



**FABRIKASI DAN KARAKTERISASI SIFAT MEKANIK  
KACA MAGNETIK BERBASIS BARIUM FERIT**

**SKRIPSI**

**Di susun dalam rangka penyelesaian Studi Strata 1  
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains**

**Oleh**

**LILIK HADI KHOLILUL ROHMAN**

**4250403018**

**PERPUSTAKAAN  
UNNES**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

**2010**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi ini telah disetujui pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas negeri Semarang.

Semarang, 20 Juli 2010

Pembimbing I

Pembimbing II

**Dr. Agus Yulianto, M.Si**  
NIP 196607051990031002

**Dr. Sulhadi, M.Si**  
NIP 197108161998021001



## PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

**Fabrikasi dan Karakterisasi Sifat Mekanik Kaca Magnetik Berbasis Barium Ferit**

Disusun oleh

Nama : Lilik Hadi Kholilul Rohman

NIM : 4250403018

telah dipertahankan dihadapan sidang panitia ujian skripsi FMIPA Unnes pada tanggal 10 Agustus 2010

Panitia :

Ketua

Sekretaris

**Dr. Kasmadi Imam Supardi, M.S**  
NIP. 19511115 197903 1 001

**Dr. Putut Marwoto, M.S**  
NIP. 19630821 198803 1 004

Ketua Penguji

**Dr. Putut Marwoto, M.S**  
NIP. 19630821 198803 1 004

Anggota Penguji/  
Pembimbing Utama

Anggota Penguji/  
Pembimbing Pendamping

**Dr. Agus Yulianto, M.Si**  
NIP. 19660705 199003 1 002

**Dr. Sulhadi, M.Si**  
NIP. 19710816 199802 1 001

## **PERNYATAAN**

Saya menyatakan bahwa yang tertulis di dalam skripsi ini benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan jiplakan karya tulis orang lain, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang lain yang tertulis dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah.



Semarang, 20 Juli  
2010

**Lilik Hadi KR**  
NIM 4250403018

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

### MOTTO

1. *“Barang siapa menempuh suatu jalan untuk mencari ilmu maka Allah akan memudahkan padanya jalan menuju surga”* (H.R. Muslim)
2. Jangan lihat masa lampau dengan penyesalan; jangan pula lihat masa depan dengan ketakutan; tapi lihatlah sekitar anda dengan penuh kesadaran.
3. Kejujuran adalah perhiasan yang sangat berharga.

### PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur yang mendalam skripsi ini kupersembahkan kepada :

1. Bapak dan Ibu tercinta.
2. Kakakku dan adikku tersayang.
3. Temen-temen laboratorium magnetik.

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai persyaratan guna memperoleh gelar sarjana.

Pada kesempatan ini pula penulis dengan kesungguhan hati ingin menyampaikan ucapan terimakasih dan permintaan maaf yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu atau merasa terganggu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam proses penyelesaian skripsi ini :

1. Bapak Dr. Agus Yulianto, M.Si, selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan kepada penulis.
2. Bapak Dr. Sulhadi, M.Si, selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan kepada penulis.
3. Bapak Dr. Ahmad Sopyan, M.Pd, selaku dosen wali yang telah memberikan perwalian serta nasihat-nasihat kepada penulis selama studi di UNNES.
4. Seluruh dosen di Jurusan Fisika FMIPA UNNES.
5. Keluarga besarku terimakasih untuk tidak berhenti memberi semangat dan dukungannya.
6. Teman-Teman seperjuangan di Laboratorium Kemagnetan Bahan : Pak Dika, Ellyco, Wawan, Didik, Rinto, Fanis, Aji, terimakasih atas bantuan dan dukungannya.
7. Teman-teman Fisika khususnya Fisika Murni Angkatan 2003 dan 2005, teman-teman kost lambada, anak-anak mainstream-net, terimakasih buat bantuannya.
8. BetetQu yang tidak bosan-bosannya mengingatkanku, menyemangatiku, menyayangiku, terima kasih banyak atas bantuannya.
9. Semua pihak yang telah membantu baik secara langsung atau tidak langsung yang tidak mungkin penulis sebutkan satu persatu terimakasih untuk bantuannya. Mudah-mudahan Tuhan membalasnya.

Akhir kata penulis menyadari keterbatasannya, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun senantiasa diharapkan untuk perbaikan dikemudian hari. Harapan penulis semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembacanya. Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Semarang, 20 Juli 2010

Penulis



## ABSTRAK

Lilik Hadi KR. 2010. Fabrikasi dan Karakterisasi Sifat Mekanik Kaca Magnetik Berbasis Barium Ferit.

Pembimbing : I. Dr. Agus Yulianto, M.Si; II. Dr. Sulhadi, M.Si.

Kaca merupakan benda *amorf* (tak berbentuk), namun bukanlah benda padat. Dalam sistem penggolongan klasik ada tiga keadaan materi (gas, cair, dan padat), kaca tidak akan mendapat tempat, karena kaca (seperti halnya karet, plastik, menempati golongan keempat yaitu materi yang menggabungkan *rigidnya* benda padat dengan struktur molekul acak benda cair. Barium ferit memiliki sifat magnet yang cukup baik dan banyak digunakan untuk pembuatan magnet permanen. Sifat magnet yang baik ini disebabkan karena barium ferit memiliki remanensi dan koersifitas yang cukup baik. Untuk memiliki sifat magnet yang baik ini serbuk barium ferit yang dihasilkan dari proses sintesisnya harus memiliki ukuran dalam skala nano, fasa yang tunggal, dan juga distribusi ukuran butir yang kecil.

Pembuatan dan karakterisasi kaca magnetik telah berhasil dilakukan dengan menggunakan bahan kaca jendela bekas (*cult*) dicampur dengan barium ferit ( $BaO.6Fe_2O_3$ ). Pembuatan kaca magnetik dilakukan menggunakan teknik cetak yang kemudian dipanaskan menggunakan *furnace* dengan suhu  $700^{\circ}C$ . Bahan *cult* dicampur dengan bahan serbuk magnet menggunakan mortal kemudian ditambah PVA baru dicetak menggunakan *Hydraulic press* dengan tekanan maksimum selama kurang lebih 3 menit. Hasil cetakan (*pellet*) langsung dipanaskan dengan menggunakan *furnace* pada suhu  $700^{\circ}C$  selama 45 menit. Kaca magnetik yang dihasilkan kemudian dihaluskan permukaannya dengan menggunakan kertas ampelas 500cc dan 1000cc. Pengujian sifat mekanik kaca magnetik diukur dengan menggunakan alat *California Bearing Ratio*. Nilai uji kuat tekan menurun pada komposisi barium ferit sebesar 0,5% - 1%, sedangkan pada komposisi barium ferit sebesar 1% - 1,5% nilai uji kuat tekan naik. Pada komposisi barium ferit sebesar 1% nilai uji kuat tekan yang paling rendah, hal ini dipandang sebagai gejala anomali yang perlu dilakukan penelitian lebih lanjut. Kaca magnetik dapat dihasilkan secara efektif dengan komposisi barium ferit sebesar 0,5% - 1,5%.

**Kata kunci** : Barium ferit, kaca jendela bekas (*cult*), *furnace*.



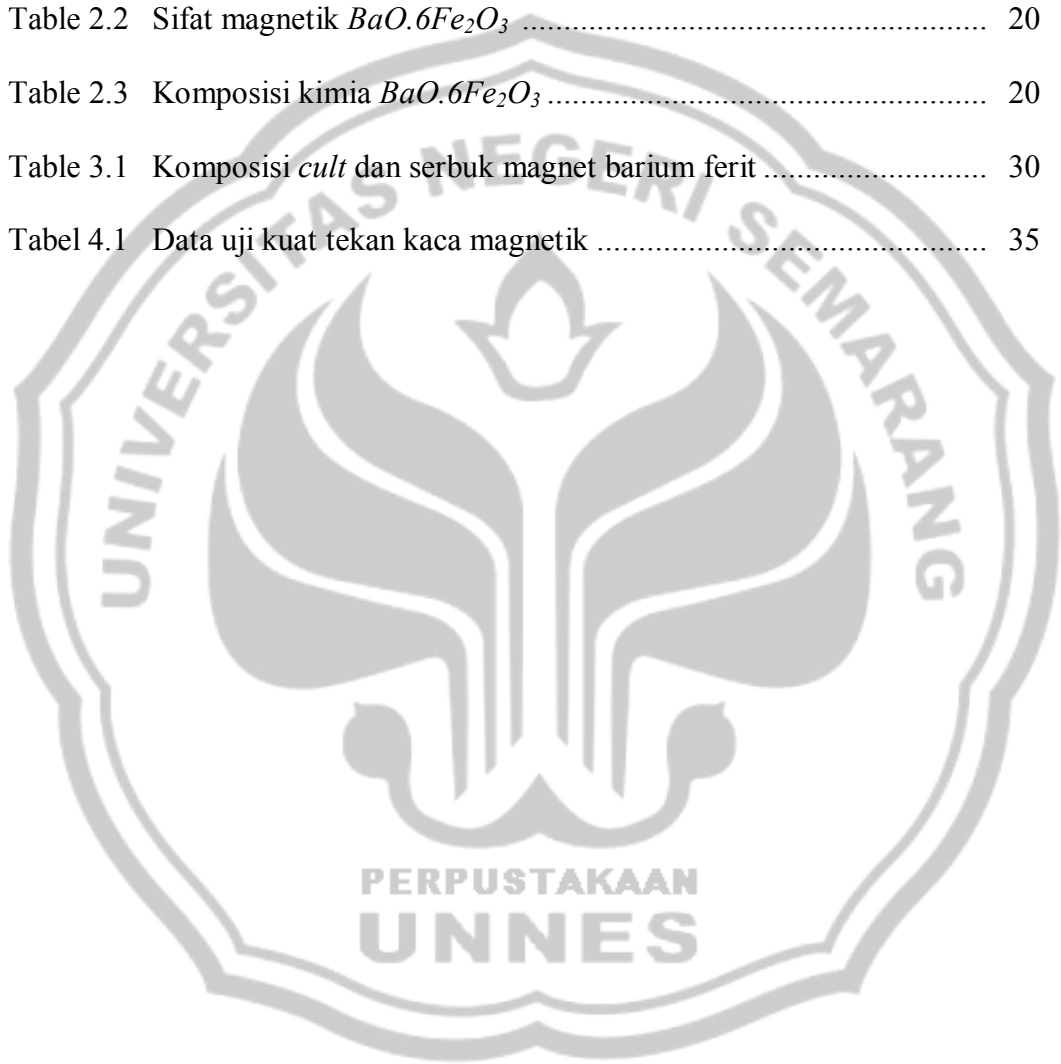
## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>PERSETUJUAN PEMBIMBING</b> .....	ii
<b>PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>ABSTRAK</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	3
1.3 Lingkup Penelitian .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan Skripsi .....	4
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b>	
<b>2.1 Klasifikasi Material Magnetik</b> .....	5
2.1.1 Diamagnetik .....	6
2.1.2 Paramagnetik .....	6
2.1.3 Feromagnetik .....	7
2.1.4 Antiferomagnetik .....	8
2.1.5 Ferimagnetik .....	9
<b>2.2 Kurva Histeresis</b> .....	13
<b>2.3 Magnet Komposit</b> .....	16
2.3.1 Ferit Lunak .....	17
2.3.2 Ferit Keras .....	17

2.3.3	Ferit Berstruktur Garnet .....	18
<b>2.4</b>	<b>Barium Ferit .....</b>	<b>18</b>
<b>2.5</b>	<b>Kaca .....</b>	<b>21</b>
2.5.1	Kaca Alami .....	24
2.5.2	Komposisi Kaca .....	24
<b>2.6</b>	<b>Karakterisasi Sifat Mekanik Kaca Magnetik .....</b>	<b>25</b>
 <b>BAB III METODE PENELITIAN</b>		
3.1.	Alat dan Bahan	
3.1.1.	Alat .....	29
3.1.2.	Bahan .....	29
3.2.	Langkah Kerja	
3.2.1.	Penggerusan .....	29
3.2.2.	Penyaringan .....	30
3.2.3.	Penimbangan .....	30
3.2.4.	Pencampuran Bahan Dasar .....	31
3.2.5.	Pencetakan .....	31
3.2.6.	Pemanasan .....	31
3.2.7.	Penghalusan Bentuk .....	32
3.2.8.	Karakterisasi .....	32
 <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Pembuatan Sampel Kaca Magnetik .....	33
4.2	Karakterisasi Sifat Mekanik Kaca Magnetik .....	35
 <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
5.1	Kesimpulan .....	38
5.2	Saran .....	38
 <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>40</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>42</b>

