Tekan 7,5 ton

Temperatur Sintering (°C)	Spesimen	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	HVN
1100	1	16,59	16,96	659
	2	16,94	16,94	646,3
	3	17,66	17,66	594,6
1150	1	14,87	17,54	706,2
	2	15,54	16,73	712,3
	3	16,27	16,27	700,6
1200	1	15,12	16,34	749,5
	2	15,89	15,89	734,5
	3	15,85	15,85	738,2

## 4.2 Analisis Data dan Pembahasan

Setelah dilakukan pengujian terhadap spesimen dan mendapatkan hasil data pengujian kemudian dilakukan analisis data sebagai berikut.

### 4.2.1 Pengujian Penyusutan (*shrinkage*)

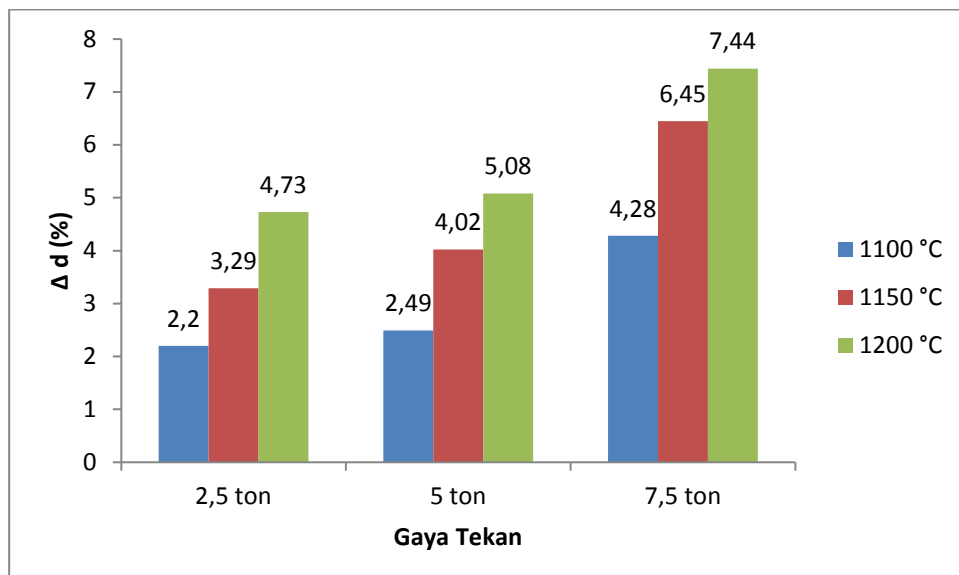
Pengujian penyusutan dilakukan pada dimensi diameter dan tinggi spesimen. Pengujian penyusutan dilakukan menggunakan *vernier caliper* (jangka sorong) dengan mengukur diameter dan tinggi spesimen sebelum *sintering* (d<sub>1</sub> dan h<sub>1</sub>) kemudian mengukur kembali diameter dan tinggi spesimen setelah *sintering* (d<sub>2</sub> dan

h<sub>2</sub>). Hasil pengujian penyusutan pada barium ferit ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ) yang dikompaksi dengan gaya tekan 2,5; 5; dan 7,5 ton kemudian di-sintering dengan temperatur 1100 °C, 1150 °C, dan 1200 °C dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan Tabel 4.14.

Tabel 4.13 Data Penyusutan Diameter ( $\Delta d$ ) Spesimen  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$

Gaya Tekan (ton)	Temperatur Sintering (°C)	$\Delta d$ (%)			
		1	2	3	Rata-rata
2,5	1100	2,17	2,27	2,17	2,2
	1150	3,45	3,16	3,25	3,29
	1200	5,03	4,73	4,44	4,73
5	1100	2,47	2,56	2,46	2,49
	1150	3,86	4,21	4,01	4,02
	1200	5,25	4,95	5,04	5,08
7,5	1100	4,35	4,35	4,15	4,28
	1150	6,43	6,52	6,42	6,45
	1200	7,42	7,42	7,5	7,44

Data hasil pengujian penyusutan diameter dapat disajikan dalam diagram batang sebagai berikut:



Gambar 4.1 Diagram Hasil Pengujian Penyusutan Diameter  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$

Data hasil penelitian penyusutan diameter menunjukkan bahwa pada setiap variasi gaya tekan dan variasi temperatur *sintering* memiliki nilai penyusutan diameter yang berbeda. Pada gambar 4.1 terlihat adanya kenaikan yang cukup signifikan pada spesimen saat diberi perlakuan *sintering* temperatur 1100, 1150, dan 1200 °C. Hasil pengujian menunjukkan spesimen yang diberikan perlakuan gaya tekan 2,5 ton dan temperatur *sintering* 1100 °C memiliki nilai rata-rata penyusutan diameter terendah yaitu sebesar 2,2%. Sedangkan nilai rata-rata penyusutan diameter tertinggi dimiliki oleh spesimen dengan gaya tekan 7,5 ton dan temperatur *sintering* 1200 °C yaitu 7,44%.

Nilai rata-rata penyusutan diameter terendah pada setiap perlakuan *sintering* diperoleh pada spesimen gaya tekan 2,5 ton. Pada spesimen dengan gaya tekan 2,5 ton yang diberi perlakuan *sintering* 1100 °C memiliki nilai penyusutan diameter sebesar 2,2%. Pada perlakuan *sintering* 1150 °C memiliki nilai penyusutan diameter sebesar 3,29%. Sementara pada perlakuan *sintering* 1200 °C memiliki nilai penyusutan diameter sebesar 4,73%. Pada gaya tekan 2,5 ton kenaikan rata-rata nilai penyusutan diameter yang terjadi seiring dengan naiknya temperatur *sintering* adalah sekitar 1,09-2,17%.

Pada spesimen dengan gaya tekan 5 ton yang diberi perlakuan *sintering* 1100 °C memiliki nilai penyusutan diameter sebesar 2,49%. Pada perlakuan *sintering* 1150 °C memiliki nilai penyusutan diameter sebesar 4,02%. Sementara pada perlakuan *sintering* 1200 °C memiliki nilai penyusutan diameter sebesar 5,08%. Pada gaya tekan 5 ton kenaikan rata-rata nilai penyusutan diameter yang terjadi seiring dengan naiknya temperatur *sintering* adalah sekitar 1,53-2,59%.

