



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Unand.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Unand.

PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI BONDED MAGNET (BaFe₁₂O₁₉+ ADITIF Al₂O₃) DENGAN VARIASI BERAT EPOXY RESIN

SKRIPSI



MUJAHIDIN SALAM

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG 2011**

PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI *BONDED* MAGNET

($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ + ADITIF Al_2O_3) DENGAN VARIASI BERAT EPOXY RESIN

Abstrak

Telah dilakukan pembuatan dan karakterisasi *bonded* magnet ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ + Aditif Al_2O_3) dengan variasi berat epoxy resin. Pembuatan dimulai dengan pencampuran BaCO_3 , hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan Al_2O_3 dengan bantuan aquades dan diaduk dengan *Magnet Stirrer* sampai terbentuk pasta. Perbandingan mol BaCO_3 dan hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) adalah 1:6 dan 1:6,2 sedangkan variasi Al_2O_3 terhadap berat sampel adalah 0, 0,3, 0,6 %. Seterusnya dikeringkan dalam oven suhu 100 °C sampai semua aquades menguap. Sampel dikalsinasi dengan temperatur 1100 C selama dua jam. Kemudian digiling dengan *Ball Mill* selama kurang lebih 30 jam. Hasil penggilingan disaring dengan saringan 400 mesh sebelum ditambahkan epoxy resin dengan variasi epoxy resin terhadap berat sampel 10,15,20,25 % dan dicetak dengan tekanan 100 kg/cm². Hasil XRD menunjukkan perbandingan mol BaCO_3 dan hematit 1:6 menghasilkan 100% fase $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sedangkan perbandingan mol 1:6,2 hanya menghasilkan 62% fase $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$. Permagraph C memperlihatkan sifat magnet sampel. Penambahan epoxy resin menyebabkan penurunan nilai densitas, remanensi, dan $(\text{BH})_{\text{max}}$ namun meningkatkan koersifitas. Penambahan aditif Al_2O_3 menurunkan nilai densitas, remanensi dan $(\text{BH})_{\text{max}}$ namun meningkatkan koersifitas. Penambahan aditif Al_2O_3 0,3% menghasilkan koersifitas tertinggi untuk semua variasi jumlah epoxy dan penambahan epoxy 20% pada aditif alumina 0,3% menghasilkan koersifitas tertinggi untuk semua sampel (3,684 kOe), dengan remanensi 950 G, $(\text{BH})_{\text{max}}$ 0,2 MGOe, dan densitas 2,32 g/cm³.

Kata kunci : *Bonded* magnet, $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$, Al_2O_3 , Epoxy resin, koersifitas, remanensi, BH_{max} .

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim..

Puji dan syukur kepada ALLAH SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan Tugas Akhir yang berjudul “PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI *BONDED* MAGNET ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ + ADITIF Al_2O_3) DENGAN VARIASI BERAT EPOXY RESIN”. Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana sains program S1 Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada:

1. Dr. Dahyunir Dahlan selaku dosen pembimbing, atas segala kesabaran dalam membimbing, meluangkan waktu, pikiran dan tenaga. Terimakasih atas ilmu dan bantuan dalam proses Tugas Akhir.
2. Ir. Muljadi, M.Si selaku pembimbing lapangan yang memberikan banyak ilmu baru. Menyadarkan bahwa diri ini tak ada apa-apanya. Terimakasih atas segala bantuan, dan kenangan saat berada di lapangan serta pada proses penyelesaian Tugas Akhir.
3. Para penguji yang senantiasa memberikan masukan dan perbaikan Tugas Akhir : Dr. Elvaswer, Drs. Alimin Mahyudin, M.Si, dan Pak Rahmat Rasyid, M.Si.
4. Peneliti dan rekan-rekan di LIPI Serpong Tangerang atas pengalaman dan ilmu yang diberikan.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, penulisan menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhirnya, penulis berharap agar apa yang terdapat dalam Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk siapa saja. Amin.

Padang, 25 Juli 2011

Mujahidin Salam



DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	3
1.3 Manfaat	4
1.4 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Landasan Teori	6
2.2.1 Dipol dan Momen Magnet	6
2.2.2 Induksi Magnetik, Magnetisasi Permeabilitas dan Suseptibilitas	7
2.2.3 Klasifikasi Material	9
2.2.4 Domain	13
2.2.5 Kurva Histerisis	14
2.2.6 Magnet Ferit	17
2.2.7 Pembuatan magnet Ferit	19
2.2.8 Bonded Magnet	21
2.2.9 Epoxy Resin	22
2.2.10 Karakterisasi	23

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian	29
3.2 Alat dan Bahan	29
3.2.1 Alat Penelitian	29
3.2.2 Bahan Penelitian	30
3.3 Tahapan Penelitian	31
3.3.1 Diagram Alir	31
3.3.2 Pembuatan Bonded Magnet Permanen	31
3.3.3 Karakterisasi	34

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa XRD	35
4.2 Densitas	37
4.3 Sifat Magnetik	38
4.3.1 Remanensi	38
4.3.2 Koersifitas	40
4.3.3 $(BH)_{max}$	42
4.4 Komparasi Karakteristik dengan Produk Komersial dan Literatur	44

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	45

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

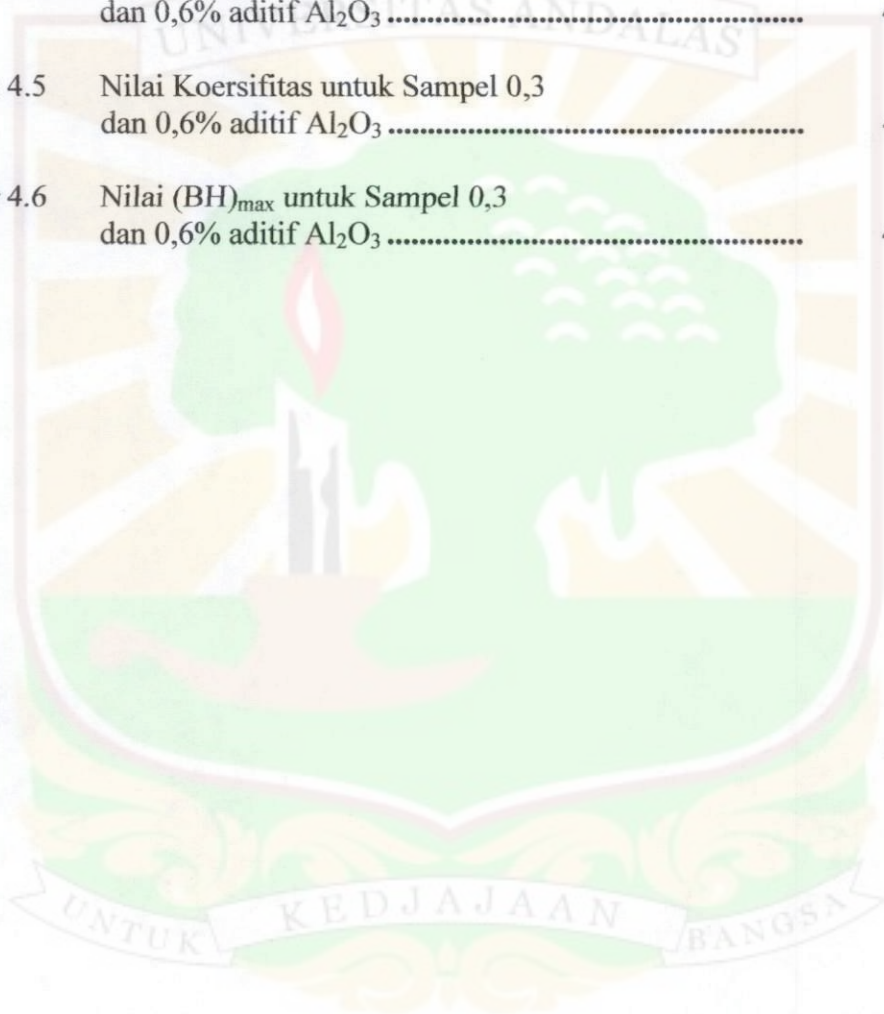
DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Satuan Magnetik dan Konversi Untuk Sistem cgs-emu dan SI	9
Tabel 2.2 Suseptibilitas Magnet pada Temperatur Ruang Untuk Material-material Diamagnetik dan Paramagnetik	11
Tabel 2.3 Karakteristik Magnet Ferit Kuat	18
Tabel 2.4 Karakteristik Bonded Magnet Ferit	21
Tabel 3.1 Komposisi Serbuk yang Dibuat	32
Tabel 4.1 Densitas Masing-masing Sampel	37
Tabel 4.2 Nilai Remanensi Masing-masing Sampel	39
Tabel 4.3 Nilai Koersifitas Masing-masing Sampel	40
Tabel 4.4 Nilai $(BH)_{\max}$ Masing-masing Sampel	42

DAFTAR GAMBAR

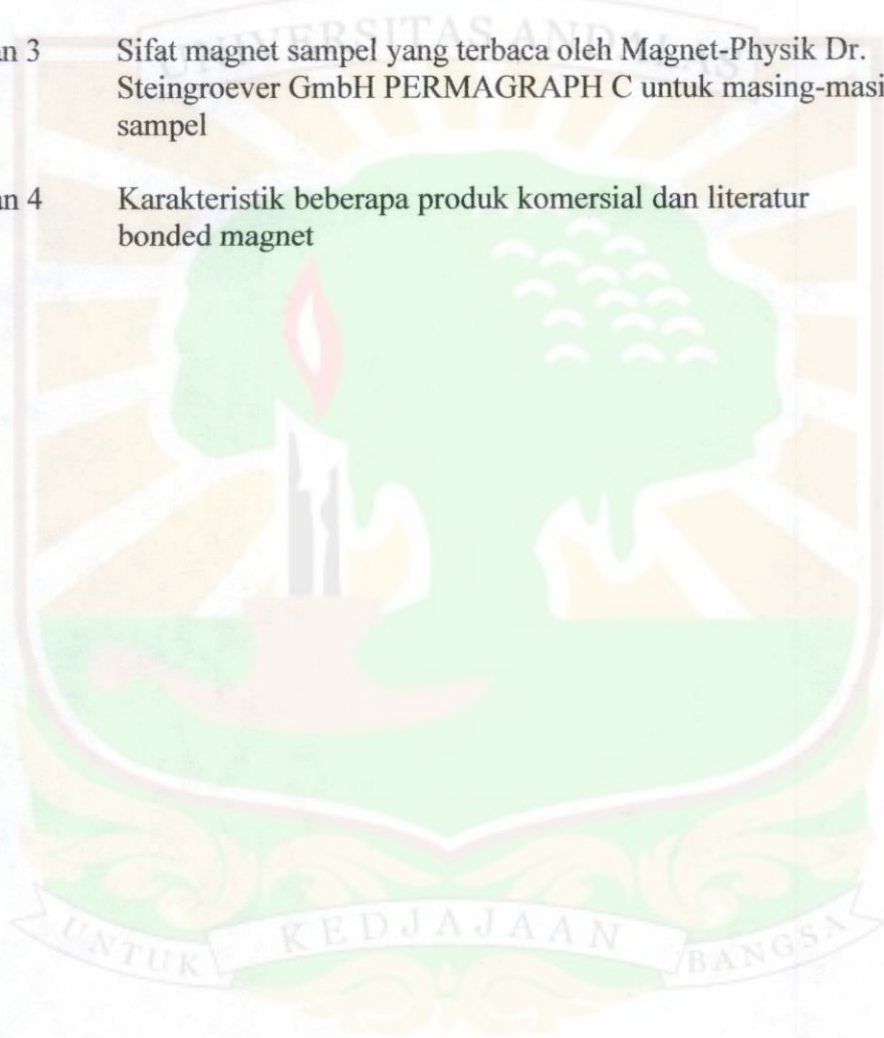
	Halaman
Gambar 2.1 Konfigurasi dipol atom untuk material diamagnetik dengan dan tanpa medan magnet	10
Gambar 2.2 Klasifikasi material magnet	11
Gambar 2.3 Skema pensejajaran momen magnetik dalam material paramagnetik	11
Gambar 2.4 Penggambaran Skematik Domain Dalam Material Feromagnetik dan Ferimagnetik	14
Gambar 2.5 Kurva B vs H untuk material feromagnetik dan ferimagnetik yang tidak mempunyai magnetisasi awal	15
Gambar 2.6 Induksi magnet vs kuat medan magnet untuk material feromagnetik yang mengalami saturasi maju dan mundur	16
Gambar 2.7 Struktur barium hexaferrit	18
Gambar 2.8 Diagram fasa BaO-Fe ₂ O ₃	20
Gambar 2.9 Struktur Cincin Epoxy	22
Gambar 2.10 Struktur dan Sifat Epoxy Resin	23
Gambar 2.11 Magnet-Physik Dr. Steingroever Permagraph C	25
Gambar 2.12 Difraktometer sinar-X secara skematik	26
Gambar 2.13 Skema proses difraksi	27
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	31
Gambar 3.2 (a) Serbuk hematit (b) Serbuk BaCO ₃	32
Gambar 3.3 (a) Ayakan 400 mesh (b) mortar	33
Gambar 3.4 Fixed electromagnet	34