## DAFTAR TABEL

Table 2.1	Klasifikasi material magnetik berdasarkan susunan momen dipol atau spin .....	10
Table 2.2	Sifat magnetik $BaO.6Fe_2O_3$ .....	20
Table 2.3	Komposisi kimia $BaO.6Fe_2O_3$ .....	20
Table 3.1	Komposisi <i>cult</i> dan serbuk magnet barium ferit .....	30
Tabel 4.1	Data uji kuat tekan kaca magnetik .....	35



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tabel periodik yang menunjukkan sifat magnet unsur-unsur pada temperatur kamar .....	5
Gambar 2.2	Susunan momen dipol material diamagnetik tanpa medan magnet (a) dan dengan medan magnet (b) .....	6
Gambar 2.3	Susunan momen dipol material paramagnetik tanpa medan magnet (a) dan dengan medan magnet (b) .....	7
Gambar 2.4	Susunan momen dipol untuk material feromagnetik tanpa ataupun dengan adanya medan magnet dari luar .....	8
Gambar 2.5	Kurva hubungan temperatur dengan susceptibility untuk material diamagnetik .....	11
Gambar 2.6	Kurva hubungan temperatur dengan susceptibility untuk material paramagnetik .....	11
Gambar 2.7	Kurva hubungan temperatur dengan susceptibility untuk material feromagnetik .....	12
Gambar 2.8	Kurva hubungan temperatur dengan susceptibility untuk material antiferomagnetik .....	12
Gambar 2.9	Kurva hubungan temperatur dengan susceptibility untuk material ferimagnetik .....	13
Gambar 2.10	Kurva hysteresis B vs H .....	14
Gambar 2.11	Kurva magnetisasi bahan magnetik lunak dan keras .....	15
Gambar 2.12	Diagram alir proses pembuatan kaca .....	22
Gambar 3.1.	Diagram Alir Penelitian.....	28
Gambar 4.1	Kurva hubungan nilai uji kuat tekan kaca magnetik dengan komposisi barium ferit .....	36
Gambar 4.2	Kurva hubungan nilai uji kuat tekan kaca magnetik dengan komposisi cult .....	36

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I	Data Hasil Pengukuran Uji Kuat Tekan.....	43
Lampiran II	Foto Alat Penelitian .....	44
Lampiran III	Surat Keterangan Pengujian Laboratorium.....	48
Lampiran IV	Surat Usulan Pembimbing.....	49



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Teknologi keramik telah dikenal sejak lama dalam peradaban manusia. Bentuk sederhana dari keramik adalah berupa benda-benda gerabah yang terbuat dari lempung, baik diproses melalui pembakaran ataupun tidak. Seiring dengan kemajuan teknologi, saat ini bahan keramik telah dikembangkan menjadi berbagai produk modern dengan keunggulan sifat yang sangat variatif. Kaca termasuk salah satu produk keramik modern yang memiliki bidang pemakaian sangat luas (Doremus, 1973).

Penggunaan kaca yang sangat banyak di berbagai keperluan manusia menuntut produksi bahan ini dalam jumlah yang sangat besar. Jumlah produksi yang sangat besar tersebut menimbulkan dampak pada lingkungan sebab kaca tidak bersifat korosif (Mallawany, 2002). Kaca-kaca bekas (disebut *cult*) yang sudah tidak terpakai lagi merupakan limbah yang tidak akan terurai secara alamiah oleh pengurai organik. Dengan demikian diperlukan berbagai penanganan alternatif untuk menjadikan limbah kaca dapat dikembalikan ke alam secara aman atau mengolahnya kembali menjadi produk yang berdaya guna.

Kebutuhan bahan magnet terus meningkat sesuai dengan tuntutan aplikasinya. Aplikasi bahan magnet yang meluas diberbagai bidang mendorong dikembangkannya bahan magnet yang memenuhi sifat-sifat yang diinginkan,

inovatif dan memiliki daya saing (Sudirman, 2001). Untuk memenuhi sifat-sifat yang diinginkan tersebut, saat ini banyak dikembangkan sistem produksi magnet dalam bentuk komposit. Magnet jenis ini dibuat dengan mencampur serbuk bahan magnet dengan bahan pengikat bukan magnet.

Dalam kurun waktu tahun 2003 – 2007 di salah satu unit Laboratorium Jurusan Fisika telah dilakukan kajian secara intensif mengenai mineral alam pasir besi. Mineral ini telah diolah menjadi serbuk magnet ferit berupa Barium dan stronsium ferit (Yulianto, 2005). Serbuk magnet barium heksaferit ( $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) tersebut telah diolah lebih lanjut menjadi magnet komposit dengan pengikat karet alam (Habibi, 2006) dan semen portland (Jatiuturo, 2007). Kedua jenis magnet komposit yang telah dihasilkan memiliki sifat magnetik yang cukup baik untuk dapat dimanfaatkan pada produk-produk industri seperti produk magnet mainan anak serta magnet core pada lampu dan motor DC. Beberapa hasil yang telah diperoleh tersebut mendorong untuk dilakukan eksplorasi bahan perekat lain. Hal inilah mendorong dilakukannya penelitian tentang pembuatan kaca magnetik berbasis barium ferit.

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis bermaksud melakukan penelitian tentang *“Fabrikasi dan Karakterisasi Sifat Mekanik Kaca Magnetik Berbasis Barium Ferit”*. Penggunaan serbuk magnet sebagai dooping akan menghasilkan produk kaca yang bersifat unik dan unggul. Disamping itu, kaca bekas mudah untuk didapatkan dan tidak perlu mengeluarkan biaya. Bahan penyusun kaca magnetik yang lainnya, yaitu barium ferrite yang merupakan kelompok bahan ferit (heksaferit) di mana bahan penyusun utamanya adalah  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang

merupakan hasil sampingan (limbah) dari proses industri baja di Indonesia (Sudirman dkk, 2002).

## 1.2 Permasalahan

Permasalahan yang menjadi kajian dalam penelitian ini meliputi dua masalah utama. Permasalahan pertama menyangkut metode pembuatan kaca magnetik berbasis barium ferit. Permasalahan kedua yaitu karakterisasi sifat mekanik kaca magnetik yang dihasilkan.

## 1.3 Lingkup Penelitian

Pada penelitian ini perlu dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

- a). Pengembangan metode pembuatan kaca magnetik berbasis barium ferit.
- b). Bahan dasar berupa kaca jendela dan barium ferit.
- c). Karakterisasi sifat mekanik yang berupa uji kuat tekan dari kaca magnetik yang dihasilkan.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- a). Membuat kaca magnetik dari bahan dasar *cult* (kaca jendela) berbasis barium ferit.
- b). Mengetahui sifat mekanik dari kaca magnetik yang dihasilkan.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:



- a). Diperoleh kaca magnetik yang memiliki sifat magnet.
- b). Mengembangkan ilmu yang berfokus pada kajian bahan-bahan magnet.
- c). Mengetahui karakteristik sifat mekanik kaca magnetik yang dihasilkan.

## 1.6 Sistematika Penulisan Skripsi

Sistematika penulisan skripsi disusun untuk memudahkan pemahaman tentang struktur dan isi skripsi. Penulisan skripsi ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu: bagian pendahuluan skripsi, bagian isi skripsi dan bagian akhir skripsi.

- a). Bagian Pendahuluan Skripsi, terdiri dari: halaman judul, halaman pengesahan, motto dan persembahan, kata pengantar, sari (abstrak), daftar isi, daftar tabel, daftar gambar, dan daftar lampiran.
- b). Bagian Isi Skripsi, terdiri dari lima bab yang disusun dengan sistematika sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan, berisi latar belakang, permasalahan yang akan dibahas, lingkup penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika skripsi.

Bab II Landasan Teori, berisi teori-teori yang mendukung penelitian.

Bab III Metode Penelitian, berisi tempat pelaksanaan penelitian, alat dan bahan yang digunakan, serta langkah kerja yang dilakukan dalam penelitian.

Bab IV Hasil Penelitian dan Pembahasan, dalam bab ini dibahas tentang hasil-hasil dari penelitian yang telah dilakukan dan penjelasannya.

Bab V Kesimpulan dan Saran, berisi tentang kesimpulan hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran-saran penulis yang berkaitan dengan hasil penelitian.

- c). Bagian Akhir Skripsi, memuat tentang daftar pustaka yang digunakan sebagai acuan dari penulisan skripsi dan lampiran-lampiran.



## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.7 Klasifikasi Material Magnetik

Semua unsur dapat diklasifikasikan berdasarkan sifat magnetnya menjadi lima kategori yang bergantung pada *magnetic susceptibility*-nya. Jenis magnet yang paling umum ditemukan adalah diamagnetik dan paramagnetik, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.1.

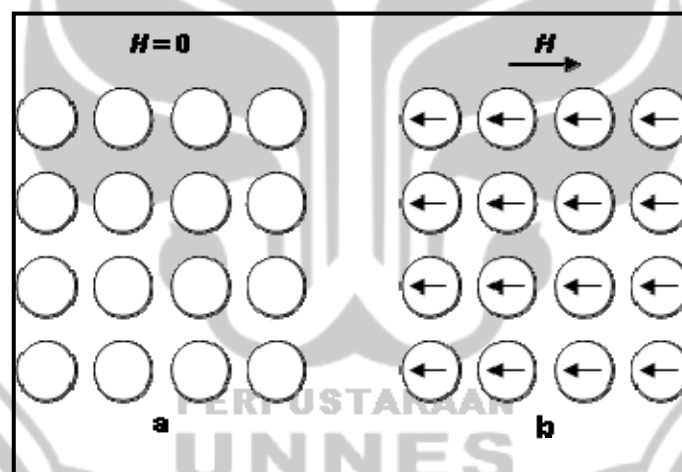
1	2	Magnetic Properties Legend																18		
H	He	<input type="checkbox"/> Ferromagnetic	<input type="checkbox"/> Antiferromagnetic	<input type="checkbox"/> Paramagnetic	<input type="checkbox"/> Diamagnetic													Ar		
3	4	5	6	7	8	9	10													18
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne													Ar
11	12	13	14	15	16	17	18													Ar
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar													Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	Ar		
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr			
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	Ar		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe			
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	Ar		
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn			
87	88	89															Ar			
Fr	Ra	Ac															Ar			
			58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71				
			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				

**Gambar 2.1** Tabel periodik yang menunjukkan sifat magnet unsur-unsur pada temperatur kamar.

Material yang bersifat feromagnetik dan antiferomagnetik hanya ditemukan sedikit didalam unsur murni. Untuk material yang mempunyai sifat ferimagnetik hanya ditemukan dalam senyawa, seperti campuran oksida yang disebut juga *ferrite* yang merupakan asal kata dari ferimagnetik.

### 2.7.1 Diamagnetik

Material diamagnetik mempunyai *susceptibility* magnetik yang kecil dan bernilai negatif. Diamagnetik merupakan sifat magnet yang paling lemah, yaitu tidak permanen dan hanya muncul selama berada dalam medan magnet luar. Besarnya momen magnetik yang diinduksikan sangat kecil, dan dengan arah yang berlawanan dengan arah medan luar. Permeabilitas relatif ( $\mu_r$ ) lebih kecil dari satu dan suseptibilitas magnetiknya negatif, sehingga besaran  $B$  dalam bahan diamagnetik lebih kecil daripada dalam vakum. Suseptibilitas volume ( $X_m$ ) untuk bahan padat diamagnetik sekitar  $-10^{-5}$ . Jika disimpan di dalam kutub-kutub sebuah magnet listrik yang kuat, material diamagnetik akan ditarik ke arah daerah yang medannya lemah.