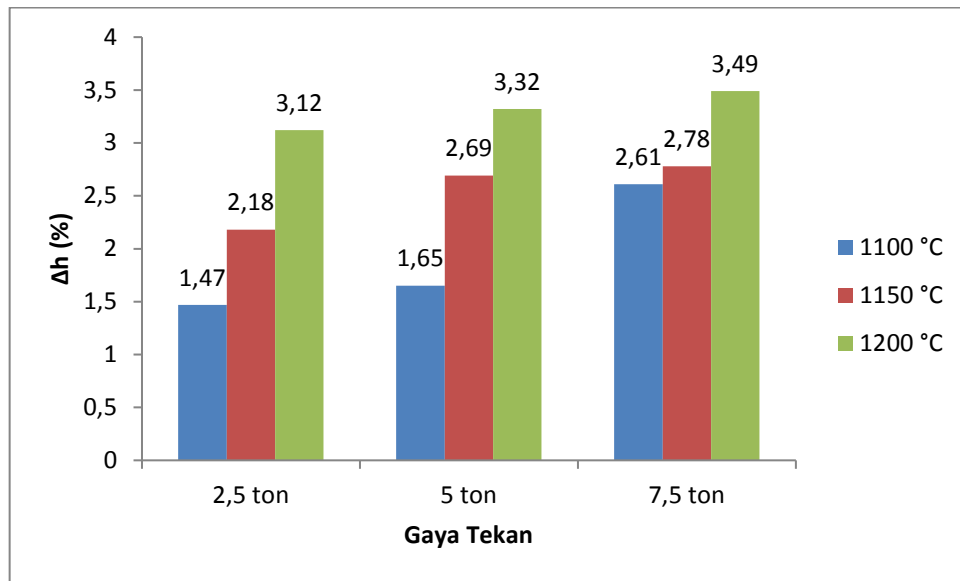
Nilai rata-rata penyusutan diameter tertinggi pada setiap perlakuan *sintering* diperoleh pada spesimen gaya tekan 7,5 ton. Pada spesimen dengan gaya tekan 7,5 ton yang diberi perlakuan *sintering* 1100 °C memiliki nilai penyusutan diameter sebesar 4,28%. Pada perlakuan *sintering* 1150 °C memiliki nilai penyusutan diameter sebesar 6,45%. Sementara pada perlakuan *sintering* 1200 °C memiliki nilai penyusutan diameter sebesar 7,44%. Pada gaya tekan 7,5 ton kenaikan rata-rata nilai penyusutan diameter yang terjadi seiring dengan naiknya temperatur *sintering* adalah sekitar 2,17-3,16%.

Hal ini mengindikasikan bahwa gaya tekan dan temperatur *sintering* mempengaruhi hasil penyusutan diameter. Semakin tinggi gaya tekan yang diberikan saat proses kompaksi maka penyusutan diameter akan semakin meningkat. Adapun semakin tinggi temperatur *sintering* yang diberikan maka penyusutan diameter yang terjadi juga akan semakin meningkat pula.

Tabel 4.14 Data Penyusutan Tinggi ( $\Delta h$ ) Spesimen  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$

Gaya Tekan (ton)	Temperatur <i>Sintering</i> (°C)	$\Delta h$ (%)			
		1	2	3	Rata-rata
2,5	1100	1,63	1,17	1,63	1,47
	1150	2,34	2,1	2,1	2,18
	1200	3,29	3,04	3,04	3,12
5	1100	1,65	1,41	1,91	1,65
	1150	2,14	3,11	2,83	2,69
	1200	3,3	3,32	3,32	3,32
7,5	1100	2,39	2,61	2,85	2,61
	1150	2,38	3,11	2,87	2,78
	1200	3,58	3,57	3,32	3,49

Data hasil pengujian penyusutan tinggi dapat disajikan dalam diagram batang sebagai berikut:



Gambar 4.2 Diagram Hasil Pengujian Penyusutan Tinggi BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>

Data hasil penelitian penyusutan diameter menunjukkan bahwa pada setiap variasi gaya tekan dan variasi temperatur *sintering* memiliki nilai penyusutan tinggi yang berbeda. Pada diagram terlihat adanya kenaikan yang cukup signifikan pada spesimen saat diberi perlakuan *sintering* temperatur 1100, 1150, dan 1200 °C. Hasil pengujian menunjukkan spesimen yang diberikan perlakuan gaya tekan 2,5 ton dan temperatur *sintering* 1100 °C memiliki nilai rata-rata penyusutan tinggi terkecil yaitu sebesar 1,47%. Sedangkan nilai rata-rata penyusutan tinggi terbesar dimiliki oleh spesimen dengan gaya tekan 7,5 ton dan temperatur *sintering* 1200 °C yaitu 3,49%.

Nilai rata-rata penyusutan tinggi terkecil pada setiap perlakuan *sintering* diperoleh pada spesimen gaya tekan 2,5 ton. Pada spesimen dengan gaya tekan 2,5 ton yang diberi perlakuan *sintering* 1100 °C memiliki nilai penyusutan tinggi sebesar 1,47%. Pada perlakuan *sintering* 1150 °C memiliki nilai penyusutan tinggi sebesar 2,18%. Sementara pada perlakuan *sintering* 1200 °C memiliki nilai



penyusutan tinggi sebesar 3,12%. Kenaikan rata-rata nilai penyusutan tinggi yang terjadi pada gaya tekan 2,5 ton seiring dengan naiknya temperatur *sintering* adalah sekitar 0,71-1,65%.

Pada spesimen dengan gaya tekan 5 ton yang diberi perlakuan *sintering* 1100 °C memiliki nilai penyusutan tinggi sebesar 1,65%. Pada perlakuan *sintering* 1150 °C memiliki nilai penyusutan tinggi sebesar 2,69%. Sementara pada perlakuan *sintering* 1200 °C memiliki nilai penyusutan tinggi sebesar 3,32%. Kenaikan rata-rata nilai penyusutan tinggi yang terjadi pada gaya tekan 5 ton seiring dengan naiknya temperatur *sintering* adalah sekitar 1,04-1,67%.

Nilai rata-rata penyusutan tinggi terbesar pada setiap perlakuan *sintering* diperoleh pada spesimen gaya tekan 7,5 ton. Pada spesimen dengan gaya tekan 7,5 ton yang diberi perlakuan *sintering* 1100 °C memiliki nilai penyusutan tinggi sebesar 2,61%. Pada perlakuan *sintering* 1150 °C memiliki nilai penyusutan tinggi sebesar 2,78%. Sementara pada perlakuan *sintering* 1200 °C memiliki nilai penyusutan tinggi sebesar 3,49%. Kenaikan rata-rata nilai penyusutan tinggi yang terjadi pada gaya tekan 7,5 ton seiring dengan naiknya temperatur *sintering* adalah sekitar 0,17-0,88%.

Hal ini mengindikasikan bahwa gaya tekan dan temperatur *sintering* mempengaruhi hasil penyusutan tinggi. Semakin tinggi gaya tekan yang diberikan saat proses kompaksi maka penyusutan tinggi spesimen akan semakin meningkat. Adapun semakin tinggi temperatur *sintering* yang diberikan maka penyusutan tinggi yang terjadi juga akan semakin meningkat pula.

Pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa hasil pengujian menunjukkan semakin tinggi gaya tekan dan temperatur *sintering* maka penyusutan spesimen akan semakin besar. Ini terjadi akibat proses difusi (transpot massa) atom antar partikel yang mengakibatkan tumbuhnya butir dan mengeliminasi pori-pori. Namun kecepatan penyusutan yang tinggi dapat berpengaruh pada karakteristik material hasil *sintering*, dimana distribusi temperatur *sintering* yang tidak merata dapat menimbulkan tegangan residu yang menjadi sumber retakan (Wismogroho, 2013:42).