Gambar 4.1	Hasil XRD untuk Sampel dengan Perbandingan 1:6	35
Gambar 4.2	Hasil XRD untuk Sampel dengan Perbandingan 1:6,2	36
Gambar 4.3	Perbandingan Densitas Praktek	38
Gambar 4.4	Nilai Remanensi untuk Sampel 0,3 dan 0,6% aditif Al_2O_3	40
Gambar 4.5	Nilai Koersifitas untuk Sampel 0,3 dan 0,6% aditif Al_2O_3	41
Gambar 4.6	Nilai $(BH)_{max}$ untuk Sampel 0,3 dan 0,6% aditif Al_2O_3	44



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Hasil XRD terhadap serbuk $\text{BaCO}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yang sudah dikalsinasi dengan perbandingan mol 1 : 6
- Lampiran 2 Hasil XRD terhadap serbuk $\text{BaCO}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yang sudah dikalsinasi dengan perbandingan mol 1 : 6,2
- Lampiran 3 Sifat magnet sampel yang terbaca oleh Magnet-Physik Dr. Steingroever GmbH PERMAGRAPH C untuk masing-masing sampel
- Lampiran 4 Karakteristik beberapa produk komersial dan literatur bonded magnet



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Kita dikelilingi oleh material magnet yang memainkan peranan penting dalam banyak peralatan sehari-hari kita. Motor AC dan DC yang banyak digunakan (sebuah mobil mutakhir mempunyai lebih dari 20 motor DC); transformator listrik, yang mengirimkan energi ke rumah dan keperluan industri; peralatan video dan audio; telepon dan sistem telekomunikasi yang menghubungkan benua dengan kecepatan mendekati kecepatan cahaya; sistem penyimpanan data (disket dan CD) yang ‘menyerap’ hampir semua aktifitas manusia (Valenzuela, 1994).

Pasar material magnet kuat dewasa ini didominasi oleh dua kelompok material, hexagonal ferit dan NdFeB (Coey, 2009). Hexagonal barium ferit yang mempunyai rumus kimia $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (BaM) tetap digunakan secara luas meskipun memiliki kuat magnet yang lebih rendah daripada magnet NdFeB. Barium ferit menarik baik secara sains dan teknologi dikarenakan temperatur curie, koersifitas, medan anisotropi magnetik yang tinggi sebagaimana kestabilan kimia dan resistifitas terhadap korosi yang baik.

Hal yang cukup menggembirakan adalah bahwa bahan alamiah besi oksida terdapat secara melimpah di Indonesia, salah satu contohnya adalah dalam bentuk pasir besi. Dalam pasir besi terkandung beberapa anggota besi oksida, misalnya magnetit (Fe_3O_4), maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan hematit, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (Yulianto, 2002).

Kedua bahan yang disebut terakhir memiliki komposisi kimia yang sama tetapi Fe_3O_4 memiliki struktur kristal yang berbeda (Dunlop, 1997).

Material magnet ferit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ merupakan jenis magnet keramik yang banyak dijumpai disamping material magnet $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ dan $\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19}$. Seperti pada jenis oksida lainnya, material magnet tersebut memiliki sifat mekanik yang sangat kuat dan tidak mudah terkorosi. Koefisien temperatur dari koersivitas instrinsik bernilai positif untuk ferit permanen sehingga bisa digunakan pada temperatur yang cukup tinggi.

Magnet permanen bisa diproduksi dengan proses sintering atau dengan mencampur serbuk magnet dengan polimer (*bonded*). Dengan menggunakan proses sintering untuk menyatukan partikel kumpulan serbuk dengan perlakuan panas yang meningkat (Callister, 2007) magnet yang dihasilkan disebut *Sintered* magnet. Sedangkan magnet yang dibuat dengan mencampur serbuk magnet dengan polimer sebagai pengikat dinamakan *bonded* magnet.

Sintered magnet memiliki sifat magnet yang lebih baik daripada *bonded* magnet sehingga bisa digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan medan magnet besar seperti motor-motor listrik, generator listrik atau speaker. Proses sintering juga memberikan kepadatan yang tinggi dan membuat *Sintered* magnet memiliki sifat mekanik keras dan rapuh seperti halnya keramik. Akan tetapi sampel *Sintered* magnet akan mengalami penyusutan dikarenakan temperatur tinggi (sekitar 1000-1250 C) yang diberikan dengan waktu yang lama. Untuk magnet anisotropy terjadi penyusutan sampai 25 % untuk paralel dan 10% untuk tegak lurus 'arah yang disukai' (Valenzuela, 1994).

Dua keuntungan besar dari *bonded* magnet adalah sifat mekanik yang unggul dan geometri yang sulit bisa dibuat dalam bentuk yang rapi menggunakan proses produksi berbiaya rendah (Buschow, 2005). Tidak adanya proses sintering membuat *bonded* magnet tidak akan mengalami perubahan bentuk (penyusutan). Namun karena adanya penambahan bahan non-magnetik tentunya akan menurunkan sifat magnetik *bonded* magnet. Sehingga aplikasinya terbatas pada motor-motor kecil seperti *brushless DC motor*, *stepper motor*, sensor-sensor pada industri dan otomotif yang tidak terlalu membutuhkan medan magnet besar.

Sifat mekanik dan magnetik *bonded* magnet masih bisa ditingkatkan dengan penambahan zat aditif. Zat aditif seperti TiO_2 , SiO_2 , Al_2O_3 diharapkan mampu mengontrol pertumbuhan butir dan meningkatkan sifat magnet seperti koersifitas dan remanensi serta ketangguhan bahan (Smit & Wijin, 1959).

1.2 Tujuan

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh perbandingan mol serbuk BaCO_3 dan Fe_2O_3 terhadap fasa yang terbentuk.
2. Mengetahui karakteristik magnet permanen *bonded* $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ yang dihasilkan meliputi sifat magnetik dan densitas terhadap berbagai variasi komposisi epoxy dan zat aditif Al_2O_3 .

1.3 Manfaat

Pengembangan wilayah penelitian di bidang material magnetik karena masih belum banyak penelitian terkait pembuatan dan karakterisasi magnet permanen *bonded* $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan berbagai variasi komposisi polimer dan zat aditifnya.

1.4 Batasan Masalah

1. Perbandingan mol serbuk BaCO_3 dan Fe_2O_3 adalah 1: 6 dan 1: 6,2
2. Variasi komposisi epoxy terhadap berat sampel adalah (10,15,20,25)%.
3. Variasi zat aditif Al_2O_3 terhadap berat sampel adalah (0, 0,3, 0,6)%.
4. Fasa yang terbentuk diketahui dari hasil XRD
5. Sifat magnetik yang akan dilihat adalah besaran remanensi (B_r), koersifitas (H_c), energi hasil maksimum $(BH)_{\text{maks}}$.
6. Sifat fisik yang akan dilihat adalah densitas

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang efek jumlah epoxy resin dalam campuran serbuk magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ terhadap sifat magnetik telah dilakukan Stabik dkk tahun 2009 dengan hasil remanensi meningkat dengan jumlah serbuk magnet yang lebih banyak. Hasil yang sama juga diperoleh oleh penelitian Grujic dkk tahun 2009 untuk material magnet NdFeB.

Namun hasil yang sedikit berbeda didapatkan Zhang dkk tahun 2010 untuk material magnet anisotropik NdFeB dengan variasi epoxy 0, 0.5, 1, 1.5 % berat. Sampel dengan jumlah epoxy 1% berat memiliki $(\text{BH})_{\text{max}}$ tertinggi bukan sampel dengan jumlah epoxy lebih sedikit (0 atau 0.5 %).

Efek perbedaan rasio Fe dan Ba pada material magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ terhadap struktur kristal yang terbentuk telah diteliti oleh Xu dkk tahun 2007 dengan teknik *reverse micelle* dengan temperatur kalsinasi 950°C selama 6 jam untuk rasio Fe/Ba 9.5, 10, 10.5, 11, 11.5 dan 12. Fase tunggal $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ muncul untuk rasio 10.5 dan 11 sementara pada sampel yang lainnya muncul fase $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ yang non-magnetik.

Sifat magnetik fase tunggal $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ menghasilkan saturasi magnetisasi dan remanensi yang paling besar, dan koersifitas instrinsik relatif lebih tinggi. $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ pada sampel lain menurunkan sifat magnet namun koersifitas sampel dengan rasio 9.5 dan 10 dengan tidak normal lebih tinggi daripada fase tunggal $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$.

Pengaruh penambahan aditif Al_2O_3 terhadap sifat magnet telah dilakukan oleh Priyono tahun 2004 untuk material magnet $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ yang disinter dengan variasi jumlah alumina 0, 0.5, 1, 1.5 %. Didapatkan peningkatan sifat magnetik tertinggi meski tidak signifikan pada variasi 0.5 % Al_2O_3 .

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Dipol dan Momen Magnet

Material magnet terdiri dari dipol-dipol magnet yang bisa dibayangkan sebagai magnet batang kecil yang masing-masingnya memiliki kutub utara dan selatan. Didalam medan magnet, dipol magnet ini akan mengalami torsi yang akan membuatnya memiliki arah yang sama dengan medan tersebut. Contoh yang mudah adalah jarum kompas yang sejajar dengan medan magnet bumi (Callister, 2007).

Dipol-dipol magnet ini memiliki arah sehingga disebut momen dipol magnet atau momen magnet saja. Momen magnet total dari suatu material magnet adalah penjumlahan momen magnet semua dipol magnet sehingga momen magnet yang sejajar akan saling memperkuat dan sebaliknya momen magnet yang berlawanan arah akan saling menghilangkan.

Momen magnet material magnetik berasal dari elektron-elektron penyusunnya. Masing-masing elektron dalam atom mempunyai momen magnet yang berasal dari dua sumber. Pertama, dari pergerakannya mengelilingi inti sebuah elektron bisa digambarkan sebagai loop arus kecil, menimbulkan medan magnetik yang sangat kecil dan mempunyai momen magnet sepanjang sumbu

rotasinya. Kedua, dari spin elektron yang mempunyai arah sepanjang sumbu spin. Momen magnet spin bisa ke atas atau ke bawah. Untuk sebuah atom mempunyai kulit elektron atau subkulit yang terisi penuh, ketika semua elektron diperhitungkan, terjadi penghilangan total momen orbital dan spin. Sehingga material tersebut tidak bisa dimagnetisasi secara permanent seperti gas inert (He, Ne, Ar, dll) dan beberapa material ionik (Callister, 2007).