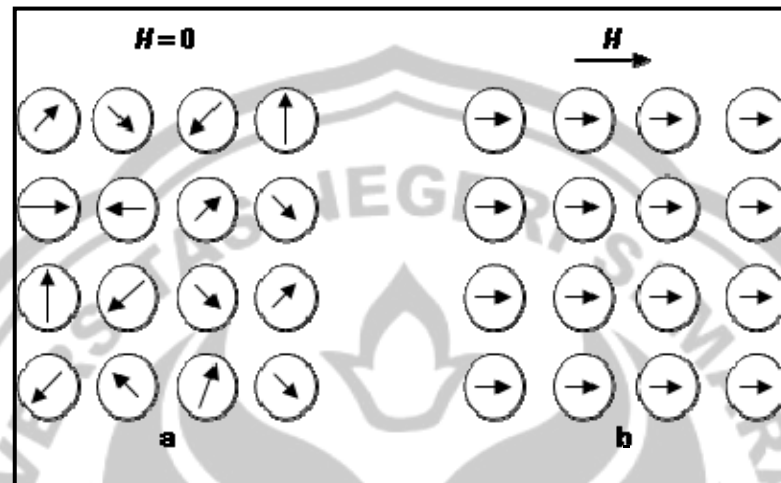


**Gambar 2.2** Susunan momen dipol material diamagnetik tanpa medan magnet (a) dan dengan medan magnet (b).

### 2.7.2 Paramagnetik

Material paramagnetik mempunyai nilai suseptibilitas magnet yang kecil tapi bernilai positif. Dengan adanya medan dari luar, pada bahan paramagnetik,

dwikutub atom yang bebas berotasi akan mensejajarkan arahnya dengan arah medan (Gambar 2.3 b). Kemudian permeabilitas relatif (yang lebih besar dari satu) dan suseptibilitas magnetik akan sedikit naik. Magnetisasi bahan ini akan muncul jika ada medan dari luar.



**Gambar 2.3** Susunan momen dipol material paramagnetik tanpa medan magnet (a) dan dengan medan magnet (b).

### 2.7.3 Ferromagnetik

Bahan logam tertentu memiliki momen magnetik permanen tanpa adanya medan magnetik dari luar, dan memperlihatkan magnetisasi yang besar. Ini merupakan sifat dari ferromagnetik, antara lain terdapat pada logam-logam transisi Fe, Co, Ni dan beberapa logam tanah jarang (*rare earth*) seperti Nd, Gd. Suseptibilitas magnetiknya dapat mencapai setinggi  $10^6$ .

Momen magnetik permanen pada bahan ferromagnetik disebabkan oleh momen magnetik karena gerak spin elektron. Kontribusi dari momen magnetik orbital tetap ada walaupun relatif kecil dibandingkan dengan momen spin. Disamping itu, pada bahan ferromagnetik, interaksi gabungan menyebabkan

momen magnetik spin *netto* dari atom yang berdekatan menjadi sejajar satu dengan yang lainnya, walaupun tanpa ada medan dari luar (Gambar 2.4). Pensejajaran momen ini terbentuk pada daerah yang relatif luas dari kristal yang disebut domain.

Magnetisasi maksimum atau magnetisasi jenuh (*saturation magnetization*)  $M_s$  dari bahan feromagnetik adalah besarnya magnetisasi apabila dwikutub magnetik dalam bahan padat tersebut seluruhnya sejajar dengan medan dari luar; besarnya kerapatan fluks adalah  $B_s$ . Magnetisasi jenuh  $M_s$  adalah perkalian antara momen magnetik *netto* tiap atom dengan jumlah atom yang ada.



**Gambar 2.4** Susunan momen dipol untuk material feromagnetik tanpa ataupun dengan adanya medan magnet dari luar.

#### 2.7.4 Antiferomagnetik

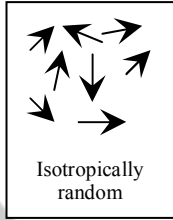
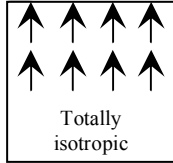
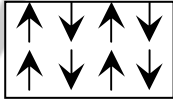
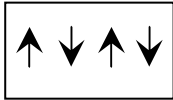
Gabungan momen magnetik antara atom-atom atau ion-ion yang berdekatan dalam suatu golongan bahan tertentu menghasilkan pensejajaran anti paralel. Gejala ini disebut anti-feromagnetik, sifat tersebut antara lain terdapat pada  $MnO$ , bahan keramik yang bersifat ionik yang memiliki ion-ion  $Mn^{2+}$  dan  $O^{2-}$ . Tidak ada momen magnetik *netto* yang dihasilkan oleh ion  $O^{2-}$ , hal ini disebabkan karena adanya aksi saling menghilangkan total pada kedua momen

spin dan orbital. Tetapi ion  $Mn^{2+}$  memiliki momen magnetik *netto* yang terutama berasal dari gerak spin. Ion-ion  $Mn^{2+}$  ini tersusun dalam struktur kristal sedemikian rupa sehingga momen dari ion yang berdekatan adalah antiparalel. Karena momen-momen magnetik yang berlawanan tersebut saling menghilangkan, bahan MnO secara keseluruhan tidak memiliki momen magnetik.

### 2.7.5 Ferimagnetik

Beberapa bahan keramik juga memperlihatkan magnetisasi permanen, yang disebut ferimagnetik. Bahan keramik magnetik ini secara umum disebut ferit. Sifat-sifat magnetik secara makroskopik dari magnet fero dan magnet feri adalah sama; perbedaannya terletak pada sumber magnetik *netto*. Prinsip dasar ferimagnetik dapat dilihat pada ferit kubik yang memiliki struktur kristal yang mirip mineral spinel, sehingga sering disebut ferit spinel. Bahan ionik ini dinyatakan dengan rumus kimia  $M.Fe_2O_4$  atau  $MO.Fe_2O_3$ . Selain ferit kubik/spinel terdapat dua macam ferit yang lain, yaitu ferit hexagonal dan garnet, yang juga memiliki sifat ferimagnetik. Rumus kimia ferit hexagonal adalah  $MO.6Fe_2O_3$  atau  $M.Fe_{12}O_{19}$ , dimana M dapat berupa ion logam tanah jarang seperti Sm, Eu, Gd, Y atau seperti Ba, Sr, Ca. Yttrium Iron Garnet ( $Y_3Fe_5O_{12}$ ) yang biasa disebut YIG merupakan ferit yang umum dari jenis ini. Magnetisasi jenuh bahan ferimagnetik tidak setinggi seperti pada bahan feromagnetik. Walaupun demikian, sebagai bahan keramik, konduktivitas listriknya yang rendah diperlukan sekali dalam beberapa aplikasi.

Secara umum sifat-sifat material magnetik dapat disimpulkan dalam Tabel 2.1.

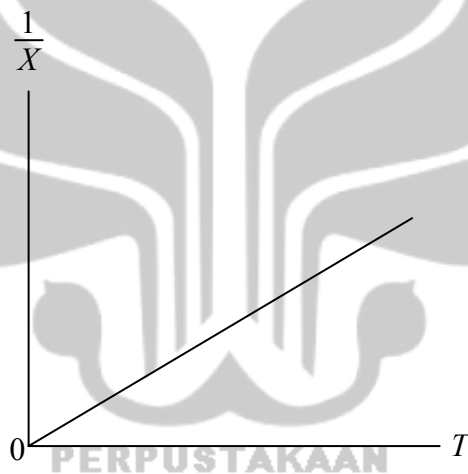
Type	Susceptibility $\chi_m$	$\chi_m$ versus Temp. (T)	Examples	Arrangement of dipole moments or spins
Diamagnetic	$\sim -10^{-6}$ (Negative)	Independent	Cu, Ag, Au, Ge, etc	
Paramagnetic	$\sim +10^{-3}$ (Positive)	$\chi_m = C/T$ (Curie law) $\chi_m = C/(T-T_c)$ (Curie-Weiss law) C: Curie constant $T_c$ = Paramagnetic Curie Temp.	Materials Having atoms with odd numbers of electrons; Ionic crystals etc.	 Isotropically random
Ferromagnetic	Extremely large and positive	$\chi_m \rightarrow \infty$	Fe, Co, Ni, Gd	 Totally isotropic
Antiferromagnetic	Small and positive	$\chi_m \propto 1/T$	Salt and Oxides of Transition Metals (e.g. NiO, MnF <sub>2</sub> )	
Ferrimagnetic	Large and positive	$\chi_m \rightarrow \infty$	Ferrites (e.g. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	

**Tabel 2.1** Klasifikasi material magnetik berdasarkan susunan momen dipol atau spin.

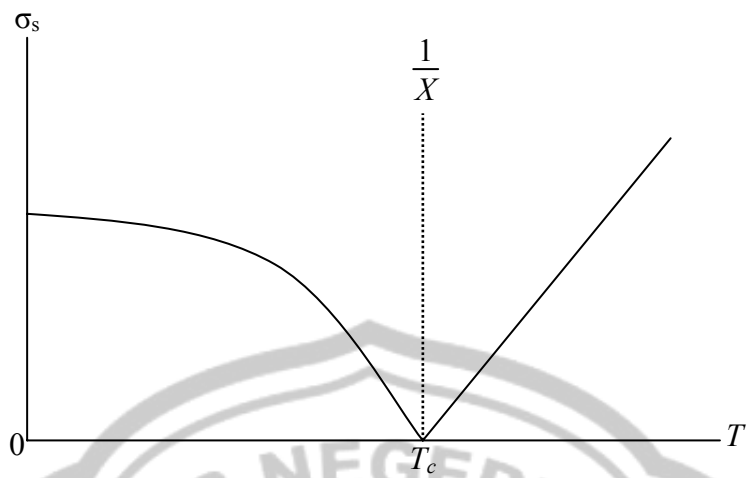




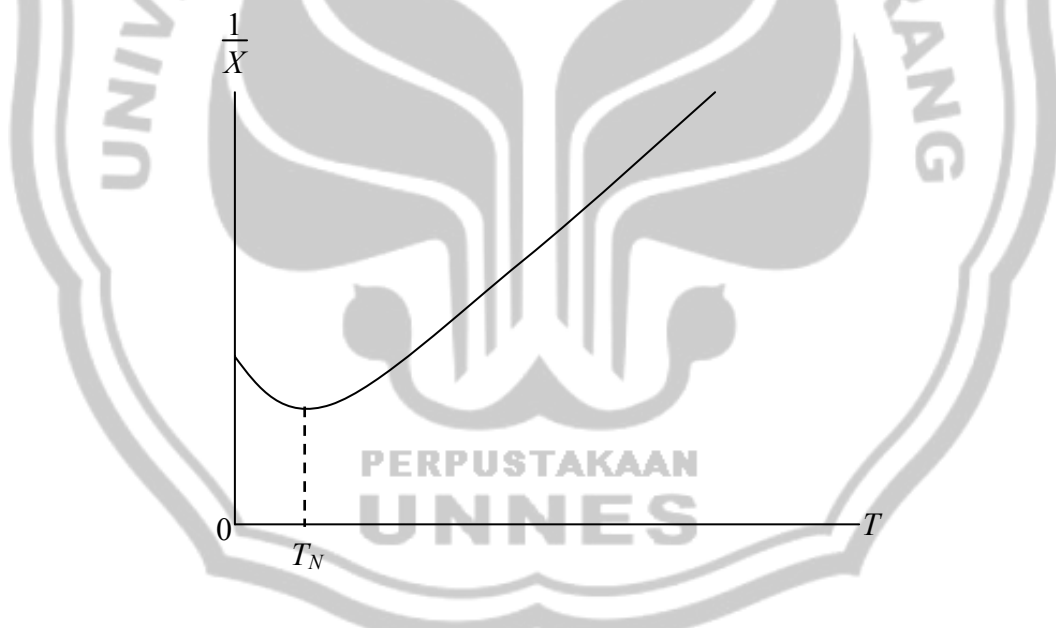
**Gambar 2.5** Kurva hubungan temperatur dengan *susceptibility* untuk material diamagnetik.



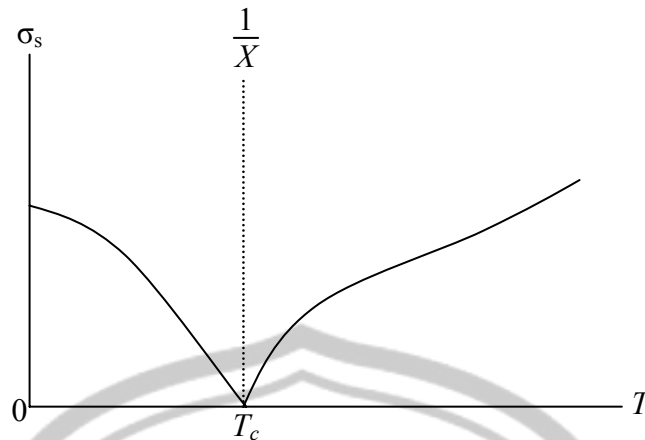
**Gambar 2.6** Kurva hubungan temperatur dengan *susceptibility* untuk material paramagnetik.