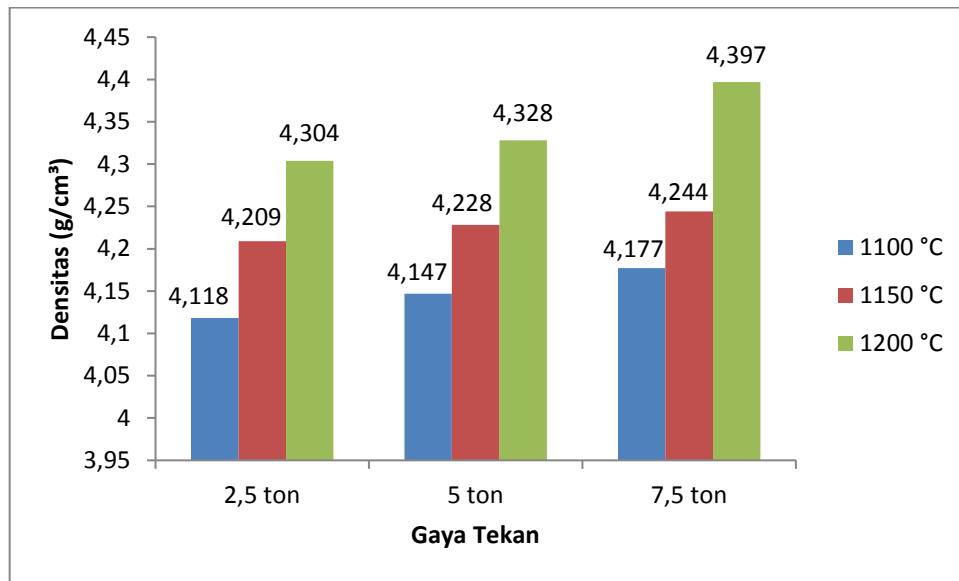
#### 4.2.2 Pengujian Densitas

Pengujian densitas ini dilakukan dengan perhitungan rumus *Archimedes*. Hasil dari pengujian densitas pada barium ferit ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ) yang dikompaksi dengan gaya tekan 2,5; 5; dan 7,5 ton kemudian di-*sintering* dengan temperatur 1100 °C, 1150 °C, dan 1200 °C dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Data Pengujian Densitas ( $\rho$ ) Spesimen  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$

Gaya Tekan (ton)	Temperatur <i>Sintering</i> (°C)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )			
		1	2	3	Rata-rata
2,5	1100	4,109	4,135	4,11	4,118
	1150	4,213	4,21	4,206	4,209
	1200	4,297	4,307	4,309	4,304
5	1100	4,129	4,145	4,168	4,147
	1150	4,229	4,23	4,226	4,228
	1200	4,344	4,314	4,326	4,328
7,5	1100	4,183	4,181	4,167	4,177
	1150	4,237	4,245	4,251	4,244
	1200	4,398	4,396	4,397	4,397

Data hasil pengujian densitas dapat disajikan dalam diagram batang sebagai berikut:



Gambar 4.3 Diagram Hasil Pengujian Densitas BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>

Data hasil penelitian densitas menunjukkan bahwa pada setiap variasi gaya tekan dan variasi temperatur *sintering* memiliki nilai densitas yang berbeda. Pada diagram terlihat adanya kenaikan yang cukup signifikan pada spesimen saat diberi perlakuan *sintering* temperatur 1100 °C - 1200 °C. Hasil pengujian menunjukkan spesimen yang diberikan perlakuan gaya tekan 2,5 ton dan temperatur *sintering* 1100 °C memiliki nilai rata-rata densitas terendah yaitu sebesar 4,118 g/cm<sup>3</sup>. Sedangkan nilai rata-rata densitas tertinggi dimiliki oleh spesimen dengan gaya tekan 7,5 ton dan temperatur *sintering* 1200 °C yaitu 4,397 g/cm<sup>3</sup>.

Nilai rata-rata densitas terendah pada setiap perlakuan *sintering* diperoleh pada spesimen gaya tekan 2,5 ton. Pada spesimen dengan tekanan kompaksi 2,5 ton yang diberi perlakuan *sintering* 1100 °C memiliki nilai densitas sebesar 4,118 g/cm<sup>3</sup>. Pada perlakuan *sintering* 1150 °C memiliki nilai densitas sebesar 4,209 g/cm<sup>3</sup>. Sementara pada perlakuan *sintering* 1200 °C memiliki nilai densitas sebesar 4,304

$\text{g/cm}^3$ . Kenaikan rata-rata nilai densitas yang terjadi pada gaya tekan 2,5 ton seiring dengan naiknya temperatur *sintering* adalah sekitar 0,091-0,186  $\text{g/cm}^3$ .

Pada spesimen dengan tekanan kompaksi 5 ton yang diberi perlakuan *sintering* 1100 °C memiliki nilai densitas sebesar 4,147  $\text{g/cm}^3$ . Pada perlakuan *sintering* 1150 °C memiliki nilai densitas sebesar 4,228  $\text{g/cm}^3$ . Sementara pada perlakuan *sintering* 1200 °C memiliki nilai densitas sebesar 4,328  $\text{g/cm}^3$ . Kenaikan rata-rata nilai densitas yang terjadi pada gaya tekan 5 ton seiring dengan naiknya temperatur *sintering* adalah sekitar 0,081-0,181  $\text{g/cm}^3$ .

Nilai rata-rata densitas tertinggi pada setiap perlakuan *sintering* diperoleh pada spesimen gaya tekan 7,5 ton. Pada spesimen dengan gaya tekan 7,5 ton yang diberi perlakuan *sintering* 1100 °C memiliki nilai densitas sebesar 4,177  $\text{g/cm}^3$ . Pada perlakuan *sintering* 1150 °C memiliki nilai densitas sebesar 4,244  $\text{g/cm}^3$ . Sementara pada perlakuan *sintering* 1200 °C memiliki nilai densitas sebesar 4,397  $\text{g/cm}^3$ . Kenaikan rata-rata nilai densitas yang terjadi pada gaya tekan 7,5 ton seiring dengan naiknya temperatur *sintering* adalah sekitar 0,067-0,220  $\text{g/cm}^3$ . Hal ini mengindikasikan bahwa gaya tekan dan temperatur *sintering* mempengaruhi nilai densitas bahan.

Pada Gambar 4.3 dapat diamati bahwa spesimen yang mendapat perlakuan gaya tekan dan temperatur *sintering* yang berbeda akan menghasilkan nilai densitas yang berbeda-beda. Hasil pengujian menunjukkan semakin tinggi gaya tekan dan temperatur *sintering* maka densitas spesimen akan semakin meningkat. Hal ini terjadi akibat terjadinya pertumbuhan butir partikel selama proses *sintering* (Idayanti, *et al.*, 2002:32). Peningkatan nilai densitas ini disebabkan oleh kerapatan

antar partikel setelah dilakukan proses *sintering* (Upadhaya, 2002). Pada dasarnya, kerapatan juga dipengaruhi oleh proses kompaksi yang diberikan. Semakin besar gaya tekan yang diberikan, maka ikatan butiran antar partikel juga akan menjadi kuat dan jarak antar partikelpun menjadi sempit atau rapat (Jayanti, *et al.*, 2013:28).