2.2.2 Induksi magnetik, magnetisasi, permeabilitas dan suseptibilitas

Jika medan magnet H dengan satuan A/m dikerahkan pada sebuah material, respon dari material tersebut disebut induksi magnetik B dengan satuan tesla (atau Wb/m^2). Hubungan antara B dan H adalah sifat dari material tersebut. Pada beberapa material (dan dalam ruang terbuka), B adalah fungsi linier dari H , namun secara umum hal ini lebih rumit dan kadang-kadang bukan nilai tunggal. Persamaan yang menghubungkan B dan H adalah (dalam SI)

$$B = \mu_0(H + M) \quad (2.1)$$

dimana μ_0 adalah permeabilitas ruang hampa dan merupakan konstanta universal dengan nilai $4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$.

Ketika medan H diberikan, momen magnet di dalam material cenderung untuk menjadi sejajar dengan medan dan memperkuatnya dengan medan magnet sendiri dan $\mu_0 M$ adalah ukuran kontribusi tersebut. M adalah sifat material dan tergantung pada momen magnet masing-masing ion, atom atau molekul dan bagaimana momen magnet ini berinteraksi satu sama lain. Magnetisasi

didefinisikan sebagai momen magnet per satuan volum. Satuan M dalam SI sama dengan H yaitu A/m (Spaldin, 2003).

$$M = \frac{m}{V} \quad (2.2)$$

Dimana M adalah magnetisasi, m adalah momen magnet dan V adalah volume (cm^3)

Sifat dari suatu material diketahui tidak hanya dari magnetisasi atau dari induksi magnetik, tapi dari cara kuantitas tersebut berubah terhadap medan magnet. Rasio M dan H disebut suseptibilitas (tanpa satuan):

$$\chi = \frac{M}{H} \quad (2.3)$$

Suseptibilitas menunjukkan tingkat responsif sebuah material terhadap medan magnetik yang dikerahkan. Karena M adalah momen magnet per satuan volum, χ juga mengacu ke satuan volume dan terkadang disebut suseptibilitas volum. Suseptibilitas juga bisa didefinisikan dalam bentuk massa, berat atomik, berat molekul (Cullity, 2009). Dengan mensubstitusi persamaan (2.3) ke persamaan (2.1) maka didapatkan persamaan

$$B = \mu_0 H (1 + \chi) \quad (2.4)$$

Sedangkan rasio B dan H disebut permeabilitas :

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (2.5)$$

Permeabilitas menunjukkan tingkat dapat 'ditembusnya' suatu material oleh medan magnetik. Suatu material dengan densitas fluks yang tinggi didalamnya mempunyai permeabilitas yang tinggi. Dalam SI suseptibilitas tidak mempunyai dimensi, dan permeabilitas mempunyai satuan henry/m (Spaldin, 2003).

Juga terdapat parameter permeabilitas relatif μ_r (tanpa satuan) yang didefinisikan sebagai perbandingan permeabilitas material dengan permeabilitas ruang hampa

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \tag{2.6}$$

Permeabilitas relatif dan suseptibilitas mempunyai hubungan sebagai berikut

$$\chi = \mu_r - 1 \tag{2.7}$$

Tabel 2.1 memperlihatkan satuan magnetik baik cgs-emu maupun SI dan konversinya

Tabel 2.1 satuan magnetik dan konversi untuk sistem cgs-emu dan SI

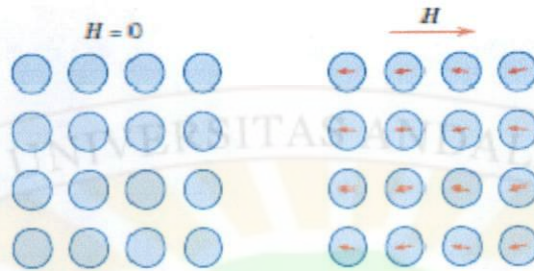
Kuantitas	Simbol	Satuan SI	Satuan cgs- emu	Konversi
Induksi magnetik	B	Tesla(Wb/m ²)	Gauss	1 Wb/m ² = 10 ⁴ gauss
Kuat medan magnet	H	Amp-turn/m	Oersted	1 amp-turn/m = 4 π x 10 ⁻³ oersted
Magnetisasi	M (SI) I (cgs-emu)	Amp-turn/m	Maxwell/cm ²	1 amp-turn/m = 10 ⁻³ Maxwell/cm ²
Permeabilitas ruang hampa	μ_0	Henry/m	Tanpa satuan (emu)	4 π x 10 ⁻⁷ henry/m = 1 emu
Permeabilitas relatif	μ_r (SI) μ' (cgs-emu)	Tanpa satuan	Tanpa satuan	$\mu_r = \mu'$
Suseptibilitas	χ (SI) χ' (cgs-emu)	Tanpa satuan	Tanpa satuan	$\chi = 4\pi\chi'$

(Sumber : Callister, 2007)

2.2.3 Klasifikasi material

Material magnet akan termasuk dalam salah satu kategori berikut :
diamagnetik, paramagnetik, feromagnetik, antiferomagnetik dan ferimagnetik.

Material diamagnetik tidak mempunyai momen magnet total atom atau molekul. Ketika material ini berada dalam medan, arus atomik timbul yang akan meningkatkan magnetisasi yang melawan medan tersebut.



Gambar 2.1 Konfigurasi dipol atom untuk material diamagnetik dengan dan tanpa medan magnet. Ketika medan eksternal tidak ada, tidak terdapat dipol. Ketika medan luar dikerahkan, dipol diinduksikan yang berlawanan arah dengan medan. (Sumber : Callister, 2007)

Diamagnetis adalah bentuk paling lemah dari magnetisasi karena non-permanen dan ada hanya ketika sebuah medan eksternal diberikan. Diamagnetis ditimbulkan oleh perubahan pergerakan orbital elektron dikarenakan medan magnet yang diberikan. Besar momen magnet yang ditimbulkan sangat kecil dan berlawanan arah dengan medan. Karena itu permeabilitas relatif μ_r kecil dari 1 dan suseptibilitas magnet negatif; besar medan B didalam material diamagnetik lebih kecil daripada dalam ruang hampa. Suseptibilitas χ untuk material diamagnetik dalam orde -10^{-5} (tabel 2.1).

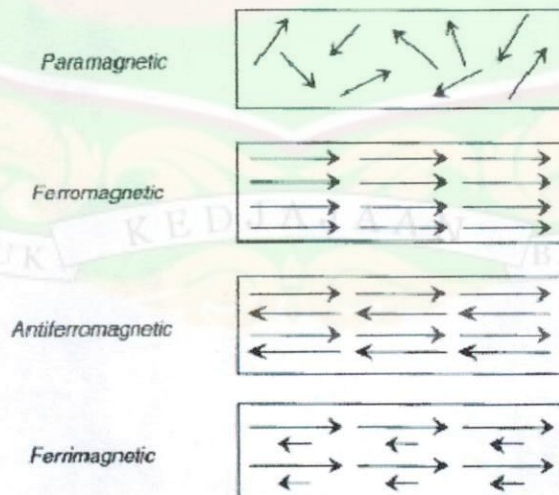
Semua material memperlihatkan respon diamagnetis akan tetapi hanya yang tidak mempunyai perilaku kemagnetan yang dikelompokkan sebagai diamagnetik; diamagnetis hadir ketika semua atom atau molekul orbital terisi penuh atau kosong. Semua gas mulia diamagnetik, karena mempunyai kulit terisi penuh oleh atom orbital.

Tabel 2.2 Suseptibilitas magnet temperatur ruang untuk material-material diamagnetik dan paramagnetik

Diamagnetik		Paramagnetik	
Material	Suseptibilitas (dalam SI)	Material	Suseptibilitas (dalam SI)
Aluminium oxide	-1.81×10^{-5}	Aluminium	2.07×10^{-5}
Tembaga	-0.96×10^{-5}	Krom	3.13×10^{-4}
Emas	-3.44×10^{-5}	Krom klorida	1.51×10^{-3}
Merkuri	-2.85×10^{-5}	Mangan sulfat	3.70×10^{-3}
Silikon	-0.41×10^{-5}	Molybdenum	1.19×10^{-4}
Perak	-2.38×10^{-5}	Sodium	8.48×10^{-6}
Sodium klorida	-1.41×10^{-5}	Titanium	1.81×10^{-4}
Zink	-1.56×10^{-5}	Zirkonium	1.09×10^{-4}

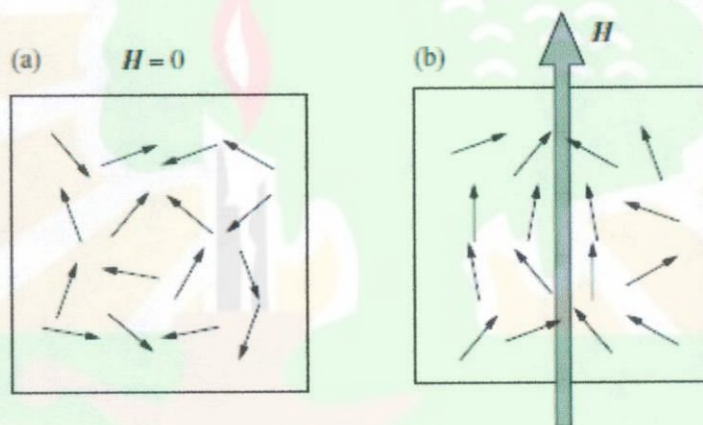
(Sumber : Callister, 2007)

Material paramagnetik mempunyai momen magnet total pada level atomik, tapi kopling antara momen yang bertetangga lemah. Momen ini cenderung mensejajarkan diri dengan medan yang diberikan tapi hanya fraksi kecil yang dibelokkan ke arah medan untuk semua kekuatan medan yang diberikan (gambar 2.2). Seterusnya tingkat pensejajaran menurun pada temperatur tinggi karena efek pengacakan oleh agitasi termal.



Gambar 2.2 Material magnet Paramagnetik, Ferromagnetik, Antiferromagnetik, Ferrimagnetik (Sumber : Furlani, 2001)

Berbeda dengan diamagnetik, paramagnetik mempunyai permeabilitas relatif sedikit lebih besar dari 1. Paramagnetik bisa ada dalam berbagai fase material dan terdiri dari molekul yang mempunyai momen magnet yang konstan besarnya. Pada temperatur nol mutlak, elektron atau atom-atom dalam kelompok akan mensejajarkan diri dengan medan magnet. Hal ini akan menghasilkan magnetisasi total atau momen magnet per satuan volume, sebanding dengan hasil momen dan kerapatan (density). Ini adalah magnetisasi maksimum yang bisa dicapai dengan konsentrasi elektron ini dan disebut saturasi magnetisasi M_s .



Gambar 2.3 Skema pensejajaran momen magnetik dalam material paramagnetik : (a) memperlihatkan pensejajaran momen magnetik ketika medan luar tidak ada dan (b) memperlihatkan respon material ketika medan luar dikerahkan dengan kekuatan sedang. (Sumber : Spaldin, 2003).

Material feromagnetik memiliki momen magnet bahkan ketika tidak ada medan magnet luar dan memperlihatkan magnetisasi yang sangat besar dan permanen. Suseptibilitas bisa mencapai 10^6 memungkinkan untuk material feromagnetik. Momen magnet permanen pada material feromagnetik dihasilkan dari momen magnet atom yang berasal dari spin elektron (elektron spin yang tidak saling menghilangkan yang merupakan konsekuensi dari struktur elektron). Juga

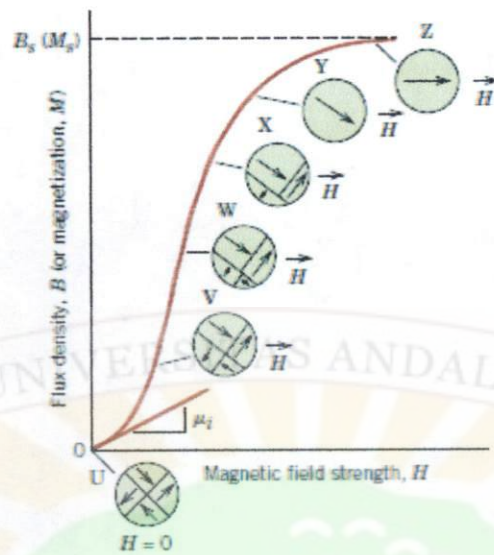
ada kontribusi dari momen magnet orbital namun kecil dibandingkan kontribusi momen spin.