**Gambar 2.7** Kurva hubungan temperatur dengan *susceptibility* untuk material feromagnetik.



**Gambar 2.8** Kurva hubungan temperatur dengan *susceptibility* untuk material antiferomagnetik.



**Gambar 2.9** Kurva hubungan temperatur dengan *susceptibility* untuk material feromagnetik.

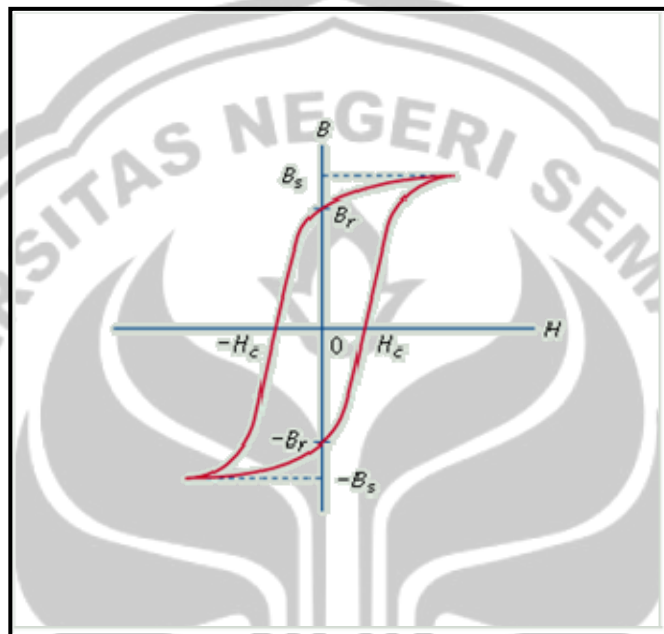
Sebagian besar material magnetik sangat bergantung pada temperatur. Material feromagnetik dan ferimagnetik jika temperaturnya dinaikkan hingga temperatur Curie, maka sifat magnetnya akan berubah menjadi paramagnetik. Material antiferomagnetik jika temperaturnya diturunkan pada temperatur yang lebih rendah (Temperatur *neel*), maka material ini juga akan berubah menjadi bersifat paramagnetik. Pada material diamagnetik, sifat magnetiknya tidak dipengaruhi oleh temperature.

## 2.8 Kurva Histeresis

Medan  $B$  yang dihasilkan dalam toroida diukur dengan cara mengubah arus dan digambarkan menggunakan kurva histeresis. Bahan dalam toroida merupakan bahan ferromagnetik. Medan  $H$  dalam toroid dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$H_{\phi} = \frac{NI}{2\pi r} \quad \text{..(2.1)}$$

Asumsikan bahwa pada awalnya toroida ferromagnetik tersebut tidak memiliki medan magnet yang spontan. Pada saat  $I$  meningkat,  $H$  akan meningkat berdasarkan rumus pada persamaan 2.1. Medan  $B$  mulai beranjak naik dari nol. Jika  $B$  dan  $H$  diplot, maka kurva hasilnya akan sama dengan kurva  $OA_1$ , ditunjukkan pada Gambar 2.10.

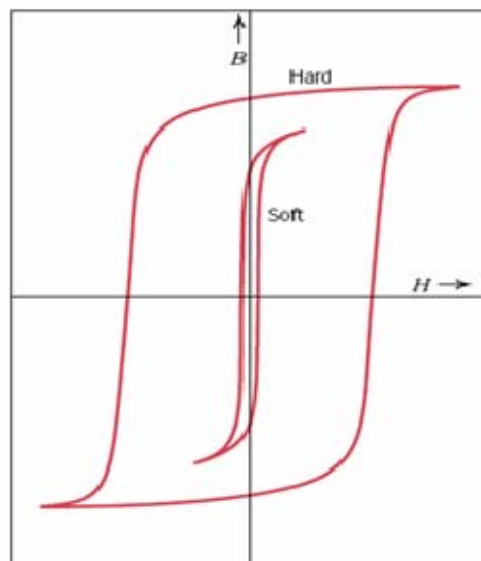


**Gambar 2.10** Kurva hysteresis B vs H.

Magnetisasi permulaan terhadap titik  $A_1$  selesai maka medan  $H$  akan turun dengan mengurangi arus dalam koil. Medan  $B$  juga akan turun, tetapi kurva  $B$ - $H$  ternyata tidak mengikuti kurva magnetisasi aslinya, sebagai gantinya akan menjejaki kurva yang sama dengan  $A_1B_r$ , yang ditunjukkan pada Gambar 2.10. Pada titik  $B_r$ , arus dalam suatu koil toroida sama dengan nol, demikian pula halnya  $H$ . Fluks magnet residu ini diakibatkan oleh adanya fakta bahwa momen magnet domain dalam ferromagnetik masih menyebar dalam arah yang sama. Magnetudo dari  $B$  residu ini disebut medan magnet remanen ( $B_r$ ).

$H$  dibalik dengan cara membalikkan arus sehingga kurva  $B-H$  akan membentuk kurva  $B_rH_c$  seperti Gambar 2.10. Ingat bahwa dibutuhkan sejumlah nilai negatif dari  $H$  untuk membuat nol medan  $B$ . Nilai  $H$  dalam arah negatif magnetisasi awal yang diperlukan untuk membuat nol medan  $B$  disebut gaya paksaan (*Coercive Force*). Jika arus balik dinaikkan melampaui titik tersebut, medan  $B$  mulai berbalik dan kurva  $B-H$  akan mengikuti kurva  $H_1A_2$  pada Gambar 2.10. Jika sekarang arus sudah berkurang, kurva  $B-H$  akan membentuk kurva baru  $A_2A_1$ . Kurva tertutup  $A_1B_rH_cA_2A_1$  disebut loop histeresis (*hysteresis loop*). Arus diubah ke siklus yang lebih kecil, loop histeresis terkaitnya akan lebih kecil. Jika bahan mengalami saturasi pada kedua ujung kurva magnetisasi, remanen  $B$  disebut retentivitas bahan (*retentivity*) ferromagnetik dan gaya paksaan  $H$  disebut koersivitas bahan (*coercivity*).

Kurva histeresis juga dapat digunakan untuk membedakan antara magnet permanen dan magnet lunak, seperti pada Gambar 2.11.



**Gambar 2.11** Kurva magnetisasi bahan magnetik lunak dan keras.

## 2.9 Magnet Komposit

Magnet komposit didefinisikan sebagai dua bahan yang berbeda yang digabung atau dicampur secara makroskopis. Pada umumnya magnet komposit terdiri dari dua unsur, yaitu serbuk bahan magnet dan bahan pengikat serbuk magnet yang disebut matriks. Magnet komposit ini dibuat dengan cara mencampurkan serbuk bahan magnet dengan bahan pengikat nonmagnet, misalnya polimer dengan komposisi yang diinginkan di dalam alat pencampur (Karakoro. dkk, 2002).

Adanya bahan pengikat bukan magnet, maka sifat magnet dari magnet komposit akan lebih rendah jika dibandingkan dengan *sinter magnet*. Menurut Ridwan, Dkk (2002) beberapa keunggulan magnet komposit antara lain :

1. Jenis bahan magnet dan pengikat serta metode pemrosesan magnet komposit dapat divariasikan sesuai kebutuhan.
2. Mempunyai sifat mekanik yang baik.
3. Dapat diproduksi dalam bentuk tiga dimensi yang kompleks.
4. Perubahan bentuk akibat pemrosesan bahan sangat kecil.
5. Proses pembuatan magnet komposit relatif lebih mudah dibandingkan dengan magnet sinter.

Unsur utama magnet komposit adalah serbuk magnet. Serbuk bahan magnet ini yang terutama menentukan karakteristik magnet komposit, seperti kekakuan, kekuatan serta sifat-sifat mekanik yang lain. Jumlah elemen serbuk magnet di dalam komposit akan sangat menentukan kekuatan medan magnet dari magnet komposit yang disintesis, sedangkan bahan pengikat (matrik) berfungsi

melindungi dan mengikat serbuk bahan magnet, agar dapat bekerja dengan baik (Hadi, 2000). Meskipun bahan utama yang dipakai adalah serbuk magnet, namun magnet komposit ini memiliki prosedur pembuatan yang sangat berbeda dengan magnet hasil pengecoran ataupun magnet keramik.

Bahan keramik yang bersifat magnetik umumnya merupakan golongan ferit, yang merupakan oksida yang disusun oleh  $Fe_2O_3$  sebagai komponen utama. Bahan ini menunjukkan induksi magnetik spontan meskipun medan magnet luar dihilangkan. Material ferit juga dikenal sebagai magnet keramik yang dikembangkan sejak tahun 1940. bahan tersebut adalah oksida besi yang disebut ferit besi dengan rumus kimia  $MO.(Fe_2O_3)_6$  di mana  $M$  adalah  $Ba$ ,  $Sr$ , atau  $Pb$ . Semua bahan yang mengandung besi sebagai penyusun utamanya dinamakan ferit (Idayanti, 2002).

Pada umumnya ferit dibagi menjadi tiga kelas, yaitu :

### 2.9.1 Ferit Lunak

Ferit ini mempunyai formula  $MFe_2O_4$  dimana  $M = Cu, Zn, Ni, Co, Fe, Mn, Mg$  dengan struktur kristal seperti mineral spinel. Sifat bahan ini mempunyai permeabilitas dan hambatan jenis yang tinggi, koersivitas dan *hysteresis loss* yang rendah. Contoh sederhana dari bahan ini adalah *ferrous ferrite* atau biasa disebut dengan magnetit ( $FeO.Fe_2O_3$  atau  $Fe_3O_4$ ), ferit Nikel ( $NiO.Fe_2O_3$  atau  $NiFe_2O_4$ ) dan Ferit Mangan ( $MnO.Fe_2O_3$  atau  $MnFe_2O_4$ ) (Goldman, 1990).

### 2.9.2 Ferit Keras

Ferit jenis ini adalah turunan dari struktur magneto plumbit yang dapat ditulis sebagai  $MFe_{12}O_{19}$  dimana  $M = Pb, Ba, Sr$ . Bahan ini mempunyai gaya

koersivitas dan remanen yang tinggi serta mempunyai struktur kristal hexagonal. Magnet jenis ini lebih murah untuk diproduksi dan banyak digunakan sebagai magnet permanen (Idayanti, 2002).

### 2.9.3 Ferit Berstruktur Garnet

Magnet ini mempunyai magnetisasi spontan yang bergantung pada suhu secara khas. Rumus umum untuk garnet adalah  $Me_3Fe_5O_{12}$ , dengan Me salah satu dari ion logam tanah jarang, contohnya Y, La dan Gd. Struktur sangat rumit, berbentuk kubik dengan sel satuan disusun tidak kurang dari 160 atom. Contoh garnet yang bagus adalah Yttrium Iron Garnet ( $Y_3Fe_5O_{12}$ ) biasa disingkat dengan YIG (Zhang, 2006).

## 2.10 Barium Ferit

Barium ferit termasuk kedalam kelompok *ferrite*, yaitu oksida Fe dan logam lainnya. *Ferrite* merupakan kelompok terpenting dari material feromagnetik. Sifat feromagnetik hampir sama dengan feromagnetik, hanya saja tingkat magnetisasi saturasinya lebih rendah dari feromagnetik. Material feromagnetik mengalami magnetisasi spontan pada temperatur kamar. Magnetisasi spontan ini akan hilang pada temperatur di atas temperatur Curie, dan menjadi paramagnetik. Material yang memiliki sifat feromagnetik bukan merupakan senyawa, tetapi berupa unsur murni. Biasanya dimiliki oleh logam transisi seperti Fe, Co, Ni dan beberapa logam tanah jarang seperti Nd dan Sm. Feromagnetik merupakan senyawa, dimana momen magnetiknya berasal dari atom-atom ataupun ion-ion yang tidak saling menghilangkan secara sempurna. Momen



magnetik yang dapat saling menghilangkan ini terjadi akibat dari terbentuknya persejajaran anti-paralel.

Magnet ferit dapat dibagi menjadi dua kelompok utama yang memiliki struktur kristal yang berbeda:

1. *Cubic*. Mempunyai rumus umum  $MO.Fe_2O_3$ , dengan M adalah ion logam divalent, seperti Mn, Ni, Fe, Co, dan yang lain.
2. *Hexagonal*. Barium ferit ( $BaO.6Fe_2O_3$ ) merupakan material yang terpenting dari kelompok ini. Barium ferit termasuk *hard magnet*.