Dibandingkan penelitian sebelumnya (Xu, *et al.*, 2007) yang menghasilkan densitas tertinggi  $5,2817 \text{ g/cm}^3$ , menunjukkan bahwa nilai densitas pada penelitian ini lebih kecil dari penelitian sebelumnya. Hasil penelitian ini juga belum bisa menyamai densitas magnet barium ferit di pasaran yang diproduksi oleh ChengYang Technologies Ltd yaitu sebesar  $4,8-4,9 \text{ g/cm}^3$ . Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi nilai denitas antara lain kemurnian bahan baku, ukuran tiap-tiap partikel, homogenitas campuran bahan, dan proses *sintering* (Billah, 2006:31).

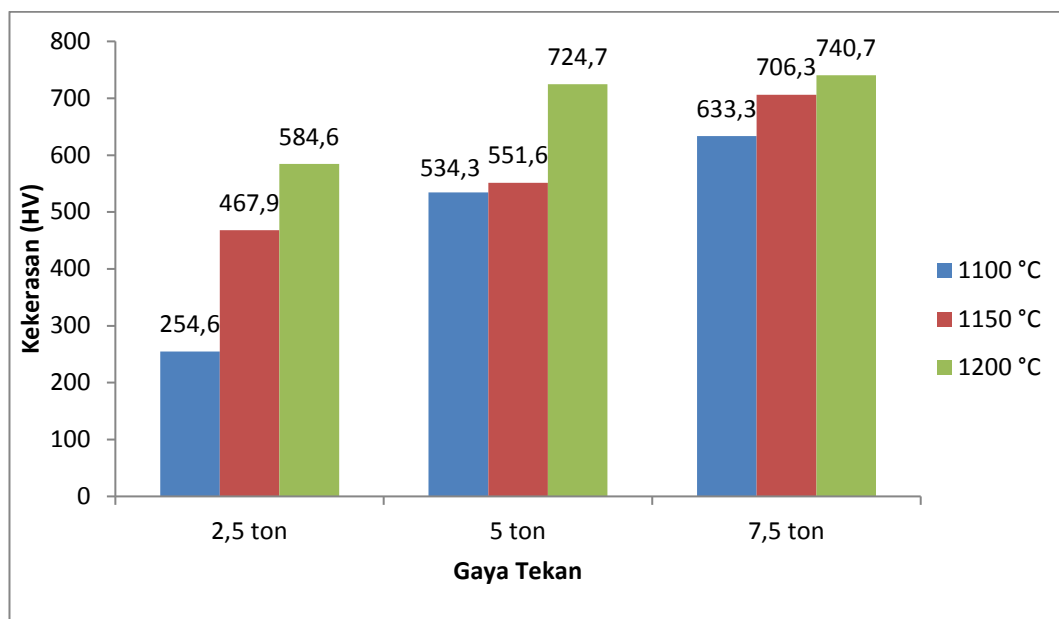
#### 4.2.3 Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan berfungsi untuk mengetahui kekuatan spesimen setelah diberikan tekanan oleh indenter. Alat yang digunakan untuk pengujian kekerasan berupa alat uji *microhardness* FM-800 dengan pembebanan sebesar  $100 \text{ gf}$  yang ditahan selama 10 detik. Hasil dari pengujian kekerasan pada barium ferit ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ) yang di kompaksi dengan gaya tekan 2,5; 5; dan 7,5 ton kemudian di-*sintering* dengan temperatur  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ , dan  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$  dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Data Pengujian Kekerasan Spesimen BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>

Gaya Tekan (ton)	Temperatur Sintering (°C)	HV			
		1	2	3	Rata-rata
2,5	1100	262,3	275,6	225,9	254,6
	1150	471,8	445	487	467,9
	1200	588,6	592,9	572,4	584,6
5	1100	562	524,7	516,4	534,3
	1150	566,4	530,3	558,3	551,6
	1200	715,4	726,7	732,2	724,7
7,5	1100	659	646,3	594,6	633,3
	1150	706,2	712,3	700,6	706,3
	1200	749,5	734,5	738,2	740,7

Data hasil pengujian kekerasan dapat disajikan dalam diagram batang sebagai berikut:

Gambar 4.4 Diagram Hasil Pengujian Kekerasan BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>

Data hasil penelitian uji kekerasan menunjukkan bahwa pada setiap variasi gaya tekan dan variasi temperatur *sintering* memiliki nilai kekerasan yang berbeda. Pada diagram terlihat adanya kenaikan yang cukup signifikan pada spesimen saat diberi perlakuan *sintering* temperatur 1100, 1150, dan 1200 °C. Hasil pengujian

menunjukkan spesimen yang diberikan perlakuan gaya tekan 2,5 ton dan temperatur *sintering* 1100 °C memiliki nilai rata-rata uji kekerasan terendah yaitu sebesar 254,6 HV. Sedangkan nilai rata-rata uji kekerasan tertinggi dimiliki oleh spesimen dengan gaya tekan 7,5 ton dan temperatur *sintering* 1200 °C yaitu 740,7 HV.

Nilai rata-rata uji kekerasan terendah pada setiap perlakuan *sintering* diperoleh pada spesimen gaya tekan 2,5 ton. Pada spesimen dengan gaya tekan 2,5 ton yang diberi perlakuan *sintering* 1100 °C memiliki nilai uji kekerasan sebesar 254,6 HV. Pada perlakuan *sintering* 1150 °C memiliki nilai uji kekerasan sebesar 467,9 HV. Sementara pada perlakuan *sintering* 1200 °C memiliki nilai uji kekerasan sebesar 584,6 HV. Kenaikan rata-rata nilai uji kekerasan yang terjadi pada gaya tekan 2,5 ton seiring dengan naiknya temperatur *sintering* adalah sekitar 116,7-339 HV.

Pada spesimen dengan gaya tekan 5 ton yang diberi perlakuan *sintering* 1100 °C memiliki nilai uji kekerasan sebesar 534,3 HV. Pada perlakuan *sintering* 1150 °C memiliki nilai uji kekerasan sebesar 551,6 HV. Sementara pada perlakuan *sintering* 1200 °C memiliki nilai uji kekerasan sebesar 724,7 HV. Kenaikan rata-rata nilai uji kekerasan yang terjadi pada gaya tekan 5 ton seiring dengan naiknya temperatur *sintering* adalah sekitar 17,3-193,4 HV.

Nilai rata-rata uji kekerasan tertinggi pada setiap perlakuan *sintering* diperoleh pada spesimen gaya tekan 7,5 ton. Pada spesimen dengan gaya tekan 7,5 ton yang diberi perlakuan *sintering* 1100 °C memiliki nilai uji kekerasan sebesar 633,3 HV. Pada perlakuan *sintering* 1150 °C memiliki nilai uji kekerasan sebesar 706,3 HV. Sementara pada perlakuan *sintering* 1200 °C memiliki nilai uji kekerasan sebesar 740,7. Kenaikan rata-rata nilai uji kekerasan yang terjadi pada gaya tekan 7,5 ton

seiring dengan naiknya temperatur *sintering* adalah sekitar 34,4-107,4 HV . Hal ini mengindikasikan bahwa gaya tekan dan temperatur sintering mempengaruhi hasil kekerasan.