Material antiferomagnetik adalah material yang pensejajaran momen spin atom yang bertetangga atau ion tepat berlawanan arah sehingga menghasilkan momen magnet total nol. Mangan Oksida (MnO) adalah salah satu material yang memperlihatkan perilaku ini. Sementara material feromagnetik adalah material keramik yang bersifat magnetik. Material ini memiliki karakter yang sama dengan antiferomagnetik, namun karena penghilangan momen spin yang tidak sempurna sehingga momen total tetap ada (Callister, 2007).

2.2.4 Domain

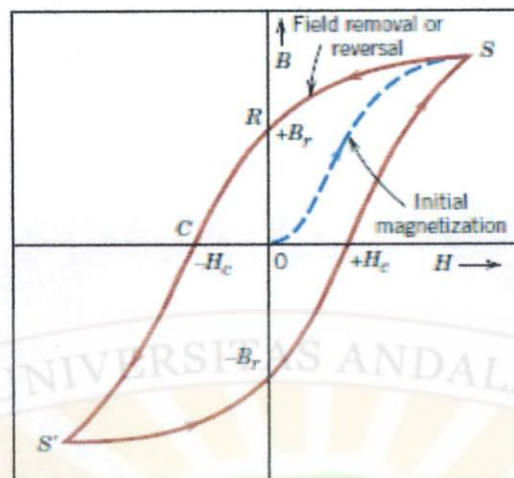
Material feromagnetik dan feromagnetik yang berada di bawah temperatur curie terdiri dari daerah dengan volume kecil dimana semua momen magnet dipol di daerah tersebut sejajar, daerah itu disebut domain (gambar 2.3). Pada potongan makroskopik material terdapat domain dalam jumlah besar dan semuanya mempunyai arah magnetisasi berbeda. Besar M untuk semua material adalah penjumlahan vektor magnetisasi dari semua domain dimana kontribusi masing-masing domain dihitung berdasarkan fraksi volumenya.

Domain yang berdekatan dipisahkan oleh batas domain atau dinding, melintasi arah magnetisasi yang secara bertahap berubah. Untuk sampel yang tidak dimagnetisasi, penjumlahan vektor magnetisasi untuk semua domain adalah nol.



Gambar 2.5 Kurva B vs H untuk material feromagnetik dan ferimagnetik yang tidak mempunyai magnetisasi awal. Konfigurasi domain untuk beberapa tahap magnetisasi diperlihatkan. Induksi magnet saturasi dan permeabilitas awal juga ditunjukkan. (Sumber : Callister, 2007)

Ketika medan H diberikan, domain berubah bentuk dan ukuran karena pergerakan batas domain. Skema struktur domain diperlihatkan pada lampiran pada gambar 2.4 (dengan label U sampai Z) pada beberapa titik sepanjang kurva B vs H . Pada awalnya, momen atom-atom domain mempunyai arah acak dan tidak ada B (atau M) total (lihat U). Ketika medan luar diberikan, terdapat domain yang terarahkan pada arah yang hampir sejajar dengan medan yang diberikan dan domain yang tidak terarahkan (V sampai X). Proses ini terus berlanjut dengan meningkatnya kekuatan medan hingga mencapai domain tunggal, yang hampir sejajar dengan medan (lihat Y). Saturasi dicapai ketika domain ini, dengan berotasi menjadi sejajar dengan medan H (lihat Z).



Gambar 2.6 Induksi magnet vs kuat medan magnet untuk material feromagnetik yang mengalami saturasi maju dan mundur (titik S dan S'). Kurva histerisis diperlihatkan garis tebal sedangkan garis putus-putus menunjukkan magnetisasi awal. Remanensi B_r dan koersifitas H_c juga diperlihatkan. (Sumber : Callister, 2007)

Dari saturasi, titik S dalam gambar 2.5 ketika medan H berkurang oleh arah medan yang mundur, kurva tidak mengikuti lintasan sebelumnya. Efek histerisis terjadi ketika B 'tertinggal' dibelakang medan H yang diberikan, atau berkurang dengan laju lambat. Ketika medan H nol (titik R di kurva), terdapat sisa B yang disebut remanen, material tetap termagnetisasi walau medan H tidak ada.

Untuk mengurangi B di dalam bahan sehingga menjadi nol (titik C pada gambar 2.5), medan H dengan besar $-H_c$ harus diberikan dalam arah yang berlawanan dengan medan awal; ini disebut koersifitas, atau kadang-kadang disebut gaya koersif. Dengan meningkatnya medan yang berlawanan arah maka saturasi dicapai di titik S'. Kurva histerisis dilengkapi dengan medan yang terus diberikan dari S' sampai saturasi S dan tentu saja menghasilkan negatif remanen (B_r) dan positif gaya koersif ($+H_c$).

2.2.6 Magnet Ferit

Feromagnetik yang paling penting secara teknologi adalah material yang dikenal dengan ferit. Ferit adalah feromagnetik oksida logam transisi, dan secara listrik bersifat isolator. Sehingga aplikasi ferit adalah kondisi dimana konduktifitas listrik yang dimiliki kebanyakan material feromagnetik tidak diinginkan. Sebagai contoh, ferit secara luas digunakan pada aplikasi berfrekuensi tinggi, karena medan AC tidak menimbulkan arus eddy yang tidak diharapkan di dalam material isolator.

Terdapat dua jenis ferit dengan perbedaan pada simetri struktur: kubik ferit dan hexagonal ferit. Ferit yang digunakan sebagai magnet permanen adalah hexagonal ferit dengan koersifitas khas sekitar 200 kA/m sedangkan kubik ferit digunakan sebagai magnet lemah. Hexagonal ferit murah untuk diproduksi dengan metoda pemrosesan keramik dan bisa secara mudah dibentuk menjadi apapun bentuk yang diinginkan (Spaldin, 2003).

Hexagonal ferit yang paling penting adalah barium ferit, $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ (Spaldin, 2003). Material ini merupakan model dari keluarga ferit tipe-M, disebut demikian karena mereka berbasis magnetoplumbite hexagonal atau struktur-M. Barium ferit mempunyai struktur hexagonal (gambar 2.6) dengan parameter kisi $a = 5,8920 \text{ \AA}$ dan $c = 23,1830 \text{ \AA}$ (Wagiyo *et al.*, 1999). Struktur barium ferit mengandung 10 lapisan oksigen di sel satuan dasar, dan dibangun dari empat blok, dengan label S, S*, R dan R*. Blok S dan S* adalah spinel dengan dua lapisan oksigen dan enam ion Fe^{3+} . Empat ion Fe^{3+} oktahedral dan mempunyai spin yang terarahkan paralel satu sama lain (spin ke atas), dan dua lainnya

tetrahedral dengan spin yang berlawanan arah dengan ion oktahedral. Blok S dan S* sebanding namun dirotasi sejauh 180⁰. Blok R dan R* terdiri dari tiga lapisan oksigen, dengan satu anion oksigen di tengah lapisan menggantikan ion barium. Masing-masing blok R memiliki enam ion Fe³⁺, lima oktahedral dengan tiga spin ke atas dan dua spin ke bawah, dan salah satunya dikoordinasikan dengan lima anion O²⁻ dan mempunyai spin ke atas. Momen magnet total per sel satuan adalah 20μ_B. Tabel 2.2 memperlihatkan karakteristik magnet ferit keras berdasarkan DIN 17 410 Jerman, Mei 1977.



Gambar 2.7 Struktur barium ferit (Sumber : Spaldin, 2003)

Tabel 2.3 Karakteristik magnet ferit kuat

Material	Minimum values				Typical values
	(BH)max (kJ/m ³)	Br (mT)	B _{Hc} (kA/m)	j _{Hc} (kA/m)	Densitas
Ferit kuat 7/21 (iso)	6.5	190	125	210	4.9
Ferit kuat20/19 (an)	20	320	170	190	4.8
Ferit kuat20/28(an)	20	320	220	280	4.6
Ferit kuat24/23(an)	24	350	215	230	4.8
Ferit kuat25/14(an)	25	380	130	135	5.0
Ferit kuat25/25(an)	25	370	230	250	4.8

DIN 17 410 Jerman, Mei 1977

Material magnet mempunyai temperatur kerja dimana material tersebut bisa berfungsi dengan baik. Untuk ferit temperatur kerja sekitar -40 sampai 200°C . Sementara jika material mencapai temperatur Curie maka semua sifat magnet akan hilang. Untuk material ferit temperatur Curie sekitar 450°C .

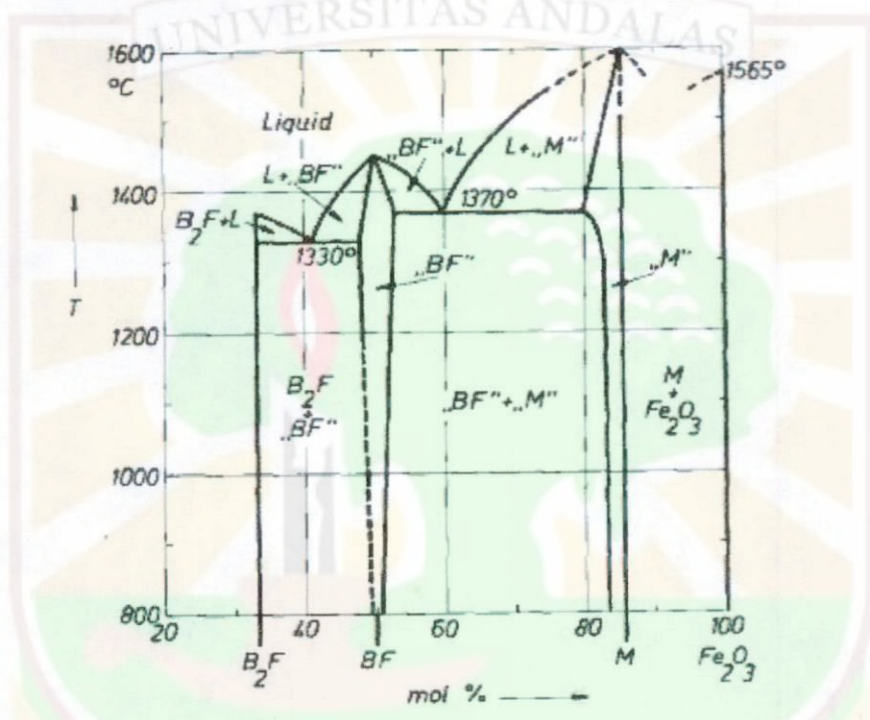
2.2.7 Pembuatan Magnet Ferit

Ferit bisa dibuat dengan hampir semua teknik kimia zat padat yang ada, membuat ferit bisa dibuat dalam berbagai bentuk : agregat polikristalin, lembaran tipis dan tebal, kristal tunggal. Beberapa metoda ini telah dikembangkan untuk membuat ferit dengan mikrostruktur yang khusus. Metoda yang paling tua, metoda keramik, mencakup operasi yang sama dengan teknik klasik untuk membuat keramik konvensional. Ini menjelaskan asal muasal istilah magnet keramik.

Bahan mentah yang biasanya digunakan adalah besi oksida $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (Fe_3O_4 jarang digunakan) yang biasa disebut hematit dengan komposisi sekitar 86% dan barium atau strontium karbonat (gambar 2.7). Penambahan untuk komponen utama ini dinamakan zat aditif seperti SiO_2 , Al_2O_3 dan lain-lain yang digunakan secara terpisah atau digabung dengan jumlah sekitar 0.5 sampai 2.5% berat. Zat aditif ini akan mengontrol reaksi kinetik, penyusutan dan pertumbuhan butir tapi terkadang berpengaruh terhadap sifat magnet utama dari fase hexaferit (saturasi polarisasi, energi kristal anisotropy).