*Ferrite*, termasuk didalamnya barium ferit, merupakan senyawa ionik, dan sifat magnetnya dikarenakan ion magnetik yang terdapat didalamnya sehingga disebut ferimagnetik. Oleh karena itu, momen magnet dari ion-ion logam perlu diketahui. Dalam barium ferit, ion  $O^{2-}$  dan  $Ba^{2+}$  jumlah momen magnetnya nol. Sedangkan ion  $Fe^{3+}$  memiliki momen magnet sebesar  $5 \mu B$ . Namun, momen magnet dari ion-ion  $Fe^{3+}$  yang terdapat dalam molekul barium ferit tidak dapat dijumlahkan begitu saja, karena barium ferit termasuk ke dalam material ferimagnetik. Arah dari momen magnet atom yang terletak pada *site* yang berbeda pada material ferimagnetik adalah anti-paralel. Namun tidak semua momen magnet memiliki susunan antiparalel yang dapat saling menghilangkan, makanya muncul momen magnetik *netto* yang merupakan momen tidak saling menghilangkan. Momen magnetik *netto* inilah yang menyebabkan senyawa ferit memiliki magnetisasi permanen tanpa pengaruh medan luar H.

M-Type Barium ferit ( $BaFe_{12}O_{19}$ ) merupakan suatu bahan keramik dan material magnetik yang mempunyai struktur hexagonal, biasanya digunakan

untuk pembuatan magnet permanen, yang dapat diaplikasikan untuk sensor, loud speaker, dynamo, motor-motor listrik, KWH meter, microwave dll. Magnet ini sangat banyak digunakan karena mempunyai induksi Remanen (Br) dan Koersifitas (Hc) yang tinggi. Barium ferit pertama kali dikembangkan pada tahun 1952 di Netherland oleh Philips Company dengan nama *ferroxdure*, kemudian pada tahun yang sama perusahaan di Amerika mengembangkan stronsium ferit ( $SrO.6Fe_2O_3$ ) juga dipanaskan pada suhu yang sama (Cullity, 1972).

Serbuk bahan magnet  $BaO.6Fe_2O_3$  dan  $SrO.6Fe_2O_3$  sudah dapat diproduksi di Indonesia. Salah satu perusahaan di Indonesia yang memproduksi  $BaO.6Fe_2O_3$  dan  $SrO.6Fe_2O_3$  adalah PT. NX Indonesia. Serbuk bahan magnet  $BaO.6Fe_2O_3$  yang diproduksi oleh PT. NX Indonesia memiliki spesifikasi seperti pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 berikut ini.

**Tabel 2.2.** Sifat magnetik  $BaO.6Fe_2O_3$

Br (T)	bHc (kA/m)	BHmaks (kJ/m <sup>3</sup> )	iHc (kA/m)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
0,411	180	31,8	184	5,110

**Tabel 2.3.** Komposisi kimia  $BaO.6Fe_2O_3$

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SrO (%)	BaO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	CaO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CoO (%)	Ukuran Partikel ( $\mu$ m)
85,40	0,09	13,9	0,125	0,051	0,094	0,000	0,000	3,386

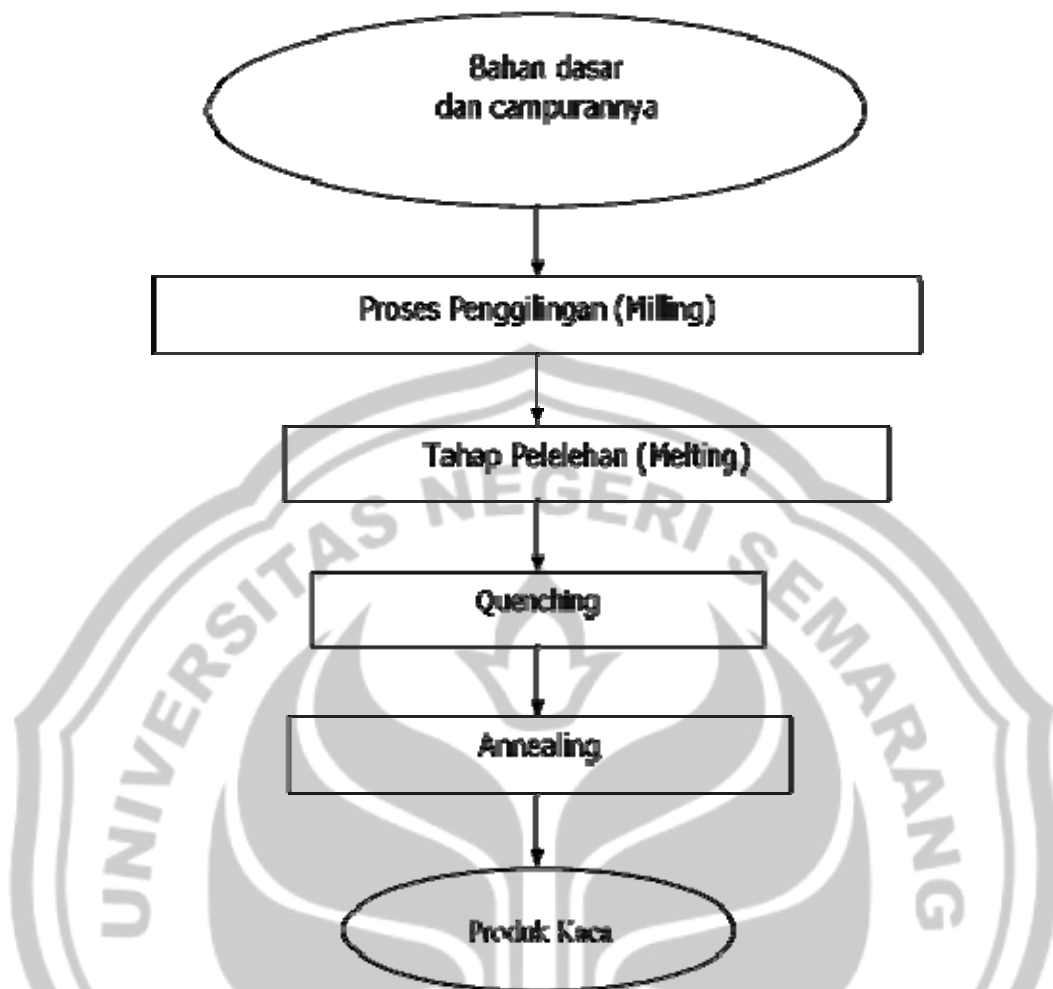
Sesuai dengan kebutuhannya, magnet ferit tidak saja dikembangkan dalam bentuk keramik tetapi dapat juga dibuat dalam bentuk komposit. Pada magnet komposit, sifat-sifat unsur pembentuknya masih terlihat jelas. Justru keunggulan

magnet komposit di sini adalah penggabungan sifat-sifat unggul masing-masing unsur pembentuknya tersebut (Hadi, 2000).

Magnet komposit ini dapat dibuat dalam bentuk rigid dan dalam bentuk elastis. Sifat rigid dan elastis tergantung dari matriks yang digunakan. Bila menggunakan matriks semen portland atau polimer yang mempunyai sifat termoplastik (seperti: polietilena, polipropilena, polistirena) maka akan diperoleh rigid bonded magnet (magnet yang bersifat keras). Bila menggunakan matriks polimer yang bersifat elastis seperti karet alam, etil venil asetat, dan butil rubber, maka akan diperoleh sifat elastis (Sudirman. dkk, 2002). Magnet komposit dalam bentuk rigid memiliki kelebihan sifat mekaniknya yang tidak mudah pecah, sedangkan kelebihan dalam elastis adalah memiliki kekuatan tarik yang tinggi.

### **2.11 Kaca**

Salah satu bentuk polimer yang memiliki bidang aplikasi sangat luas adalah kaca (Mallawy, 2002). Berbagai jenis kaca dapat disintesis dengan komposisi yang sangat beragam, tetapi yang paling populer adalah dengan menggunakan bahan dasar silicon oksida atau  $\text{SiO}_2$  (Doremus, 1973). Meskipun bahan dasar dan komposisi kaca beragam, namun proses pembuatannya hampir selalu sama yaitu melalui proses melting atau pelelehan, quenching dan annealing; seperti ditunjukkan pada Gambar 2.12.



**Gambar 2.12** Diagram alir proses pembuatan kaca (Sulhadi, 2005)

Kaca adalah benda *amorf* (tak berbentuk), namun bukanlah benda padat. Dalam sistem penggolongan klasik ada tiga keadaan materi (gas, cair, dan padat), kaca tidak akan mendapat tempat, karena kaca (seperti halnya karet, plastik, menempati golongan keempat yaitu materi yang menggabungkan *rigidnya* benda padat dengan struktur molekul acak benda cair. Sering disebut sebagai keadaan *vitreous* atau seperti kaca. Ketika mendingin atom-atomnya tetap pada keadaan acak seperti kala cair, tetapi dengan kohesi yang cukup untuk membuatnya *rigid*. Itulah sebabnya mengapa kaca bersifat transparan.

Kaca juga dikenal sebagai *supercooled liquid*. Kaca adalah material *thermoplastic* yang dapat dibentuk pada temperatur di atas 2300°F (1261°C). Dalam keadaan cair, kaca merupakan persenyawaan kimia, tetapi jika dibiarkan lama dalam keadaan cair, maka beragam senyawa itu akan menghablur. Ketika menghablur, kaca dapat disebut “membeku”. Untuk mencegah hal ini, kaca harus melewati temperatur kristalisasi secepat mungkin sehingga menjadi amorf (tidak mengkristal); benda solid yang keras, transparan, dan getas.

Untuk menghasilkan suatu produk kaca kadang dipakai bahan dasar asli (raw material), tetapi kadang juga dipakai bahan-bahan yang bersifat daur ulang. Kaca yang dibuat dengan bahan murni sifatnya lebih mudah untuk dikontrol, karena komposisi campuran dapat dikendalikan dengan baik. Sebaliknya, kaca yang dibuat dengan bahan daur ulang sifatnya lebih sulit untuk dikontrol karena beberapa bahan tambahan yang ada pada produk sebelumnya sering tidak teridentifikasi secara baik.

Sifat kaca yang diproduksi sebagai daur ulang memang tidak sebagus kaca yang diproduksi dengan menggunakan bahan dasar murni. Namun demikian ada kompensasi yang sangat menguntungkan, yaitu bahan daur ulang umumnya memiliki harga yang jauh lebih murah. Dengan bahan yang murah tersebut biaya produksi dapat ditekan dan dapat berlangsung lebih efisien. Pada kaca produk daur ulang umumnya ditambahkan beberapa jenis filler yang berguna untuk meningkatkan sifat mekanik dan sifat optiknya. Filler pewarna tersebut dapat digantikan dengan bahan lain untuk memperoleh sifat yang diinginkan, misalnya dengan serbuk bahan magnet. Dengan fiiler jenis ini kaca yang dihasilkan akan

bersifat magnetik. Kaca magnetik memiliki sifat unik, karena sifat-sifat optiknya akan dipengaruhi dan dikendalikan oleh medan magnet luar.

### 2.11.1 Kaca Alami

Kaca juga ditemukan di alam. Terdapat bermacam jenis yang terbentuk dengan cara yang berbeda, yaitu: *obsidian*, *tektites*, *fulgurite*.

*Obsidian* terbentuk oleh aksi vulkanis dan bisa ditemukan di banyak tempat. Obsidian terbentuk ketika larva panas membeku dengan cepat setelah mencapai permukaan tanah, menyatukan silika dan membentuk kaca keras. Karena ketidakmurnian alami, kaca yang dihasilkan pun beragam, hitam pekat, sangat merah atau hijau tua.

*Tektites* berbentuk bulat, kecil, hasil dari meteor yang menabrak bumi. *Tektites* ditemukan di Ceko, Slowakia, Indonesia, Vietnam, Australia, Amerika Serikat, dan lain-lain. *Tektites* dan *obsidian* dapat dibentuk dan digunakan oleh manusia primitif sebagai mata tombak, mata panah, pisau, dan pemotong sejak 75000 tahun SM.

*Fulgurites* terbentuk oleh petir yang menghantam pantai atau gurun. Hasilnya berupa silinder kasar, getas, dan tipis.

### 2.11.2 Komposisi Kaca

Bahan dasar pembuatan kaca adalah pasir (silika), soda (sodium oksida), dan kapur (kalsium oksida). Namun ribuan campuran kimia yang berbeda dapat digunakan untuk membuat kaca. Formula yang berbeda memberi pengaruh pada

sifat mekanik, elektrik, kimia, optik, dan termal kaca yang dihasilkan. Tidak ada komposisi tunggal yang berlaku pada semua jenis kaca.

Kaca, umumnya, mengandung: formers, fluxes, dan stabilizers. Formers merupakan persentase terbesar dari campuran. Untuk kaca sodakapur-silika, former-nya adalah silika dalam bentuk pasir. Flux menurunkan temperatur hingga suhu di mana former akan mencair. Soda dan Kalium (Kalium karbonat), keduanya adalah alkali, merupakan flux yang umum dipakai. Kaca Kalium sedikit lebih rapat daripada Kaca Soda. Stabilizers membuat kaca kuat dan tahan air. Kalsium karbonat, sering disebut calcined limestone, adalah suatu stabilizer. Tanpa stabilizer, air dan kelembaban akan melarutkan kaca. Kaca yang kekurangan kapur biasa disebut waterglass.