Tekanan kompaksi dapat mempengaruhi karakteristik magnetik, densitas, dan kekerasan barium ferit (Kristiantoro, *et al.*, 2019). Secara teori apabila gaya tekan semakin besar maka akan menyebabkan terjadinya kenaikan pada nilai kekerasan. Hal ini dikarenakan semakin tinggi pembebanan kompaksi yang diberikan pada spesimen maka ikatan butiran partikel bahan menjadi semakin kuat sehingga jarak antar partikel menjadi semakin rapat atau semakin kecil. Jika butiran partikel semakin rapat, maka pada saat proses *sintering* partikel - partikel tersebut akan semakin mudah untuk berikatan sehingga dapat meningkatkan nilai kekerasan bahan. Nilai kekerasan yang tidak sama pada spesimen dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain pencampuran komposisi yang kurang baik, besar partikel yang belum seragam, dan temperatur *sintering* yang terlalu tinggi atau rendah.

Dibandingkan penelitian Kristiantoro, *et al.* (2019) yang mendapatkan nilai kekerasan 42.5 HRc atau sekitar 420 HV pada tekanan kompaksi 6 tons/cm<sup>2</sup> yang disintering 1250 °C, maka hasil yang didapat pada penelitian ini lebih besar. Jika dibandingkan dengan nilai kekerasan magnet barium ferit yang diproduksi oleh ChengYang Technologies yaitu sebesar 480-580 HV, maka hasil uji kekerasan yang didapat pada penelitian ini juga sudah sesuai dengan yang diharapkan.



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan diantaranya sebagai berikut:

1. Gaya tekan dan temperatur *sintering* mempengaruhi sifat fisik bahan dasar magnet barium ferit berbasis pasir besi. Semakin tinggi gaya tekan dan temperatur *sintering* maka nilai penyusutan dan densitas material akan semakin meningkat. Sifat fisik tertinggi terdapat pada barium ferit dengan perlakuan gaya tekan 7,5 ton dan temperatur *sintering* 1200 °C yaitu dengan penyusutan diameter sebesar 7,44%, penyusutan tinggi sebesar 3,49%, dan nilai densitas sebesar 4,397 g/cm<sup>3</sup>.
2. Gaya tekan dan temperatur *sintering* mempengaruhi kekerasan bahan dasar magnet barium ferit berbasis pasir besi. Semakin tinggi gaya tekan dan temperatur *sintering* maka nilai kekerasan material akan semakin meningkat. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada barium ferit dengan gaya tekan 7,5 ton dan temperatur *sintering* 1200 °C yaitu sebesar 740,7 HV.

#### **5.2 Saran**

1. Untuk menghasilkan sifat fisik dan kekerasan yang terbaik pada penelitian ini direkomendasikan menggunakan gaya tekan 7,5 ton dan temperatur *sintering* 1200 °C.

2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang variasi tekanan kompaksi dan temperatur *sintering* yang lebih tinggi atau lebih rendah dari penelitian ini untuk menghasilkan sifat fisik dan kekerasan yang lebih baik.
3. Perlu adanya penelitian lain tentang lamanya waktu pencampuran saat proses *milling* dan waktu *sintering* agar didapatkan hasil yang lebih lengkap.
4. Disarankan melakukan penelitian lanjutan pada penelitian ini untuk mengetahui sifat bahan yang lain seperti porositas, kekuatan bending, kekuatan *impact*, dan sifat magnetik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aji, M. P., A. Yulianto, dan S. Bijaksana. 2007. Sintesis Nano Partikel Magnetit, Megamit, dan Hematit dari Bahan Lokal. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. Edisi Khusus: 106-108.
- Ali, A., P. Baumli, dan G. Mucsi. 2015. Mechanical Alloying and Milling. *Conference: MultiScience-XXIX*. Micro CAD International Multidisciplinary Scientific Conference. Miskolc. 17 Januari.
- Billah, A. 2006. Pembuatan dan Karakterisasi Magnet Stronsium Ferit dengan Bahan Dasar Pasir Besi. *Skripsi*. Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Callister, W. D. dan D. G. Rethwisch. 2009. *Materials Science and Engineering an Introduction*. 8th edition. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Carter, C. B. dan M. G. Norton. 2007. *Ceramic Materials*. 1st edition. Rusia: Springer
- Cullity, B. D. dan C. D. Graham. 2009. *Intrduction to Magnetic Materials*. 2nd edition. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Dieter, E. G. 1961. *Mechanical Metallurgy*. 1st edition. United States of America: Mc Graw-Hill Book Company.
- Dowling, N. E. 2013. *Mechanical Behaviour of Materials*. 4th edition. England: Pearson Education Limited.
- Dunlop, J. D. dan O. Ozdemir. 1997. *Rock Magnetism*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Halliday, D., R. Resnick, dan K. S. Krane. 1992. *Physics*. 4th edition. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Hilman, P. M., S. J. Suprpto., D. N. Sunuhadi., A. Tampubolon., R. Wahyuningsih., D. Widhyatna., *et al.* 2014. *Pasir Besi di Indonesia Geologi, Eksplorasi dan Pemanfaatannya*. Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi – Badan Geologi Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Jayanti, N. D., A. Yulianto, dan Sulhadi. 2013. Fabrikasi Magnet Komposit Berbahan Dasar Magnet Daur Ulang dengan Pengikat Cult. *Unnes Physics Jurnal* 2(1): 24-29.
- King, A. G. 2002. *Ceramic Technology and Processing*. New York: Noyes Publications.

- Kristiantoro, Idayanti, Dedi, Sudrajat, Mulyadi, dan Gustinova. 2019. Influence of Compaction Pressure on Magnetic Characteristics, Density, and Hardness of Barium Hexaferrite. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 620 012106.
- Moosa, I. S. 2013. Powder Metallurgy and its Applications in the Production of Permanent Magnets. *International journal of Advanced Research in Engeneering and Technology* 4(6): 127-141
- Mukhlisin, I. 2013. Pembuatan dan Karakterisasi Magnet Komposit Ferit dengan Bahan Pengikat Resin. *Skripsi*. Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Ozgur, U., Y. Alivov, dan H. Morkoc. 2009. Microwaves Ferrites, part 1: Fundamentals Properties. *Jurnal of Material Science: Materials in Electronics* 20(1). 789-384.
- Rusianto, T. 2016. Pengembangan Magnet Permanen dari Partikel Nano Magnetit yang Disintesis dari Pasir Besi Pantai Selatan Yogyakarta. *Disertasi*. Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Sardjono, P., C. Kurniawan, P. Sebayang, dan Muljadi. 2012. *Aplikasi Magnet Permanen di Indonesia: Data Pasar dan Pengembangan Material Magnet*. Seminar Nasional Ilmu Pengetahuan Teknik. Tangerang Selatan. 28-29 November 2012.
- Setiawan, B. 2020. Pengaruh Proses Pemurnian Secara Mekanik dan Kimia Pasir Besi Terhadap Sifat Fisik dan Magnetik Bahan Dasar Magnet Permanen Barium Ferit. *Skripsi*. Jurusan Mesin Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Simbolon, S., A. P. Tetuko, P. Sebayang, K. Sebayang, dan H. Ginting. 2013. *Sintesis dan Karakterisasi Barium M-Heksaferit dengan Doping Ion Mn dan Temperatur Sintering*. Seminar dan Focus Group Discussion Material Maju: Magnet dan Aplikasinya. Solo. 25-27 Juni.
- Sufiandi, D. 2011. Konsentrasi Pasir Besi Titan dari Pengotornya dengan Cara Magnetik. *Majalah Metalurgi* 26: 15-20.
- Sugiyono. 2016. *Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D)*. Bandung: Alfabeta.
- Suryanarayana, C., E. Ivanov, dan V. V. Boldyrev. 2001. The Science and Technology of Mechanical Alloying. *Materials Science and Engineering A* 304(1): 151-158.
- Upadhyaya, G. S. 2002. *Powder Metallurgy Technology*. 1st edition. England: Cambridge International Science.
- Wibowo, A. 2016. Analisis Sifat Mekanis Komposit Barium Hexaferrit dengan Penguat Silika. *Jurnal Integrasi* 8(2): 29-33.