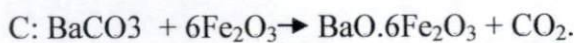
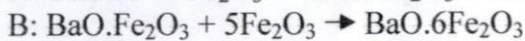
Dalam metoda keramik, bahan mentah dibuat dengan dihancurkan, digerinda dan digiling. Cara paling sering dilakukan untuk menggiling yaitu dengan

menggunakan *ballmill*, yang terdiri dari pot (belanga) dengan batang atau bola-bola keras di dalamnya. Penggilingan terjadi dengan ditumbuknya serbuk oleh batang atau roda selama proses pemutaran. Penggilingan bisa dilakukan dalam keadaan basah untuk meningkatkan tingkat pencampuran, dengan memasukan aquades atau alkohol dan dikeringkan setelah selesai penggilingan.



Gambar 2.8 Diagram fasa BaO-Fe₂O₃ (Goto et al, 1960)

Selanjutnya dibakar pada temperatur antara sekitar 1000 dan 1300 °C di udara (kalsinasi). Reaksi total C untuk membentuk fase barium hexaferit menurut Suchet (1956) terdiri dari dua langkah yaitu A dan B :



2.2.8 Bonded magnet

Bonded magnet secara umum dipersiapkan dengan mencampur serbuk magnet dengan pengikat diikuti dengan kompaksi atau molding material hingga menjadi bentuk akhir. Dikarenakan karena kehadiran pengikat tersebut maka energi yang dihasilkan *bonded* magnet lebih rendah daripada *Sintered* magnetnya. Akan tetapi, dua keuntungan besar dari *bonded* magnet adalah sifat mekanik yang sangat baik dan magnet bisa dipersiapkan dengan kondisi bentuk yang rapi (Buschow, 2005).

Pengikat yang sering digunakan termasuk karet alam, resin dan plastik. Magnet *compression-molded* dibuat menggunakan pengikat termoseting seperti epoxy resin, sementara magnet *injection-molded* dibuat menggunakan pengikat termoplastik seperti nylon. Magnet *extruded* dibuat menggunakan elastomer seperti karet alam. *Bonded* magnet bisa dibuat rigid atau fleksibel tergantung fraksi volume serbuk yang digunakan. Fraksi volume khas untuk *compression-molding* yaitu 80-85%, 60-65% untuk *injection-molding*, dan 55-60% untuk *extrusion* (Campbell, 1994). Tabel 2.3 memperlihatkan sifat beberapa *bonded* magnet ferit.

Tabel.2.4 Karakteristik *bonded* magnet ferit

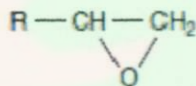
Material	(BH)max kJ/m ³	Remanensi (mT)	B _{Hc} (kA/m)	J _{Hc} (kA/m)	Densitas (g/cm ³)
Ferit kuat 1/18 p (iso)	0.8	63	50	175	2.3
Ferit kuat 3/18 p (an)	3.2	135	85	175	3.8
Ferit kuat 9/19 p (an)	9.0	220	145	190	3.4

Dokumen IEC 68 CO 24,1980

2.2.9 Epoxy resin

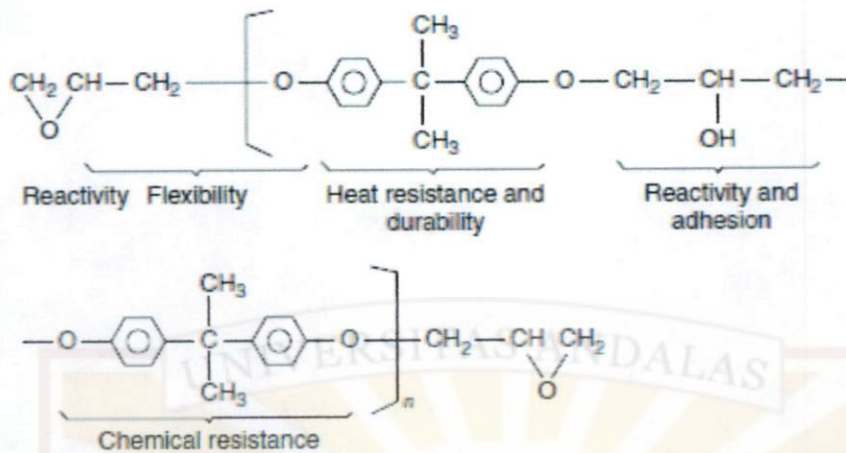
Epoxy resin adalah resin termoseting dengan performa tinggi yang memperlihatkan kombinasi unik sifat-sifat. Epoxy resin telah tersedia secara komersial selama hampir setengah abad. Sifat fisik yang luar biasa yang diperlihatkan epoxy resin termasuk penyusutan rendah *cure*, tidak mudah menguap selama *curing*, sesuai untuk banyak jenis material, kekuatan dan daya tahan, daya ikat, tahan korosi dan reaksi kimia dan isolator listrik.

Istilah epoxy, epoxy resin atau epoxide (Eropa) mengacu pada kelompok besar senyawa reaktif yang dikarakterisasi dengan kehadiran sebuah oxirane atau cincin epoxy seperti pada gambar 2.8. Hal ini ditunjukkan dengan tiga anggota cincin yang mencakup sebuah atom oksigen yang diikat dengan dua atom karbon yang telah bersatu dengan cara yang lain.



Gambar 2.9 Struktur cincin epoxy (Sumber : Petrie, 2006)

Rumus umum untuk epoxy resin bisa ditunjukkan oleh sebuah polimer liniar dengan terminal epoxy grup dan hydroxyl grup yang terjadi pada interval regular sepanjang rantai. Struktur epoxy resin dan sifat dipengaruhi oleh bermacam grup kimia diperlihatkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.10 Struktur dan sifat epoxy resin. (Sumber : Osumi, 1987)

2.2.10 Karakterisasi

Untuk mengetahui sifat-sifat dan kemampuan suatu material maka perlu dilakukan pengujian dan analisis. Beberapa jenis pengujian dan analisis yang dibahas untuk keperluan penelitian ini antara lain: pengujian densitas, pengujian sifat magnet dengan menggunakan alat Permagraph dan untuk menganalisa struktur kristal dengan menggunakan alat uji XRD (*X-Ray Diffraction*).

a. Densitas

Densitas merupakan ukuran kepadatan dari suatu material atau sering didefinisikan sebagai perbandingan antara massa (m) dengan volume (v) dalam hubungannya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.8)$$

Dimana:

ρ = Densitas (gram/cm^3)

m = Massa sampel (gram)

v = Volume sampel (cm^3)

Dalam pelaksanaannya kadang-kadang sampel yang diukur mempunyai ukuran bentuk yang tidak teratur sehingga untuk menentukan volumenya menjadi sulit, akibatnya nilai kerapatan yang diperoleh tidak akurat. Oleh karena itu untuk menghitung nilai densitas suatu material yang memiliki bentuk yang tidak teratur (*bulk density*) digunakan metode Archimedes yang persamaannya sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m_0}{m_0 - (m_A + m_K)} \times \rho_{H_2O} \quad (2.9)$$

Dimana:

ρ = Densitas bulk sampel (gram/cm³).

m_0 = Massa awal sampel setelah dikeringkan di dalam oven (gram).

m_A = Massa sampel yang ditimbang digantung didalam (gram).

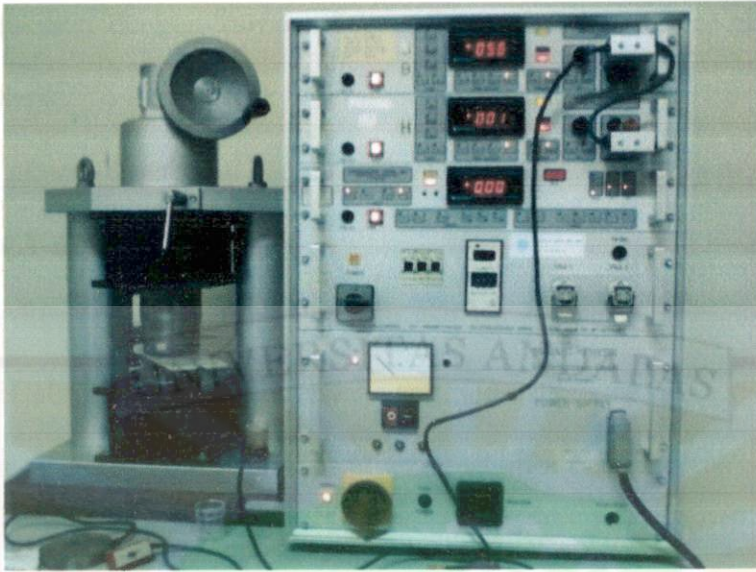
m_K = Massa kawat yang digunakan untuk menggantungkan sampel (gram).

ρ_{H_2O} = Massa jenis air = 1 gram/cm³.

(ASTM C 373)

b. Sifat Magnet

Sifat magnet yang akan diukur diantaranya adalah koersifitas H_c , $(BH)_{max}$ dan remanensi B_r . Nilai-nilai besaran tersebut didapat dari gambaran kurva histerisis masing-masing sampel hasil pengukuran dengan alat Permagraph C LIPI Bandung.



Gambar 2.11 Magnet-Physik Dr. Steingroever GmbH Permagraph C

Permagraph merupakan salah satu alat ukur magnet kuat untuk berbagai kelompok seperti Alnico, Ferit atau dari tanah jarang. Untuk permagraph C memiliki perlengkapan dalam pengukuran kurva histerisis bahan permanen magnet seperti :

1. Elektronik EF 4-1F
2. Electromagnet EP 2/E (kuat medan magnet sampai dengan $1800 \text{ kA/m} = 2.2 \text{ Tesla}$)
3. Komputer
4. Printer

Hasil yang dapat diperoleh dari permagraph C :

1. Otomatis mengukur kurva histerisis magnet permanen.
2. Dapat menentukan kuantitas magnet seperti koersifitas, remanensi, $(BH)_{\max}$.