### **2.12 Karakterisasi Sifat Mekanik Kaca Magnetik**

Karakterisasi dilakukan untuk mengetahui sifat dan kualitas kaca magnetik. Pengujian yang dilakukan terhadap kaca magnet biasanya tergantung dari matriks yang digunakan dalam pembuatan magnet komposit. Ketika menggunakan matriks polimer yang bersifat elastomer, di mana menghasilkan magnet komposit dengan sifat elastis maka uji yang dilakukan meliputi kekuatan tarik, kekuatan luluh, perpanjangan putus (Sudirman. dkk, 2002). Kemudian jika menggunakan matriks kaca maka uji yang dilakukan adalah uji kekerasan.

Pengujian sifat mekanik adalah pengujian kekerasan bahan untuk mengetahui daya tahan bahan terhadap penetrasi pada permukaannya. Ada berbagai cara untuk menentukan kekerasan bahan. Alat uji kekerasan berupa bola

kecil, piramida, atau kerucut yang ditekan ke permukaan bahan dengan beban tertentu. Cara pengukuran kekerasan adalah pertama-tama, alat tekan ditekan ke dalam bahan dengan beban mula tertentu. Kemudian beban dinaikkan dan kekerasan dibaca, yaitu selisih kedalaman penetrasi yang ditimbulkan oleh beban akhir dan beban mula. Skala kekerasan tergantung pada bentuk dan jenis penekan dan beban (Amstead, 1997).

Beberapa cara untuk menentukan kekerasan bahan:

1. Kekerasan Rockwell, banyak kegunaannya karena penekan dan bahan dapat diubah-ubah sesuai kebutuhan. Dengan demikian kekerasan dari selaput tipis hingga logam yang paling keras pun dapat kita ukur. Bila penekan terbuat dari intan dan beban yang digunakan besarnya 331 pound, maka disebut kekerasan skala Rockwell C. Pada skala B digunakan penekan bola dengan diameter 1/16 inchi dan beban sebesar 220 lb.
2. Kekerasan Brinell ditentukan dengan menggunakan bola berdiameter 10 mm dan beban 3000 kg. Diameter jejak diukur dengan mikroskop yang mampu mengukur hingga ketelitian 0,05 mm.
3. Pengukuran kekerasan dengan Skleroskop Shore digunakan pelu berujung intan yang beratnya 2,3 gram. Palu ini kemudian dijatuhkan dari ketinggian tertentu. Tinggi palu menjadi ukuran kekerasan benda.
4. Pada metode Vickers digunakan penekan intan berbentuk piramida yang diberi beban 1-120 kg, tergantung pada kekerasan dan ketebalan benda. Jejak diukur dan dengan rumus tertentu dapat dihitung nilai kekerasan Vickers.

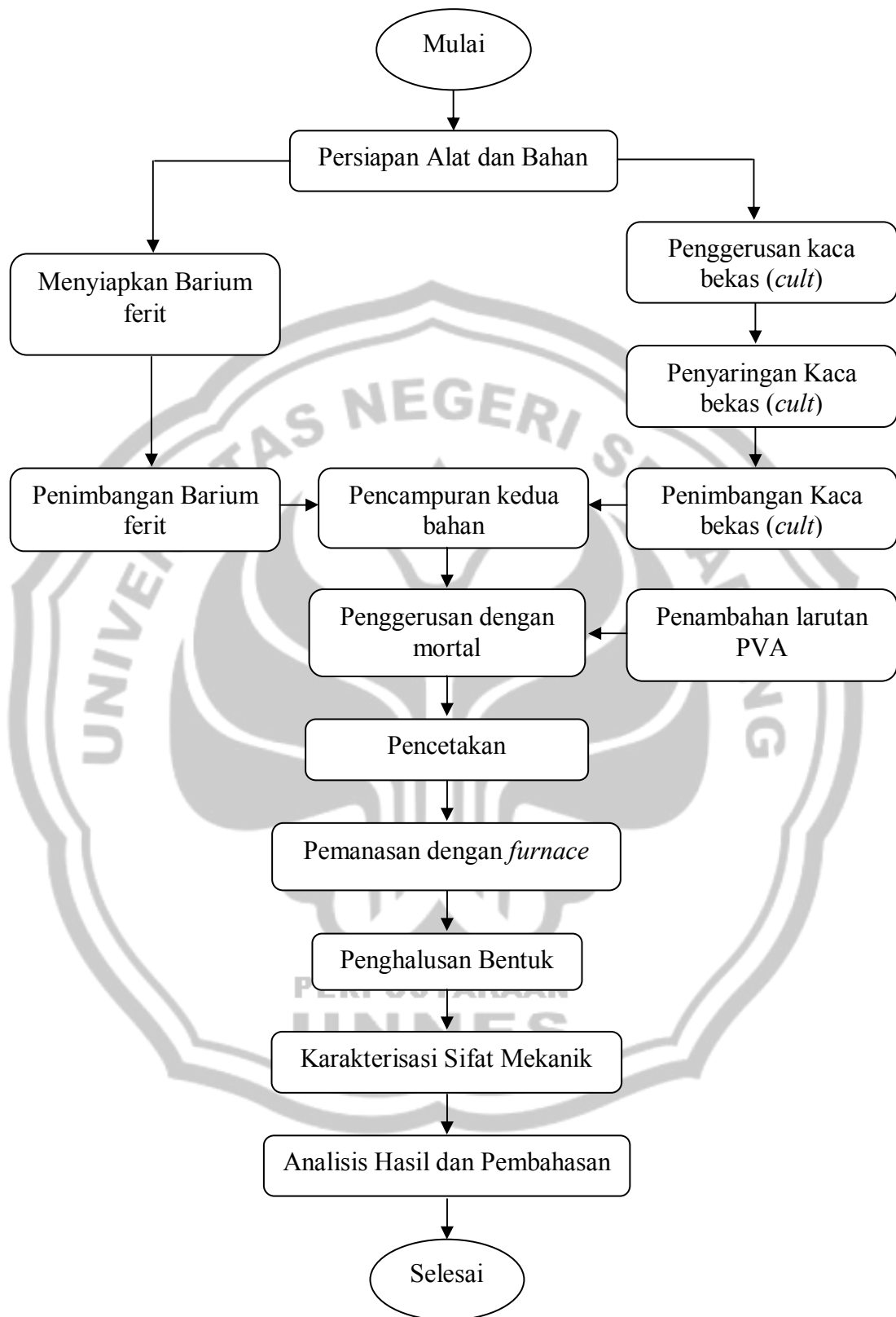


## BAB III

### METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini digunakan metode eksperimen. Penelitian eksperimentasi dilakukan dalam beberapa tahap penting, yaitu penggerusan dan penyaringan kaca bekas (*cult*), menyiapkan serbuk magnet, pencampuran kedua bahan dan digerus dengan mortal, kemudian pencetakan dengan *Hydraulic press*, serta proses oksidasi dengan tungku pemanas, dilanjutkan dengan karakterisasi hasil.

Pada penelitian ini digunakan kaca bekas (*cult*) yang dalam hal ini menggunakan kaca jendela karena lebih bening dan transparan, serbuk magnet  $BaO.6Fe_2O_3$  yang diperoleh dari PT NX Indonesia, dan larutan Polivinil Alkohol (PVA) sebagai perekat. Penggunaan kaca bekas (*cult*) akan menghasilkan produk kaca magnetik yang bersifat unik dan unggul karena sifat-sifat optiknya akan dipengaruhi dan dikendalikan oleh medan magnet luar. Selain itu, kaca bekas mudah untuk didapatkan dan tidak perlu mengeluarkan biaya. Kaca magnetik yang dihasilkan selanjutnya dikarakterisasi sifat mekanik dilakukan di laboratorium Teknik Bangunan Fakultas Teknik UNNES dengan alat California Bearing Ratio. Diagram alur penelitian dengan metode eksperimen pembuatan kaca magnetik ditunjukkan pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.1. Alat dan Bahan

#### 3.1.1. Alat

Alat yang digunakan dalam eksperimen ini meliputi :

1. Neraca digital.
2. *Hydraulic press*.
3. *Furnace*.
4. Mortar.
5. Penyaring.
6. Kertas ampelas.

#### 3.1.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam eksperimen ini meliputi :

1. *Cult* (kaca jendela).
2. *Barium Heksaferit* ( $BaO \cdot 6Fe_2O_3$ ).
3. *Poli Vinil Alkohol* (PVA).
4. Alkohol.
5. Aquades.

### 3.2. Langkah Kerja

#### 3.2.1. Penggerusan

Bahan dasar *cult* (kaca jendela) dihancurkan kemudian dihaluskan dengan cara digerus dengan menggunakan mortal sampai halus. Pada proses penggerusan mortal ditutup dengan kain agar pecahan kaca tidak mengenai bagian tubuh. Selain itu menggunakan masker agar pecahan kaca yang sangat halus tidak masuk ke dalam hidung.

### 3.2.2. Penyaringan

Menyaring berarti memisahkan suatu bahan dengan menuangkannya melalui saringan sehingga didapat butir-butir dengan ukuran tertentu. Penyaringan dimaksudkan untuk menghasilkan butir dengan ukuran tertentu, agar dapat diolah lebih lanjut. Pada proses penyaringan, bahan dibagi menjadi bahan kasar yang tertinggal di atas saringan dan bahan lebih halus yang lolos melalui saringan. Bahan yang tertinggal hanyalah partikel-partikel yang berukuran lebih besar daripada lubang saringan, sedangkan bahan yang lolos berukuran lebih kecil daripada lubang saringan (Bernasconi, 1995). Sebelum kedua bahan dasar dicampur terlebih dahulu kaca disaring dengan menggunakan penyaring teh.

### 3.2.3. Penimbangan

Penimbangan adalah pengukuran berat atau massa dari bahan-bahan padat, cair, atau gas dengan menggunakan timbangan atau neraca (Bernasconi, 1995). Dalam penelitian ini digunakan 5 variasi perbandingan antara kaca bekas (*cult*) dengan Barium Heksaferit ( $BaO.6Fe_2O_3$ ). Kedua bahan dasar terlebih dahulu ditimbang dengan menggunakan timbangan digital, dengan komposisi bahan seperti pada Tabel 3.1. Masing-masing sampel mempunyai massa awal 3 gram.

**Tabel 3.1** Komposisi *cult* dan serbuk magnet barium ferit.

Komposisi bahan	Komposisi I	Komposisi II	Komposisi III	Komposisi IV	Komposisi V
<i>Cult</i>	99,5 %	99,25 %	99 %	98,75 %	98,5 %
$BaO.6Fe_2O_3$	0,5 %	0,75 %	1 %	1,25 %	1,5 %

### 3.2.4. Pencampuran Bahan Dasar

Pencampuran diartikan sebagai proses menghimpun dan membaurkan bahan-bahan. Dalam hal ini dibutuhkan gaya mekanik untuk menggerakkan bahan-bahan. Gaya mekanik dihasilkan oleh alat pencampur. Dalam pencampuran ada dua jenis bahan atau lebih yang sebelumnya dalam keadaan terpisah, kemudian disatukan sehingga diperoleh campuran yang homogen dan mempunyai komposisi bahan yang dikehendaki (Bernasconi, 1995). Kedua bahan dasar yang telah ditimbang sesuai dengan komposisi masing-masing kemudian dicampur secara kering di dalam mortal dan disertai dengan penggerusan. Kemudian ditambahkan PVA beberapa tetes hingga campuran agak basah. Penambahan PVA disini sebagai perekat yang nantinya akan melebur pada suhu 200°C pada saat pemanasan.

### **3.2.5. Pencetakan**

Pencetakan adalah pepadatan partikel-partikel kecil menjadi bagian-bagian yang kompak dan lebih besar serta mempunyai ukuran tertentu. Semua sample mempunyai massa awal yaitu 3 gram. Masing-masing sampel tersebut kemudian dicetak menggunakan *Hydraulic press*. Serbuk yang akan dicetak dimasukkan ke dalam cetakan (*dies*) berbentuk silinder yang terbuat dari besi dengan diameter 2,50 cm, kemudian dipress (ditekan) secara mekanik pada tekanan maksimum alat *press* selama 1 menit, sehingga serbuk tersebut berbentuk silinder tipis (*pellet*).