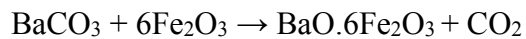
- Wicaksono, R, A. Yulianto, dan Sulhadi. 2013. Pembuatan dan Karakterisasi Magnet Komposit Berbahan Dasar Barium Ferit dengan Pengikat Karet Alam. *Jurnal Sains Dasar* 2(1): 79-84.
- Wismogroho, A. S. 2013. Pengembangan Dilatometer Untuk Analisa Karakteristik Sintering Magnet Berbasis Ferrite. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVII HFI Jateng & DIY*. Solo. 0823-0853.
- Xu, Ping., X. Han., H. Zhao., Z. Liang., J. Wang. 2007. Effect of Stoichiometry on the Phase Formation and Magnetic Properties of BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> Nanoparticles by Reverse Micelle Technique. *Materials Letters* (62): 1305-1308.
- Yulianto, A., S. Bijaksana, W. Loeksmanto, dan D. Kurnia. 2003. Produksi Hematit ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dari Pasir Besi: Pemanfaatan Potensi Alam Sebagai Bahan Industri Berbasis Sifat Kemagnetan. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 5(1): 51-54

## LAMPIRAN

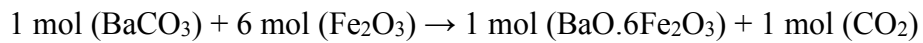
### Lampiran 1. Perhitungan *Stoichiometry*

- a) Perhitungan reaksi kimia untuk pembuatan BaO<sub>6</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Rumus:



Atau



- b) Perhitungan:

Elemen	Ar
Ba	137,327
Fe	55,845
C	12,011
O	15,999
CO <sub>2</sub>	44,009

- Oksida (BaCO<sub>3</sub>)

$$\begin{array}{rcll} \text{Ba} & = & 137,327 \times 1 & = 137,327 \\ \text{C} & = & 12,011 \times 1 & = 12,011 \\ \text{O}_3 & = & 15,999 \times 3 & = 47,997 & + \\ \hline \text{Masa 1 mol (BaCO}_3) & & & = 197,335 \text{ gram} \end{array}$$

- Oksida (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

$$\begin{array}{rcll} \text{Fe} & = & 55,845 \times 2 & = 111,69 \\ \text{O}_3 & = & 15,999 \times 3 & = 47,997 & + \\ \hline \text{Masa 1 mol (Fe}_2\text{O}_3) & & & = 159,687 \text{ gram} \\ \text{Masa 6 mol (Fe}_2\text{O}_3) & & & = 6 \times 159,687 = 958,122 \text{ gram} \end{array}$$

c) Perhitungan :

Oksida	Mr
BaCO <sub>3</sub>	197,335
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	159,687

- Oksida (BaO6Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Ba} & = & 137,327 \\
 \text{O} & = & 15,999 \\
 6 \times \text{Fe}_2\text{O}_3 & = & 958,122 \quad + \\
 \hline
 \text{Massa BaO6Fe}_2\text{O}_3 & = & 1111,448 \text{ gram}
 \end{array}$$

- Oksida (CO<sub>2</sub>)

$$\begin{array}{rcl}
 \text{C} & = & 12,011 \times 1 \quad = 12,011 \\
 \text{O}_2 & = & 15,999 \times 2 \quad = 31,998 \quad + \\
 \hline
 \text{Massa CO}_2 & = & 44,009 \text{ gram}
 \end{array}$$

Oksida	Mr (gram)
BaO6Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1111,448

d) Jika spesimen direncanakan memiliki berat 10 gram maka:

$$\begin{array}{l}
 \text{Berat (Ba)} = \frac{1 \times Ar Ba}{Mr \text{ Senyawa}} \times 10 \text{ gr} \\
 = \frac{1 \times 137,327}{1111,448} \times 10 \text{ gr} \\
 = 1,23556838 \text{ gr}
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{l}
 \% \text{ (Ba)} = \frac{1 \times Ar Ba}{Mr \text{ Senyawa}} \times 100 \% \\
 = \frac{1 \times 137,327}{1111,448} \times 100 \% \\
 = 12,3556838 \%
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \text{Berat (Fe)} = \frac{12 \times Ar Fe}{Mr \text{ Senyawa}} \times 10 \text{ gr} \\
 = \frac{12 \times 55,845}{1111,448} \times 10 \text{ gr} \\
 = 6,02943187 \text{ gr}
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{l}
 \% \text{ (Fe)} = \frac{12 \times Ar Fe}{Mr \text{ Senyawa}} \times 100\% \\
 = \frac{12 \times 55,845}{1111,448} \times 100 \% \\
 = 60,2943187 \%
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \text{Berat (O)} = \frac{19 \times Ar O}{Mr \text{ Senyawa}} \times 10 \text{ gr} \\
 = \frac{19 \times 15,999}{1111,448} \times 10 \text{ gr} \\
 = 2,73499975 \text{ gr}
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{l}
 \% \text{ (O)} = \frac{19 \times Ar O}{Mr \text{ Senyawa}} \times 100 \% \\
 = \frac{19 \times 15,999}{1111,448} \times 100 \% \\
 = 27,3499975 \%
 \end{array}$$

e) Perhitungan :

Elemen	Berat (gr)	Berat (%)
Ba	1,23556838	12,3556838
Fe	6,02943187	60,2943187
O	2,73499975	27,3499975
Total	10	100

f) Pengecekan perhitungan :

$$\text{Berat Ba} = \frac{\% \text{Ba}}{100} \times 10 \text{ gr} = \frac{12,3556838}{100} \times 10 \text{ gr} = 1,23556838 \text{ gr}$$

g) Persentase komponen dalam  $\text{BaCO}_3$

$$\text{Ba (\%)} = \frac{Ar \text{ Ba}}{Mr \text{ BaCO}_3} = \frac{137,327}{197,335} = 0,695907$$

$$\text{C (\%)} = \frac{Ar \text{ C}}{Mr \text{ BaCO}_3} = \frac{12,011}{197,335} = 0,060866$$

$$\text{O (\%)} = \frac{3 \times Ar \text{ O}}{Mr \text{ BaCO}_3} = \frac{3 \times 15,999}{197,335} = 0,2432259863$$

h) Persentase komponen dalam  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

$$\text{Fe (\%)} = \frac{2 \times Ar \text{ Fe}}{Mr \text{ Fe}_2\text{O}_3} = \frac{2 \times 55,845}{159,685} = 0,69943$$