Jika berkas sinar sefasa, maka nilai $MN + NO = n \lambda$, dan karena $MN = NO = d \sin \theta$, maka akan terbentuk suatu persamaan yang disebut sebagai hukum Bragg sebagai berikut:

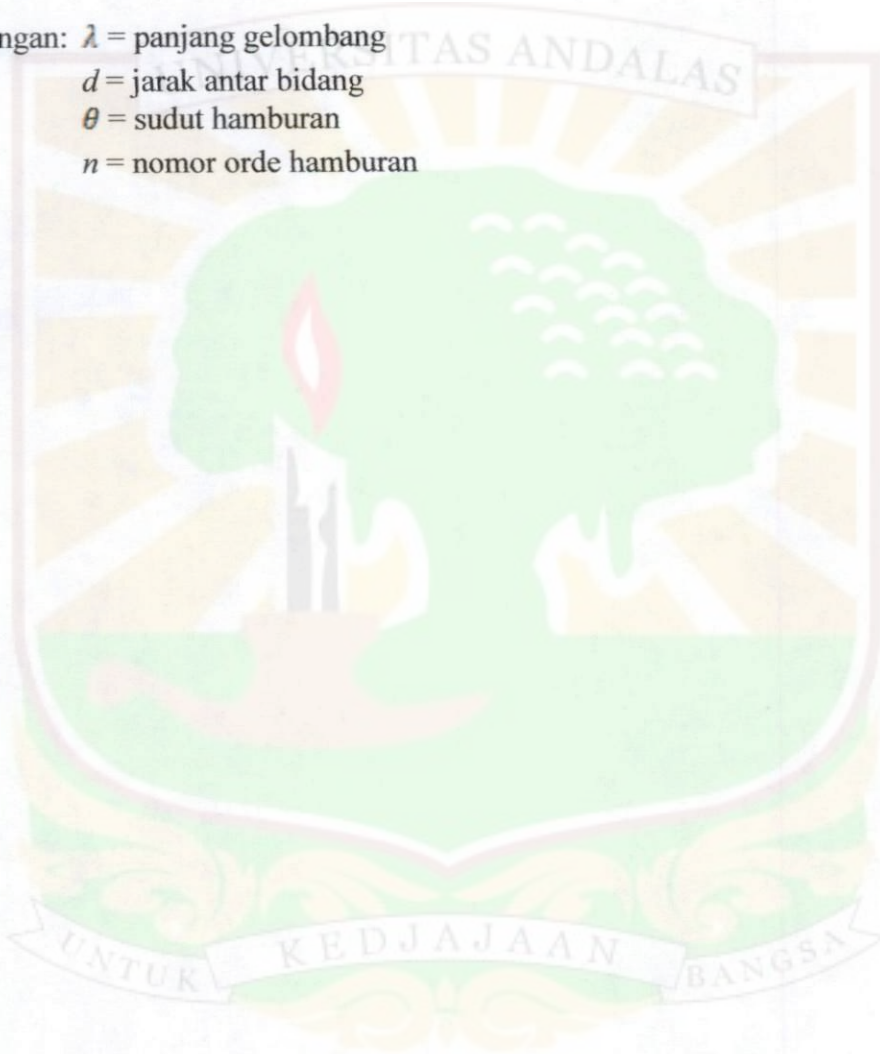
$$n \lambda = 2d \sin \theta \quad (2.10)$$

Dengan: λ = panjang gelombang

d = jarak antar bidang

θ = sudut hamburan

n = nomor orde hamburan



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Pembuatan atau sintesis dilakukan di Laboratorium Fisika Bahan Baru Pusat Penelitian Fisika (P2F) Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Kawasan Puspiptek Serpong-Tangerang, Indonesia. Untuk data difraksi sinar-x didapat dari alat XRD yang ada di Badan Tenaga Nuklir Nasional, kawasan Puspitex Serpong-Tangerang. Sedangkan kurva histerisis didapat dari alat Permagraph C yang ada di Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (P2ET) LIPI Bandung.

3.2 Alat dan Bahan

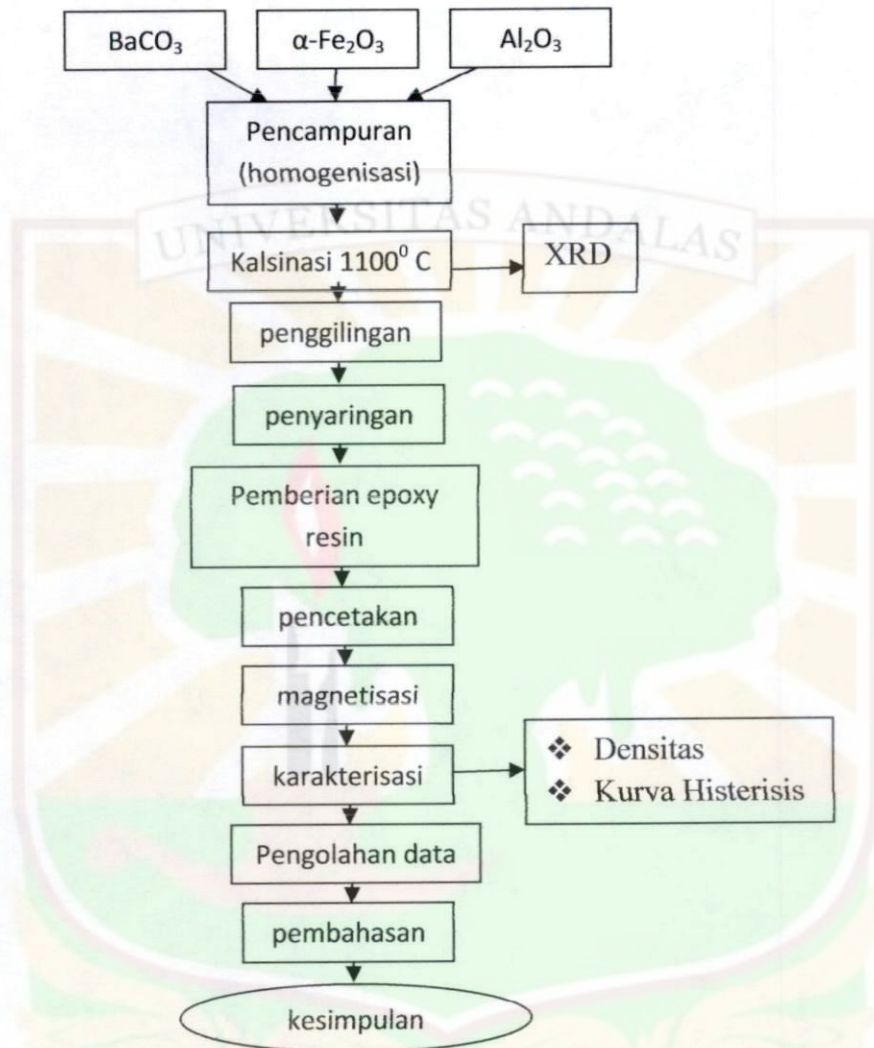
3.2.1 Alat penelitian

Alat-alat yang digunakan antara lain :

1. *Cylindrical furnace* (Stanton Rendcroft max temp 1500 °C). Fungsinya untuk membakar (kalsinasi) sampel.
2. Ayakan dengan ukuran 0.038 mm atau sama dengan 38 μ m atau ekuivalen 400 Mesh. Fungsinya untuk memisahkan butiran yang kecil dengan butiran yang masih besar.
3. Cetakan sample (*dies*) terbuat dari besi dengan dimensi diameter x tinggi = 2,39 cm x 3,86 cm. Fungsinya untuk tempat cetakan sampel

3.3 Tahapan penelitian

3.3.1 Diagram alir penelitian



Gambar 3.1 diagram alir penelitian

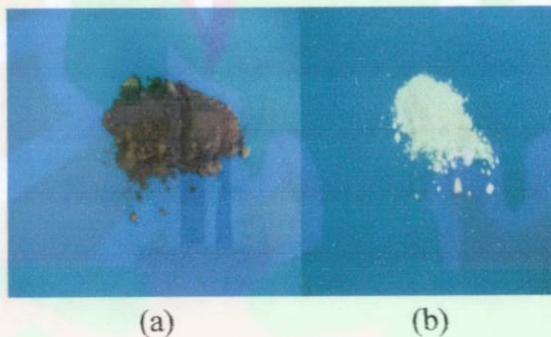
3.3.2 Pembuatan *bonded* magnet permanen barium Hexaferit

Pertama dibuat dua jenis serbuk barium hexaferit yang memiliki perbedaan perbandingan mol BaCO_3 dan hematit 1 : 6 dan 1 : 6,2 dengan massa masing-masing serbuk 30 gram. Setelah kalsinasi maka kedua jenis serbuk dicuplik untuk dianalisa XRD untuk melihat fasa yang terbentuk.

Perbandingan mol yang menghasilkan fasa barium hexaferit yang lebih dominan akan menjadi acuan dalam pembuatan serbuk selanjutnya yang akan ditambahkan alumina. Dua jenis serbuk kembali dibuat dengan perbedaan pada jumlah alumina yang ditambahkan yaitu 0,3 dan 0,6 % dari berat serbuk.

Tabel 3.1 Komposisi serbuk yang dibuat

Serbuk no	Mol		% massa
	BaCO ₃	α -Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
1	1	6	0
2	1	6,2	0
3	Dominan fasa BaFe ₁₂ O ₁₉		0,3
4			0,6

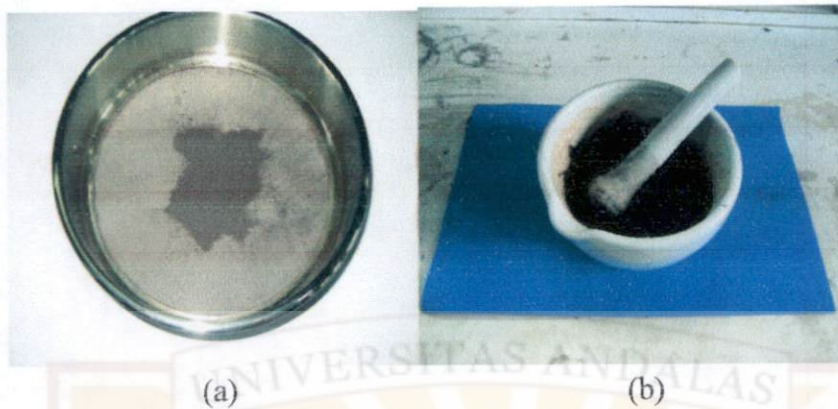


(a)

(b)

Gambar 3.2. (a) serbuk *hematite* (b) serbuk BaCO₃

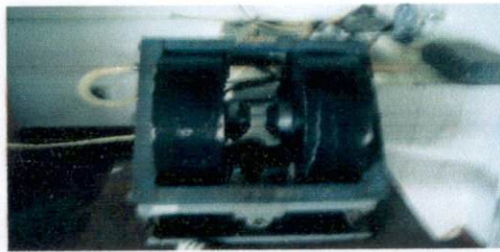
Metoda yang digunakan dalam preparasi serbuk barium hexaferit adalah metoda keramik klasik karena lebih mudah pelaksanaannya. Proses dimulai dari pencampuran bahan dalam gelas ukur dan ditambahkan aquades sebanyak ± 250 ml. Campuran diaduk sehingga menjadi homogen dengan menggunakan *magnet steerer* selama ± 5 jam. Selanjutnya dikeringkan di oven dengan temperatur 100⁰ sampai semua air dalam campuran hilang. Sampel yang sudah kering dihancurkan dengan menggunakan *mortar* untuk mendapatkan butiran yang lebih halus dan kecil.



Gambar 3.3 (a) ayakan 400 mesh (b) mortar

Kalsinasi dilakukan dengan temperatur 1100°C dan ditahan selama 2 jam yang dilakukan di dalam *Furnace*. Setelah kalsinasi serbuk digiling dengan menggunakan *ball mill* selama ± 24 jam untuk mendapatkan butiran yang lebih halus dan kecil. Untuk melihat tingkat kehalusan dan ukuran butir sampel disaring dengan ayakan 400 mesh (dalam 1 inci^2 terdapat 400 lubang) dengan ukuran lubang $38\mu\text{m}$. Jika ada yang tidak lolos maka akan digerus dengan menggunakan mortar dan kembali disaring sampai semua sampel lolos.

Sebelum dilakukan pencetakan masing masing serbuk dibagi menjadi empat dan ditambahkan epoxy resin dengan jumlah yang berbeda yaitu 10, 15, 20, 25 % dari berat serbuk. Selanjutnya masing-masing sampel dicetak dalam cetakan berdiameter 2,16 cm dan ditekan dengan tekanan 100 kg/cm^3 seterusnya dipanaskan dalam oven dengan temperatur 170°C . Masing-masing *bonded magnet* kemudian dimagnetisasi dengan *fixed electromagnet* dengan tegangan 120 volt selama dua menit dengan arus keluaran 1 ampere.



Gambar 3.2 *fixed electromagnet*

Sementara data yang akan diambil adalah remanensi (B_r), koersifitas (H_c), energi hasil maksimum $(BH)_{\text{maks}}$ dan densitas. Tabel 3.1 memperlihatkan data-data yang diambil.