### **3.2.6. Pemanasan**

Pellet yang dihasilkan kemudian dipanaskan dengan menggunakan *furnace* sampai titik leleh kaca jendela yaitu pada suhu 700°C. Setelah mencapai

suhu 700°C furnace dipertahankan dahulu sampai kira-kira 45 menit supaya pellet dapat meleleh seluruhnya. Setelah 45 menit kemudian furnace diturunkan sampai suhu ruangan.

### 3.2.7. Penghalusan Bentuk

Pellet yang dihasilkan kemudian dihaluskan seluruh permukaan dan bagian tepinya menggunakan ampelas 500cc dan 1000cc.

### 3.2.8. Karakterisasi

Pengujian sifat mekanik adalah pengujian kuat tekan dari bahan yang dihasilkan untuk mengetahui daya tahan hasil sampel kaca magnet terhadap penetrasi. Pengujian menggunakan alat *California Bearing Ratio*. Nilai kuat tekan sampel kaca magnetik dihitung berdasarkan persamaan:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \dots(3.1)$$

$$P = 39,3850 \times X^{0,94} \text{ lbf} \quad \dots(3.2)$$

$$P = 0,45359 \times 39,3850 \times X^{0,94} \text{ kg}$$

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2 \quad \dots(3.3)$$

Keterangan:

$\sigma$  = nilai kuat tekan sampel magnet komposit (kg/cm<sup>2</sup>)

$P$  = berat beban (kg)

$A$  = luas penampang sampel magnet komposit (cm<sup>2</sup>)

$X$  = pembacaan dial (cm)

$d$  = diameter sampel magnet komposit (cm)

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pembuatan Sampel Kaca Magnetik

Proses pembuatan kaca magnetik didahului dengan proses penggerusan kaca jendela (*cult*) kemudian disaring dengan penyaring teh. Serbuk yang lolos saring kemudian digerus lagi sampai halus (dalam hal ini sampai tidak terasa kaca saat disentuh tangan). Kemudian serbuk yang sudah halus ditimbang sesuai dengan komposisi seperti pada Tabel 3.1.

Dalam penelitian ini menggunakan 5 variasi komposisi antara serbuk kaca jendela (*cult*) dengan serbuk barium ferit ( $BaO.6FeO_3$ ). Tujuannya adalah untuk mengetahui komposisi mana yang mempunyai sifat mekanik dan sifat optik yang paling baik. Banyaknya komposisi serbuk barium ferit akan sangat menentukan kekuatan sifat mekanik dan sifat optik yang dihasilkan. Banyaknya serbuk barium ferit tidak boleh lebih dari 2,5% karena komposit yang dihasilkan tidak akan mempunyai sifat optik (tidak lagi berbentuk kaca). Ditambahkannya bahan magnet ke dalam komposisi kaca diharapkan kaca yang dihasilkan akan mempunyai sifat magnet. Tentunya sifat mekanik komposit akan berkurang dibandingkan dengan kaca murni. Pencampuran sampel komposit dimulai dengan perbandingan 0,5%  $BaO.6FeO_3$  : 99,5% kaca jendela = 0,015 : 2,985. Jumlah massa sampel komposit yang digunakan adalah 3 gram.

Proses selanjutnya yaitu pencampuran antara serbuk barium ferit dengan serbuk kaca jendela. Proses ini dilakukan menggunakan mortal selama 10 menit sampai kedua bahan benar-benar telah tercampur. Bahan yang telah dicampur kemudian ditambahkan larutan PVA dua tetes / sampai bahan keliatan agak basah. Penambahan larutan PVA berfungsi sebagai pengikat pada proses pencetakan. Setelah bahan dicampur kemudian dicetak menggunakan alat *Hydraulic Press* pada tekanan maksimum selama 5 menit. Hasil dari cetakan berbentuk silinder tipis (*pellet*).

*Pellet* yang dihasilkan kemudian dipanaskan menggunakan *furnace* pada suhu 700°C (titik leleh kaca jendela). Perlu diketahui bahwa rentang waktu pada proses pencampuran hingga pemanasan tidak boleh terlalu lama karena akan mempengaruhi komposit yang dihasilkan. Ini dibuktikan dengan membandingkan antara *pellet* yang disimpan dahulu setelah proses pencetakan dengan *pellet* yang langsung dipanaskan setelah pencetakan ternyata hasilnya berbeda. Hal ini mungkin dikarenakan larutan PVA yang didiamkan dahulu telah mengering dan bercampur dengan bahan campuran komposit, sehingga mempengaruhi hasil *furnace*. Berbeda dengan *pellet* yang langsung dipanaskan setelah pencampuran dan pencetakan hasilnya akan lebih bagus dan mengkilap.

Setelah proses pemanasan selesai kemudian *pellet* didinginkan sampai pada suhu ruangan. Setelah dingin *pellet* diambil dari *furnace* kemudian dihaluskan permukaannya dengan menggunakan ampelas berukuran 500cc. Proses ini bertujuan agar permukaan *pellet* menjadi halus dan lebih rata karena akan mempengaruhi pada proses pengukuran sifat mekaniknya.

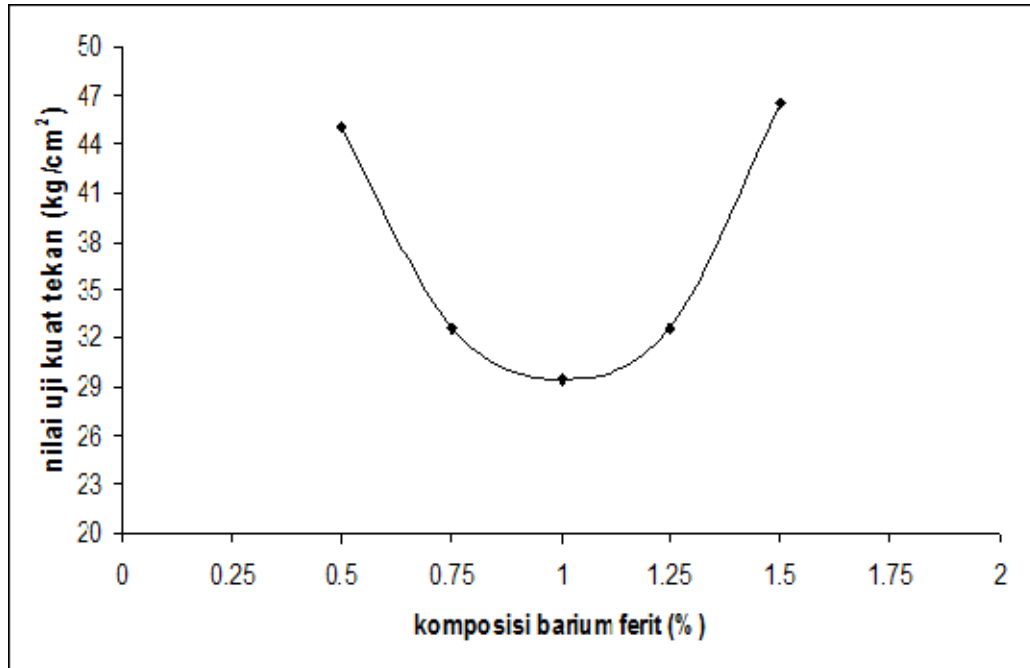


## 4.2 Karakterisasi Sifat Mekanik Kaca Magnetik

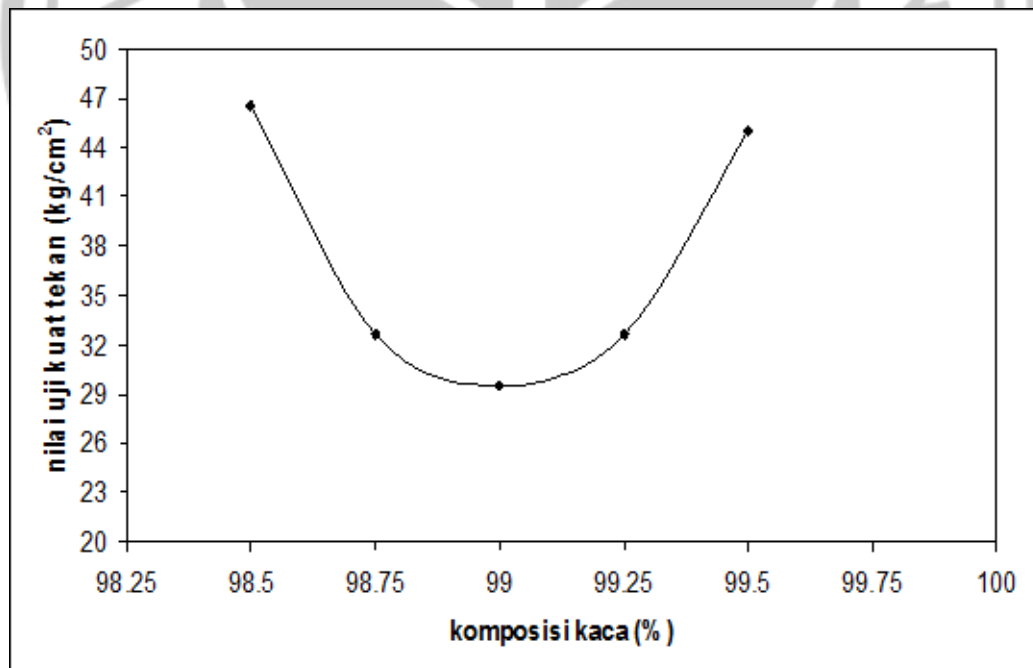
Karakterisasi sifat mekanik berupa uji kuat tekan dari kaca magnetik yang dihasilkan dengan menggunakan alat *California Bearing Ratio* yang terdapat di Teknik Sipil UNNES. Hasil uji kuat tekan terhadap 5 sampel kaca magnetik dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.

**Tabel 4.1** Data uji kuat tekan kaca magnetik.

No	Komposisi Bahan		Luas (cm <sup>2</sup> )	Daya Tekan (kg)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Rata-rata
1	0,5% $BaO.6Fe_2O_3$ 99,5% <i>Cult</i>	I	3,8	106,17	27.94	45,0133
		II	3,8	265,42	69.85	
		III	3,8	141,56	37.25	
2	0,75% $BaO.6Fe_2O_3$ 99,25% <i>Cult</i>	I	3,8	88,47	23.28	32,5933
		II	3,8	141,56	37.25	
		III	3,8	141,56	37.25	
3	1% $BaO.6Fe_2O_3$ 99% <i>Cult</i>	I	3,8	70,78	18.63	29,4933
		II	3,8	106,17	27.94	
		III	3,8	159,25	41.91	
4	1,25% $BaO.6Fe_2O_3$ 98,75% <i>Cult</i>	I	3,8	141,56	37.25	32,5933
		II	3,8	88,47	23.28	
		III	3,8	141,56	37.25	
5	1,5% $BaO.6Fe_2O_3$ 98,5% <i>Cult</i>	I	3,8	106,17	27.94	46,5633
		II	3,8	247,72	65.19	
		III	3,8	176,95	46.56	
6	Kaca murni		3,8	141,56	37,25	