$$\text{O (\%)} = \frac{3 \times Ar \text{ O}}{Mr \text{ Fe}_2\text{O}_3} = \frac{3 \times 15,999}{159,687} = 0,300569$$

i) Berat  $\text{BaCO}_3$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dalam  $\text{BaO} \cdot 6 \text{Fe}_2\text{O}_3$

$$\text{Berat BaCO}_3 = \frac{\text{berat Ba}}{\text{Ba (\%)}} = \frac{1,23556838}{0,695907} = 1,77547917 \text{ gram}$$

$$\text{Berat Fe}_2\text{O}_3 = \frac{\text{berat Fe}}{\text{Fe (\%)}} = \frac{6,02943187}{0,69943} = 8,62049364 \text{ gram}$$

j) Berat  $\text{CO}_2$  dalam  $\text{BaCO}_3$

$$\begin{aligned} \text{Berat CO}_2 &= \frac{Ar \text{ CO}_2}{Mr \text{ BaCO}_3} \times \text{berat BaCO}_3 \\ &= \frac{44,009}{197,335} \times 1,77547917 \\ &= 0,3959615 \end{aligned}$$



## Lampiran 2. Tekanan Kompaksi

1. Tekanan pada permukaan spesimen (jari-jari spesimen,  $r = 1$  cm)

- Gaya tekan 2,5 ton

$$P = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi \cdot r^2} = \frac{2,5}{3,14 \times 1^2} = 0,796178 \text{ ton/cm}^2 = 796,178 \text{ kg/cm}^2$$

- Gaya tekan 5 ton

$$P = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi \cdot r^2} = \frac{5}{3,14 \times 1^2} = 1,592356 \text{ ton/cm}^2 = 1592,356 \text{ kg/cm}^2$$

- Gaya tekan 7,5 ton

$$P = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi \cdot r^2} = \frac{7,5}{3,14 \times 1^2} = 2,388535 \text{ ton/cm}^2 = 2388,535 \text{ kg/cm}^2$$

2. Tekanan pada manometer alat *press* (jari-jari piston alat *press*,  $r = 5$  cm)

- Gaya tekan 2,5 ton

$$P = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi \cdot r^2} = \frac{2,5}{3,14 \times 5^2} = 0,031847 \text{ ton/cm}^2 = 31,847 \text{ kg/cm}^2$$

- Gaya tekan 5 ton

$$P = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi \cdot r^2} = \frac{5}{3,14 \times 5^2} = 0,063694 \text{ ton/cm}^2 = 63,694 \text{ kg/cm}^2$$

- Gaya tekan 7,5 ton

$$P = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi \cdot r^2} = \frac{7,5}{3,14 \times 5^2} = 0,095541 \text{ ton/cm}^2 = 95,541 \text{ kg/cm}^2$$

## Lampiran 3. Pengujian Kekerasan Vickers Variasi temperatur 1100 °C

01 P= 100gf d1= 26.68 d2= 26.50 HV=262.  
3  
02 P= 100gf d1= 15.82 d2= 15.23 HV=769.  
4  
03 P= 100gf d1= 27.12 d2= 24.76 HV=275.  
6  
04 P= 100gf d1= 27.36 d2= 29.94 HV=225.  
9  
05 P= 100gf d1= 26.92 d2= 36.34 HV=185.  
4

## Gaya Tekan 2.5 Ton

06 P= 100gf d1= 19.80 d2= 16.53 HV=562.  
0  
07 P= 100gf d1= 26.99 d2= 31.54 HV=216.  
5  
08 P= 100gf d1= 17.02 d2= 20.88 HV=516.  
4  
09 P= 100gf d1= 17.41 d2= 17.41 HV=611.  
8  
10 P= 100gf d1= 17.62 d2= 19.98 HV=524.  
7

## Gaya Tekan 5 Ton

11 P= 100gf d1= 17.66 d2= 17.66 HV=594.  
6  
12 P= 100gf d1= 16.94 d2= 16.94 HV=646.  
3  
13 P= 100gf d1= 15.49 d2= 13.30 HV=895.  
0  
14 P= 100gf d1= 16.59 d2= 16.96 HV=659.  
0  
15 P= 100gf d1= 19.37 d2= 19.37 HV=494.  
3

## Gaya Tekan 7.5 Ton

## Lampiran 4. Pengujian Kekerasan Vickers Variasi temperatur 1150 °C

01 P= 100gf d1= 19.71 d2= 21.12 HV=445.  
0  
02 P= 100gf d1= 19.22 d2= 18.70 HV=515.  
9  
03 P= 100gf d1= 18.84 d2= 20.81 HV=471.  
8  
04 P= 100gf d1= 18.88 d2= 20.15 HV=487.  
0  
05 P= 100gf d1= 19.22 d2= 18.70 HV=515.  
9

## Gaya Tekan 2.5 Ton

06 P= 100gf d1= 19.08 d2= 17.11 HV=566.  
4  
07 P= 100gf d1= 17.59 d2= 19.81 HV=530.  
3  
08 P= 100gf d1= 19.72 d2= 23.23 HV=402.  
1  
09 P= 100gf d1= 16.39 d2= 20.06 HV=558.  
3  
10 P= 100gf d1= 20.76 d2= 27.90 HV=313.  
3

## Gaya Tekan 5 Ton

11 P= 100gf d1= 14.87 d2= 17.54 HV=706.  
2  
12 P= 100gf d1= 15.54 d2= 16.73 HV=712.  
3  
13 P= 100gf d1= 16.27 d2= 16.27 HV=700.  
6  
14 P= 100gf d1= 14.45 d2= 14.19 HV=904.  
4  
15 P= 100gf d1= 16.37 d2= 17.32 HV=653.  
6

## Gaya Tekan 7.5 Ton

## Lampiran 5. Pengujian Kekerasan Vickers Variasi temperatur 1200 °C

01 P= 100gf d1= 17.91 d2= 17.46 HV=592.  
9  
02 P= 100gf d1= 18.68 d2= 17.32 HV=572.  
4  
03 P= 100gf d1= 17.59 d2= 17.91 HV=588.  
6  
04 P= 100gf d1= 14.58 d2= 13.95 HV=911.  
3  
05 P= 100gf d1= 16.40 d2= 17.45 HV=647.  
4

## Gaya Tekan 2.5 Ton

06 P= 100gf d1= 16.64 d2= 17.77 HV=626.  
5  
07 P= 100gf d1= 16.34 d2= 15.61 HV=726.  
7  
08 P= 100gf d1= 14.83 d2= 17.00 HV=732.  
2  
09 P= 100gf d1= 16.31 d2= 15.89 HV=715.  
4  
10 P= 100gf d1= 15.12 d2= 16.34 HV=749.  
5

## Gaya Tekan 5 Ton

11 P= 100gf d1= 15.12 d2= 16.34 HV=749.  
5  
12 P= 100gf d1= 15.89 d2= 15.89 HV=734.  
5  
13 P= 100gf d1= 15.85 d2= 15.85 HV=738.  
2  
14 P= 100gf d1= 15.85 d2= 15.56 HV=751.  
9  
15 P= 100gf d1= 15.57 d2= 15.57 HV=765.  
0