3.3.3 Karakterisasi

Karakterisasi meliputi :

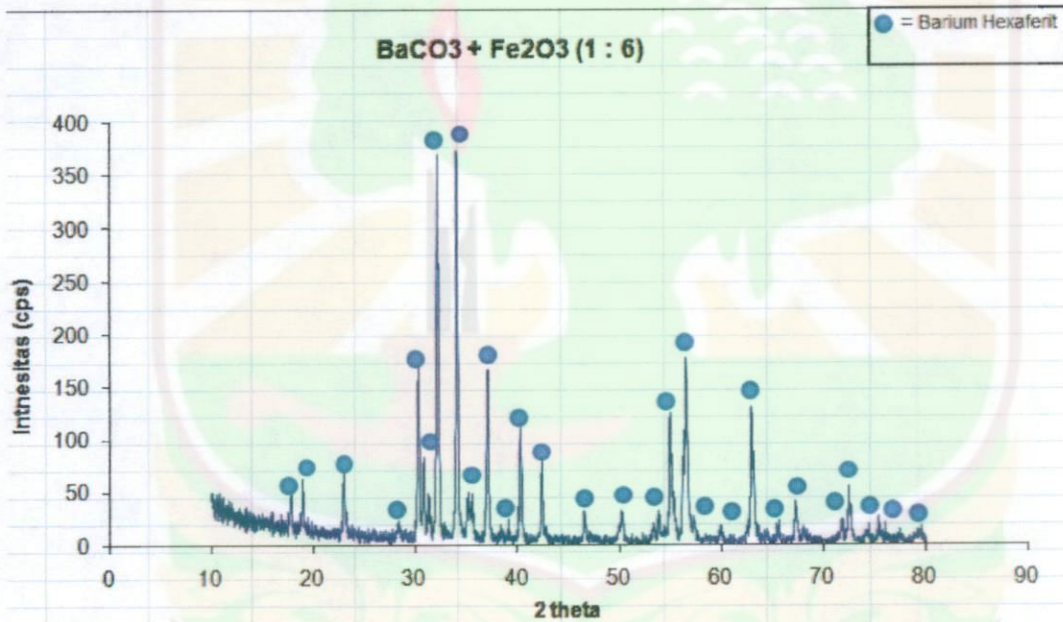
1. Dimensi sampel diukur menggunakan jangka sorong dan neraca.
2. Sifat magnet diukur dengan menggunakan Magnet-Physik Dr. Steingroeve GmbH Permagraph C EP 2 buatan Jerman yang berada di Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (P2ET) LIPI Bandung.
3. Analisis difraksi dilakukan dengan alat XRD yang berada di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), kawasan Puspatek Serpong-Tangerang.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa XRD

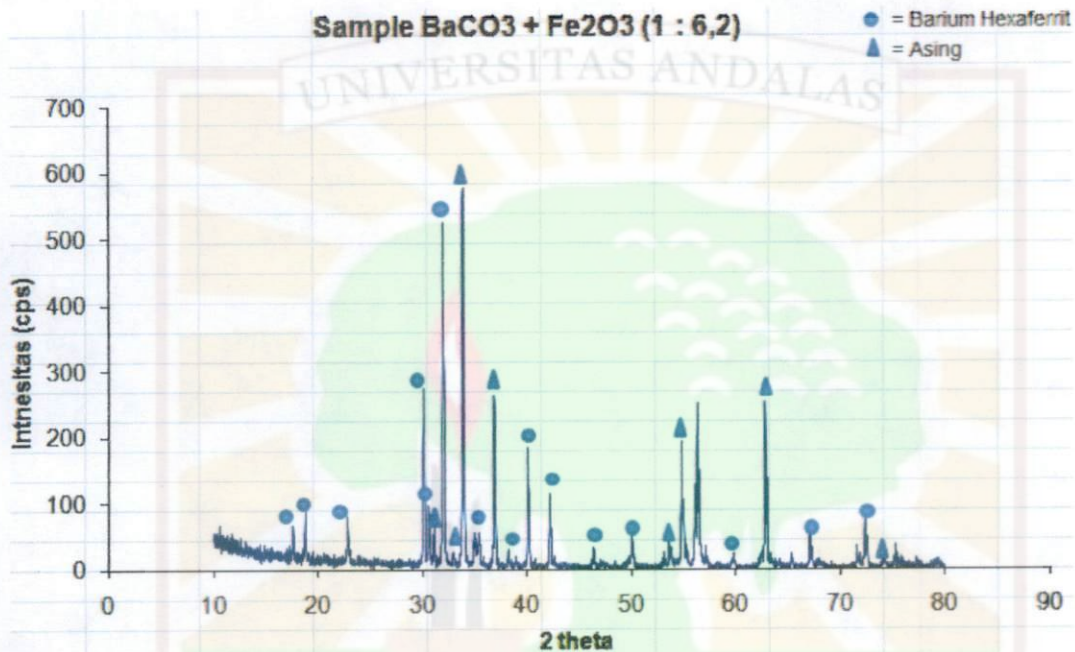
Serbuk yang dianalisa dengan XRD adalah dua macam serbuk dengan perbedaan pada perbandingan mol BaO dan hematit, yaitu perbandingan 1:6 dan 1:6,2 tanpa zat aditif (Al_2O_3). Serbuk dikalsinasi dengan temperatur 1100 °C selama ± 2 jam.



Gambar 4.1 hasil XRD untuk sampel perbandingan 1:6

Untuk serbuk dengan perbandingan mol 1:6 (stoikometri) maka terlihat pada gambar 4.1 bahwa 100% fase yang terbentuk adalah $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$. Hal ini diketahui dengan membandingkan hasil XRD dengan JCPDC no.27-1029. Puncak-puncak dengan intensitas tinggi diantaranya $2\theta = 30, 32, 34$. Artinya dengan temperatur kalsinasi 1100 kita telah berhasil membuat serbuk $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ fase tunggal.

Namun untuk serbuk dengan perbandingan mol 1:6,2 (non-stoikometri) fase yang terbentuk diantaranya 62,08% $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (barium hexaferit) yang merupakan fasa mayor dan selebihnya fasa asing yang merupakan fasa minor (gambar 4.2).



Gambar 4.2 Hasil XRD untuk sampel perbandingan 1:6,2

Ini mengindikasikan dengan penambahan sekitar 0,2 mol hematit dari jumlah seharusnya (stoikometri) menyebabkan munculnya fase-fase selain $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$. Faktor temperatur dan lama kalsinasi juga berpengaruh. Fase-fase asing ini akan hilang jika temperatur dan lama kalsinasi ditingkatkan dari yang sudah kita lakukan untuk perbandingan mol 1:6. Kemungkinan fase lain yang muncul adalah Fe_2O_3 dan BaFe_2O_3 . Kemunculan fase-fase ini tentu saja tidak diharapkan karena sifat instrinsiknya bukan magnet kuat seperti halnya fase $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$.

4.2 Densitas

Hasil pengukuran densitas untuk masing-masing sampel *bonded magnet* diperlihatkan pada tabel 4.1 :

Tabel 4.1 densitas masing-masing sampel

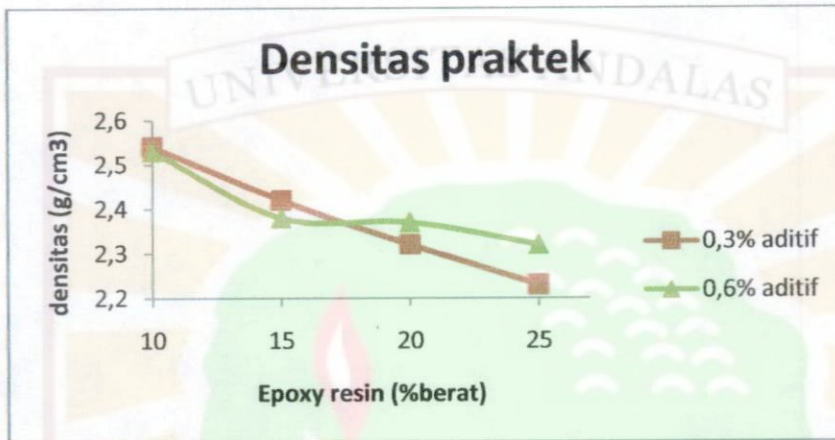
Sampel	% berat		Densitas praktek (g/cm ³)	Densitas teori (g/cm ³)
	Al ₂ O ₃	Epoxy Resin		
1*	0	10	2,77	4,94
2	0	15	2,81	4,78
3	0	20	2,61	4,65
4*	0	25	3,09	4,51
5	0,3	10	2,54	4,93
6	0,3	15	2,42	4,77
7	0,3	20	2,32	4,64
8	0,3	25	2,23	4,50
9	0,6	10	2,53	4,93
10	0,6	15	2,38	4,77
11	0,6	20	2,37	4,63
12	0,6	25	2,32	4,50

*Perbandingan mol BaO dan hematit 1:6,2. Selain itu perbandingan mol BaO dan hematit 1:6

Untuk sampel dengan aditif Al₂O₃ 0,3% didapat nilai densitas berkisar antara 2,54-2,23 g/cm³ untuk semua variasi persentase epoxy. Kecenderungan nilai densitas menurun seiring dengan pertambahan epoxy. Begitu juga dengan sampel aditif Al₂O₃ 0,6% mempunyai kecenderungan penurunan nilai densitas seiring penambahan epoxy. Hal yang bisa menjelaskan ini adalah nilai densitas epoxy (1,36 g/cm³) yang lebih rendah dari barium hexaferit (5,3 g/cm³) sehingga ketika fraksi volume epoxy meningkat (penambahan % jumlah epoxy) maka akan mengurangi densitas total campuran.

Jika kita bandingkan densitas antara aditif Al₂O₃ 0,3 % dan 0,6% maka kita mendapatkan nilai terbaik untuk 0,3% aditif sampai dengan penambahan 15% epoxy. Namun untuk jumlah epoxy 20-25 % maka sampel 0,6% aditif sedikit

lebih baik. Untuk semua sampel densitas yang didapatkan juga jauh dari nilai teoritis (berkisar 49% - 68% nilai teori). Ini berarti masih banyak terdapat porositas (rongga) yang berisi udara yang tentu saja menurunkan nilai densitas total.



Gambar 4.3 perbandingan densitas praktek

Untuk sampel tanpa aditif, serbuk dengan perbandingan mol BaO dan hematit 1:6 memiliki nilai rata-rata densitas 2,71. Sedangkan untuk serbuk dengan perbandingan mol BaO dan hematit 1:6,2 memiliki nilai rata-rata densitas 2,93. Bisa dilihat sampel tanpa aditif memiliki nilai densitas yang lebih baik daripada sampel dengan aditif (0,3 dan 0,6 %). Ini disebabkan nilai densitas alumina yang relatif kecil ($3,65\text{g/cm}^3$) dibandingkan $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ sehingga mengurangi densitas total sampel.

4.3 Sifat magnetik

4.3.1 Remanensi

Nilai remanensi untuk masing-masing sampel *bonded* magnet diperlihatkan pada tabel 4.2.