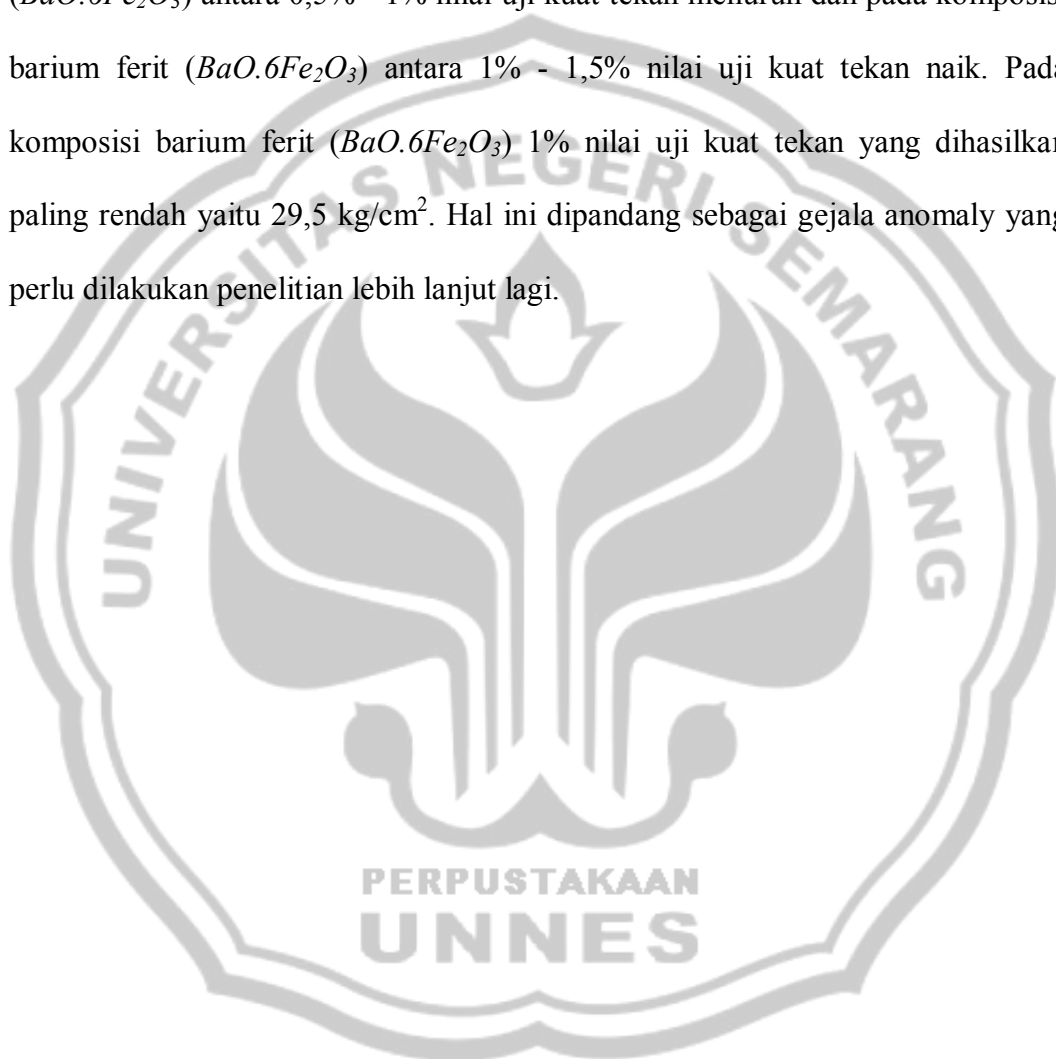


**Gambar 4.1** Kurva hubungan nilai uji kuat tekan kaca magnetik dengan komposisi barium ferit.



**Gambar 4.2** Kurva hubungan nilai uji kuat tekan kaca magnetik dengan komposisi *cult*.

Dari hasil uji kuat tekan yang dilakukan terhadap kaca magnetik dengan 5 komposisi barium ferit ( $BaO.6Fe_2O_3$ ) antara 0,5% – 1,5% dapat menghasilkan kaca magnetik secara baik dan efektif. Nilai uji kuat tekan yang dihasilkan berkisar antara 29,5 – 46,6 kg/cm<sup>2</sup> (Gambar 4.1). Pada komposisi barium ferit ( $BaO.6Fe_2O_3$ ) antara 0,5% - 1% nilai uji kuat tekan menurun dan pada komposisi barium ferit ( $BaO.6Fe_2O_3$ ) antara 1% - 1,5% nilai uji kuat tekan naik. Pada komposisi barium ferit ( $BaO.6Fe_2O_3$ ) 1% nilai uji kuat tekan yang dihasilkan paling rendah yaitu 29,5 kg/cm<sup>2</sup>. Hal ini dipandang sebagai gejala anomaly yang perlu dilakukan penelitian lebih lanjut lagi.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Kaca magnetik dapat dibuat dengan cara mencetak dan memanaskan campuran antara bahan kaca bekas (*cult*) dengan bahan serbuk magnet barium ferit ( $BaO.6Fe_2O_3$ ).
2. Pada komposisi barium ferit sebesar 0,5%, 0,75%, 1%, 1,25%, 1,5% dapat menghasilkan kaca magnetik secara baik dan efektif.
3. Pada komposisi bahan serbuk magnet barium ferit sebesar 1% diperoleh nilai uji kuat tekan yang paling rendah, hal ini dipandang sebagai gejala anomaly yang perlu dilakukan penelitian lebih lanjut lagi.
4. Variasi komposisi serbuk magnet berpengaruh terhadap nilai uji kuat tekan yang dihasilkan.

#### 5.2 Saran

Saran-saran yang bisa penulis berikan agar dikemudian hari jika penelitian ini dikembangkan supaya diperoleh hasil yang lebih baik antara lain :

1. Pengukuran sifat mekanik kaca magnetik sebaiknya menggunakan alat mikro agar hasil yang didapatkan lebih baik.

2. Memperhatikan lebih teliti lagi pada saat proses pencetakan dan proses pemanasan.
3. Diperlukan variasi komposisi yang lebih banyak untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dari sifat mekaniknya.



## DAFTAR PUSTAKA

- A.Karokaro, Suharpiyu, M.Febri, Mujamilah, E.Yulianti, S.Purwanto, Ridwan, Sudirman. 2002. *Aplikasi Resin Pliester dan Epoksi dalam Pengembangan Rigid Bonded Magnet*. Jurnal Sains Materi Indonesia vol.3 No.2. Tangerang:Puslitbang Iptek Bahan (P3IB) BATAN.
- B.D. Cullity. 1972. *Introduction to Magnetic Material*. Canada: Addison-Wesley Publishing Company Inc.
- B.K.Hadi. 2000. *Mekanika Struktur Komposit*. Departemen Pendidikan Nasional.
- Bernasconi, Gerster, Hauser, Stauble, Schneiter. 1995. *Teknologi Kimia bagian 1*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Bernasconi, Gerster, Hauser, Stauble, Schneiter. 1995. *Teknologi Kimia bagian 2*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Billah, Arif. 2006. *Pembuatan dan Karakterisasi Magnet Stronsium Ferit Dengan Bahan Dasar Pasir Besi*. Skripsi. Jurusan Fisika FMIPA UNNES: Semarang.
- Doremus, R. 1973. *Glass Science*. Canada : John Wiley and Sons.
- E.Yulianti, Sudirman, Ridwan, D.Listiana. 2002. *Sifat Mekanik Magnet Komposit Berbasis Serbuk Magnet MQP-0 dan Polimer Termoplastik*. Jurnal Sains Materi Indonesia vol.3 No2. Tangerang: Puslitbang Iptek Bahan (P3IB) BATAN.
- El-Mallawany, Raouf A.H. 2002. *Tellurite Glasses Handbook (Physical Properties and Data)*. Florida: CRC Press.
- Goldman, A. 1990. *Modern Ferrite Technology*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Jatiutoro, Purwo. 2006. *Pembuatan dan Karakterisasi Magnet Komposit Dari Bahan Magnet Barium Heksaferit ( $BaO.6Fe_2O_3$ ) Dengan Bahan Pengikat Semen Portland*. Skripsi. Jurusan Fisika FMIPA UNNES : Semarang.
- Jones, G.O. 1956. *Glass*. London: Methuen

- Klimychev.V.N, Shadrin.V.K, Bleklov.D.V. 2005. Automation of Thermotechnical Machinery in Glass Production. *Glass and Ceramics*. Vol.62, Nos 3-4.
- N.Idayanti, Dedi. 2002. *Pembuatan Magnet Permanen Ferit untuk Flow Meter*. Jurnal Fisika HFI vol.A5 No.0528. Tangerang: Himpunan Fisika Indonesia.
- Sudirman, Ridwan, Mujamilah, H.Julaiha, E.Hayati. 2001. *Analisis Sifat Mekanik dan Magnetik Magnet Komposit Berbasis Heksaferit  $SrFe_{12}O_{19}$  dengan matriks Polipropilena dan Polietilena*, Jurnal Sains Materi Indonesia vol.3 No.2. Tangerang: Puslitbang Iptek Bahan (P3IB) BATAN.
- Sudirman, Ridwan, Mujamilah, S.Budiman, F.E.Putri. 2002. *Studi Elastoferit Berbasis Etil Vinil Asetat (EVA) dan Elastomer Termoplastik (ETP) dan Pengujian Sifat Mekanik, Struktur Mikro dan Magnetiknya*. Jurnal Sains Materi Indonesia vol.3 No.2. Tangerang: Puslitbang Iptek Bahan (P3IB) BATAN.
- Sulhadi. 2007. *Structural and Optical Properties Studies of Erbium Doped Tellurite Glasses*. Thesis Doctor of Philosophy, Universiti Teknologi Malaysia
- T.Surdia, S.Saito. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Yulianto. A., S. Bijaksana, dan W. Loeksmanto. 2002. *Karakterisasi Magnetik dari Pasir Besi Cilacap*, Jurnal Fisika HFI Vol. A5 No.0527. Tangerang: Himpunan Fisika Indonesia.
- Yulianto. A., S. Bijaksana, W. Loeksmanto dan D. Kurnia. 2003. *Produksi Hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) dari Pasir Besi Pemanfaatan Potensi Alam Sebagai Bahan Industri Berbasis Sifat Kemagnetan*, Jurnal Sains Materi Indonesia. Jakarta: BATAN.
- Zarzycki, Jerzy.,Prassa, M. dan Phalippou, J., *Synthesis of Glasses from Gels : The Problem of Monolithic Gels*; Journal of Materials Science 17, p. 3371-3379, 1982.
- Zhang. L. 2006. *Ferrite for UHF Applications*. USA: Ohio State University.



# LAMPIRAN



## Lampiran 1

**Data uji kuat tekan kaca magnetik.**

No	Komposisi Bahan		Luas (cm <sup>2</sup> )	Daya Tekan (kg)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Rata-rata
1	0,5% $BaO.6Fe_2O_3$ 99,5% <i>Cult</i>	I	3,8	106,17	27.94	45,0133
		II	3,8	265,42	69.85	
		III	3,8	141,56	37.25	
2	0,75% $BaO.6Fe_2O_3$ 99,25% <i>Cult</i>	I	3,8	88,47	23.28	32,5933
		II	3,8	141,56	37.25	
		III	3,8	141,56	37.25	
3	1% $BaO.6Fe_2O_3$ 99% <i>Cult</i>	I	3,8	70,78	18.63	29,4933
		II	3,8	106,17	27.94	
		III	3,8	159,25	41.91	
4	1,25% $BaO.6Fe_2O_3$ 98,75% <i>Cult</i>	I	3,8	141,56	37.25	32,5933
		II	3,8	88,47	23.28	
		III	3,8	141,56	37.25	
5	1,5% $BaO.6Fe_2O_3$ 98,5% <i>Cult</i>	I	3,8	106,17	27.94	46,5633
		II	3,8	247,72	65.19	
		III	3,8	176,95	46.56	
6	Kaca murni		3,8	141,56	37,25	

## Lampiran 2

## Foto Alat Penelitian



Gambar hydraulic press cap 16 ton Ram Dia 100 mm



Gambar Furnace



Gambar Timbangan Digital



Gambar Mortal dan Saringan



Gambar Serbuk Gerusan Kaca



Gambar Serbuk PVA



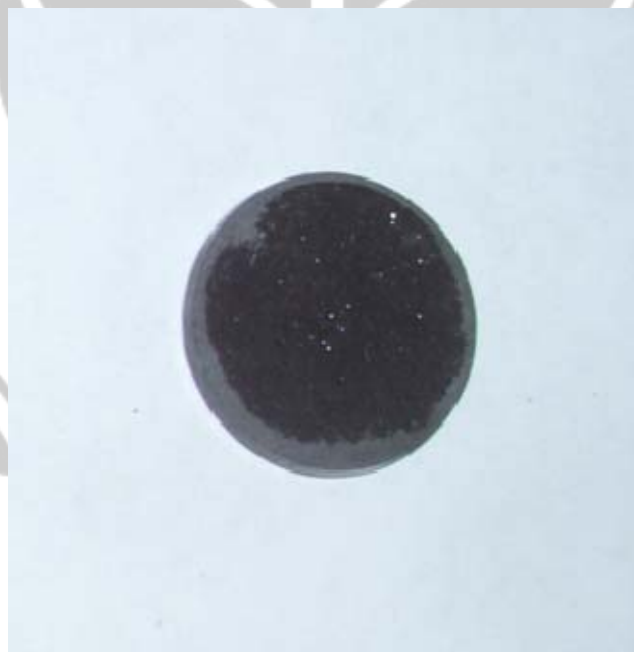
Gambar Serbuk Barium Ferit



Gambar Kaca Magnetik dengan komposisi barium ferit 0,5%



Gambar Kaca Magnetik dengan komposisi barium ferit 0,75%



Gambar Kaca Magnetik dengan komposisi barium ferit 1%



Gambar Kaca Magnetik dengan komposisi barium ferit 1,25%



Gambar Kaca Magnetik dengan komposisi barium ferit 1,5%