## Gaya Tekan 7.5 Ton

## 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- 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 <sup>3</sup> )	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. Usulan Dosen Pembimbing



KEMENTERIAN RISTEK DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN

Gedung E9 Lt 2, Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229  
Telepon: 024 8508101  
Laman: mesin.unnes.ac.id, surel: teknik.mesin@mail.unnes.ac.id

1134

Nomor : 409/UN371.5-2 /DT 12018  
Lamp. :  
Hal : Usulan Pembimbing

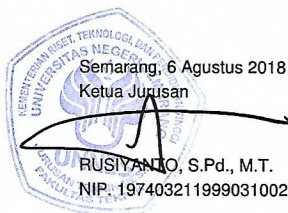
Yth. Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Negeri Semarang

Merujuk Keputusan Rektor Unnes Nomor 164/O/2004 tentang Pedoman Penyusunan Skripsi Mahasiswa Program S1 pasal 7 mengenai penentuan pembimbing, dengan ini saya usulkan

Nama : Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, ST, MT, IPP.  
NIP : 197509272006041002  
Pangkat/Golongan : III/d  
Jabatan Akademik : Lektor  
Sebagai Dosen Pembimbing

Dalam penyusunan Skripsi/Tugas Akhir untuk mahasiswa

Nama : RIFKI IMANUDIN ILHAM  
NIM : 5212413060  
Program Studi : Teknik Mesin, S1  
Topik : Pembuatan Magnet  
Untuk itu, mohon diterbitkan surat penetapannya.



## Lampiran 8. Surat Penetapan Dosen Pembimbing



**KEPUTUSAN  
DEKAN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
Nomor: 1134 / FT - UNNES / 2018**

**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 (Tambahan 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 6 Agustus 2018

**MEMUTUSKAN**

- Menetapkan :
- PERTAMA : Menunjuk dan menugaskan kepada:
- Nama : Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, ST, MT, IPP.  
NIP : 197509272006041002  
Pangkat/Golongan : III/d  
Jabatan Akademik : Lektor  
Sebagai Pembimbing
- Untuk membimbing mahasiswa penyusun skripsi/Tugas Akhir :
- Nama : RIFKI IMANUDIN ILHAM  
NIM : 5212413060  
Jurusan/Prodi : Teknik Mesin/Teknik Mesin  
Topik : Pembuatan Magnet
- KEDUA : Keputusan ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan.

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



5212413060

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

## Lampiran 9. Surat Tugas Dosen Pembimbing dan Penguji



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
 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](mailto:ft@mail.unnes.ac.id)

**SURAT TUGAS**

Nomor : 13909 /UN37.1.5/KM/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:

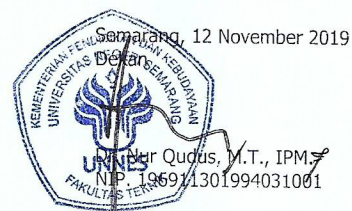
No	Nama / NIP	Pangkat / Golru	Tugas
1	Rusiyanto, S.Pd., M.T. 197403211999031002	Penata Tk. I, III/d	Penguji 1
2	Samsudin Anis, S.T., M.T., P.hD. 197601012003121002	Penata Tk. I, III/d	Penguji 2
3	Dr. Ir. Rahmat Doni W, S.T., M.T., IPP. 197509272006041002	Penata Tk. I, III/d	Pembimbing

untuk menguji mahasiswa :

Nama : Rifki Imanudin  
 NIM : 5212413060  
 Prodi : S1 Teknik Mesin  
 Topik : PENGARUH TEKANAN KOMPAKSI DAN TEMPERATUR SINTERINGTERHADAP SIFAT FISIS DAN KEKERASAN MAGNET BARIUM FERIT BERBASIS PASIR BESI

Waktu : Jumat, 15 November 2019  
 Jam : 13.00 WIB - Selesai  
 Tempat : Gedung E9, Ruang Seminar, Lantai 2  
 Pakaian : Hitam Putih Jas Almamater

Demikian agar tugas dilaksanakan dengan sebaik-baiknya.



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



## Lampiran 10. Berita Acara Seminar Proposal

## BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI

Proposal skripsi mahasiswa:

Nama : Rifki Imanudin Ilham  
 NIM : 5212413060  
 Prodi : Teknik Mesin S1  
 Judul Skripsi : Pengaruh Tekanan Kompaksi dan Temperatur *Sintering* terhadap Sifat Fisis dan Kekerasan Magnet Barium Ferit Berbasis Pasir Besi

telah diseminarkan pada

Hari, tanggal : Jum'at, 15 November 2019  
 Pukul : 13.00 WIB  
 Tempat : Ruang Seminar (E9 Lt.2)  
 Jumlah Dosen Hadir : ...<sup>2</sup>... orang  
 Jumlah Mhs Hadir : ...<sup>12</sup>... orang

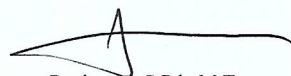
Kesimpulan hasil seminar: Proposal tidak direvisi / ~~Proposal direvisi~~\*)

Catatan hasil seminar (wajib diisi):

- Ditambah karakteristik magnet  
 - Data fisis

Semarang.....

Dosen Penguji 1



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

Dosen Penguji 2



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

Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T., IPP.  
 NIP. 19750927006041002

## Lampiran 11. 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. : 4550/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. Pengujl : 1. RUSIYANTO, S. Pd., M. T.  
: 2. Samsudin Anis, S. T., M. T., Ph. D.

II. Calon yang diuji:

Nama : RIFKI IMANUDIN ILHAM  
NIM/Jurusan/Program Studi : 5212413060/Teknik Mesin  
/Teknik Mesin, S1  
Judul Skripsi : Pengaruh tekanan kompaksi dan temperatur sintering terhadap sifat fisik dan kekerasan magnet barium ferrit berbasis pasir besi

III. Waktu dan Tempat Ujian:

Hari/Tanggal : Selasa / 9 Juni 2020  
Jam : 09:00:00  
Tempat : daring  
Pakaian : Atas putih, bawah hitam berjas almamater

Semarang, 4 Juni 2020  
Dekan,



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

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



5212413060



Pasir besi pantai Purworejo



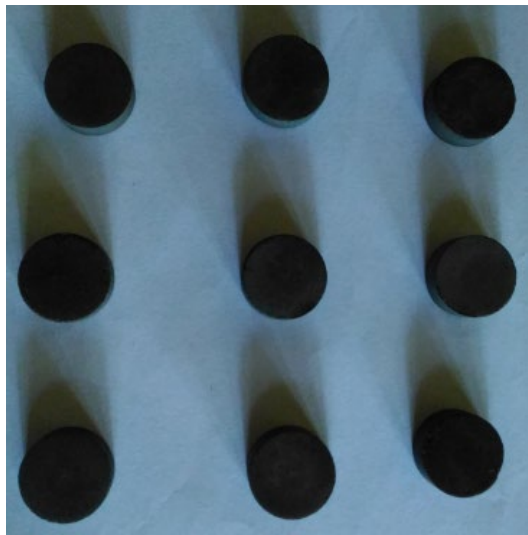
Pasir besi 35 kali ekstraksi manual



Barium karbonat 98%



Spesimen hasil kompaksi



Barium ferit



Uji densitas