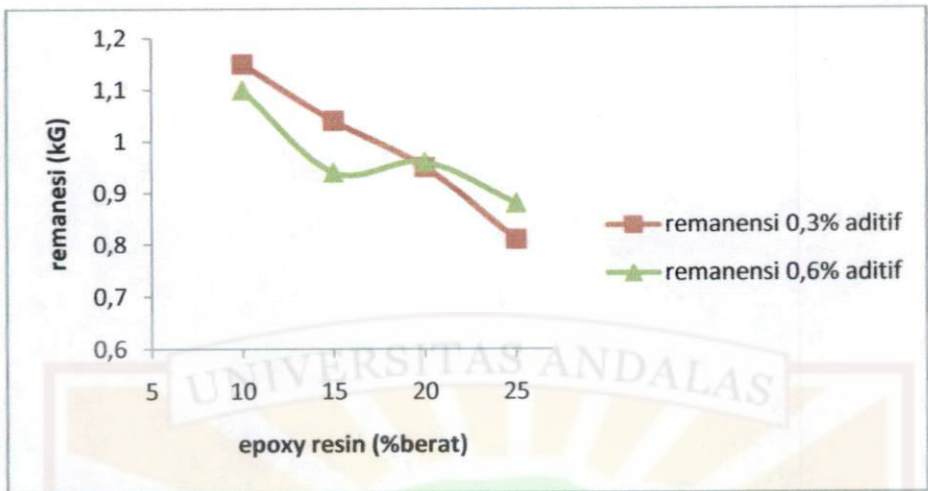
Tabel 4.2 Nilai Remanensi Masing-masing sampel

Sampel	% Berat		Br (kG)
	Al ₂ O ₃	Epoxy	
1*	0	10	1,27
2	0	15	1,39
3	0	20	1,39
4*	0	25	1,3
5	0,3	10	1,15
6	0,3	15	1,04
7	0,3	20	0,95
8	0,3	25	0,81
9	0,6	10	1,1
10	0,6	15	0,94
11	0,6	20	0,96
12	0,6	25	0,88

* Perbandingan mol BaO dan hematit 1:6,2. Selain itu perbandingan mol BaO dan hematit 1:6

Untuk sampel dengan aditif Al₂O₃ 0,3% (gambar 4.4) nilai remanensi cenderung turun terhadap penambahan jumlah epoxy. Ini juga berlaku untuk sampel dengan aditif Al₂O₃ 0,6% (gambar 4.4) walau terjadi sedikit kenaikan pada sampel dengan 20% epoxy namun kembali turun untuk sampel dengan 25% epoxy yang nilainya juga lebih kecil dari pada sampel dengan 15% epoxy. Penurunan nilai remanensi terhadap jumlah epoxy bisa dikaitkan dengan densitas yang cenderung turun seiring dengan penambahan epoxy dan sifatnya yang non-magnetik mengurangi remanensi sampel.

Jika kita bandingkan nilai remanensi antara sampel 0,3% aditif dengan 0,6% aditif bisa dilihat untuk jumlah epoxy 10-15 %, sampel 0,3% aditif memiliki nilai remanensi yang lebih baik. Namun untuk jumlah epoxy 20-25 %, sampel 0,6% aditif sedikit lebih baik nilai remanensinya.



Gambar 4.4 Nilai remanensi untuk sampel 0,3 dan 0,6 % aditif Al_2O_3

Untuk sampel tanpa aditif, serbuk dengan perbandingan mol BaO dan hematit 1:6 memiliki nilai rata-rata densitas 1,39 kG. Sedangkan untuk serbuk dengan perbandingan mol BaO dan hematit 1:6,2 memiliki nilai rata-rata densitas 1,28 kG. Seperti halnya nilai densitas, sampel tanpa aditif memiliki nilai remanensi yang lebih baik daripada sampel dengan aditif (0,3 dan 0,6 %). Secara umum penambahan alumina yang bersifat non-magnetik menyebabkan penurunan nilai remanensi.

4.3.2 Koersifitas

Nilai koersifitas untuk masing-masing sampel *bonded* magnet diperlihatkan pada tabel 4.3.

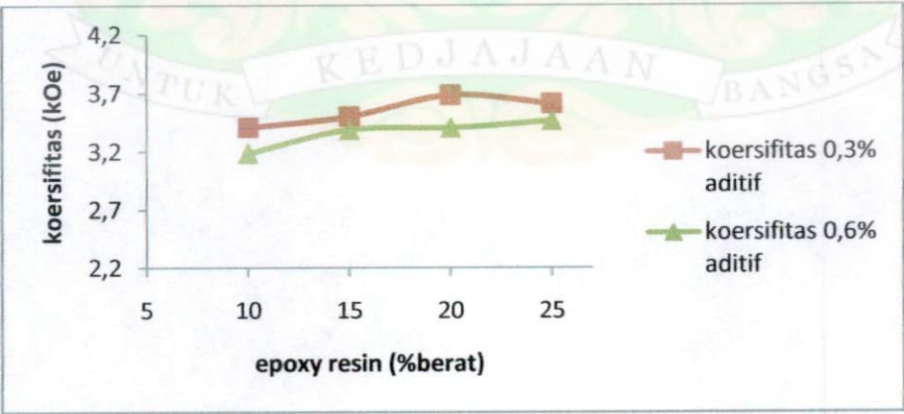
Tabel 4.3 Nilai koersifitas masing-masing sampel

Sampel	% berat		Hcj (kOe)
	Al ₂ O ₃	Epoxy	
1*	0	10	3,434
2	0	15	2,631
3	0	20	2,637
4*	0	25	3,43
5	0,3	10	3,407

6	0,3	15	3,502
7	0,3	20	3,684
8	0,3	25	3,612
9	0,6	10	3,185
10	0,6	15	3,387
11	0,6	20	3,404
12	0,6	25	3,465

* Perbandingan mol BaO dan hematit 1:6,2. Selain itu perbandingan mol BaO dan hematit 1:6

Untuk nilai koersifitas terjadi kecenderungan meningkat terhadap penambahan epoxy baik untuk sampel 0,3 maupun 0,6 % aditif (gambar 4.5). Secara teori nilai koersifitas menunjukkan tingkat kesulitan demagnetisasi. Momen magnet yang sudah searah ketika magnetisasi kembali diacak sampai tidak ada lagi momen magnet total. Jika momen dipol ‘kesulitan’ untuk kembali ke arah semula (non-magnetisasi) ini mengindikasikan ada gaya atau sesuatu yang mengikatnya atau menghalangi perubahan arah tersebut. Epoxy yang berfungsi untuk mengikat serbuk melakukan hal tersebut sehingga bisa kita lihat dengan bertambahnya jumlah epoxy membuat peningkatan nilai koersifitas, tapi tidak dengan remanensi yang berkurang seperti yang telah diuraikan diatas.



Gambar 4.5 Nilai koersifitas untuk sampel 0,3 dan 0,6 % aditif Al₂O₃

Jika kita bandingkan nilai koersifitas antara sampel 0,3% aditif dengan 0,6% aditif bisa dilihat untuk semua jumlah epoxy, sampel 0,3 % aditif memiliki nilai koersifitas yang lebih baik. Sampel dengan aditif 0,3% mengalami peningkatan cukup signifikan pada sampel dengan 20% epoxy meski terjadi penurunan nilai koersifitas sampel pada 25% epoxy. Tapi nilai koersifitas sampel 25% tetap lebih baik daripada sampel 15%. Artinya kecenderungan untuk sampel 0,3% aditif Al_2O_3 adalah peningkatan nilai koersifitas dari 10% epoxy hingga mencapai nilai maksimum pada 20% epoxy. Setelah itu penambahan epoxy akan menyebabkan penurunan nilai koersifitas dikarenakan sudah terlalu dominannya fase non-magnetik dalam sampel. Nilai koersifitas sampel 0,3 % aditif dan 20% epoxy ini (3,684 kOe) adalah nilai tertinggi untuk semua sampel.

Sedangkan untuk sampel tanpa aditif dengan perbandingan mol BaO dan hematit 1:6 memiliki nilai rata-rata koersifitas 2,634 kOe. Sedangkan untuk serbuk dengan perbandingan mol BaO dan hematit 1:6,2 memiliki nilai rata-rata koersifitas 3,432 kOe. Artinya untuk perbandingan mol BaO dan hematit yang sama (1:6) nilai koersifitas sampel dengan aditif (baik 0,3 maupun 0,6%) lebih baik daripada tanpa aditif.

4.3.3 BH_{max}

Nilai BH_{max} untuk masing-masing sampel *bonded* magnet diperlihatkan pada tabel 4.4

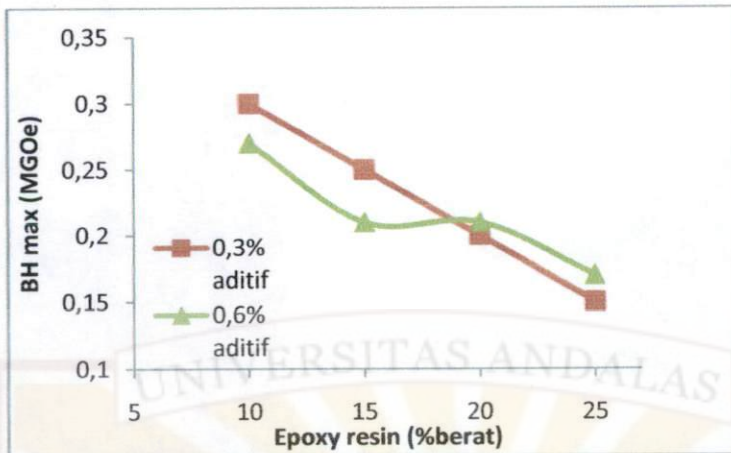
Tabel 4.4 nilai BH_{max} untuk masing-masing sampel

Sampel	% berat		$(BH)_{max}$ (MGOe)
	Al_2O_3	Epoxy	
1*	0	10	0,36
2	0	15	0,41

3	0	20	0,42
4*	0	25	0,37
5	0,3	10	0,3
6	0,3	15	0,25
7	0,3	20	0,2
8	0,3	25	0,15
9	0,6	10	0,27
10	0,6	15	0,21
11	0,6	20	0,21

* Perbandingan mol BaO dan hematit 1:6,2. Selain itu perbandingan mol BaO dan hematit 1:6

Untuk sampel dengan aditif Al_2O_3 0,3% (gambar 4.4) nilai BH_{max} cenderung turun terhadap penambahan jumlah epoxy. Ini juga berlaku untuk sampel dengan aditif Al_2O_3 0,6% (gambar 4.4) walau terjadi sedikit kenaikan pada sampel dengan 20% epoxy namun kembali turun untuk sampel dengan 25% epoxy yang nilainya juga lebih kecil dari pada sampel dengan 15% epoxy. Gambar 4.6 mirip dengan gambar 4.4 yaitu grafik untuk nilai remanensi. Termasuk juga perbandingan nilai BH_{max} sampel 0,3 dan 0,6% aditif untuk jumlah epoxy 10-15 %, sampel 0,3% aditif memiliki nilai remanensi yang lebih baik. Namun untuk jumlah epoxy 20-25 %, sampel 0,6% aditif sedikit lebih baik nilai remanensinya. Ini mengindikasikan nilai remanensi sebanding dengan nilai BH_{max} .



Gambar 4.6 Nilai BH_{max} untuk sampel 0,3 dan 0,6 % aditif Al_2O_3

Untuk sampel tanpa aditif, serbuk dengan perbandingan mol BaO dan hematit 1:6 memiliki nilai rata-rata densitas 0,415 MGOe. Sedangkan untuk serbuk dengan perbandingan mol BaO dan hematit 1:6,2 memiliki nilai rata-rata densitas 0,365 MGOe. Seperti halnya nilai densitas dan remanensi, sampel tanpa aditif memiliki nilai remanensi yang lebih baik daripada sampel dengan aditif (0,3 dan 0,6 %). Secara umum penambahan alumina yang bersifat non-magnetik menyebabkan penurunan nilai BH_{max} .

4.4 Komparasi Karakteristik dengan Produk Komersial dan Literatur

Dari beberapa referensi pada lampiran 4 dapat dikatakan karakteristik *bonded* magnet ferit yang dibuat dalam penelitian kali ini telah mendekati bahkan ada yang melebihi karakteristik magnet *bonded* ferit komersial dan literatur.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan pembuatan dan karakterisasi bonded magnet hexaferrit dengan penambahan aditif Al_2O_3 didapatkan beberapa kesimpulan :

1. Fasa tunggal $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ bisa dihasilkan dengan temperatur kalsinasi 1100 selama 2 jam dengan perbandingan mol BaO dan hematit 1:6, sedangkan dengan perbandingan mol 1:6,2 dengan temperatur dan waktu yang sama hanya menghasilkan sekitar 62% $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$.
2. Penambahan epoxy resin menyebabkan penurunan nilai densitas, remanensi, $(\text{BH})_{\text{max}}$ namun meningkatkan nilai koersifitas
3. Penambahan aditif alumina menyebabkan penurunan nilai densitas, remanensi dan $(\text{BH})_{\text{max}}$ namun meningkatkan nilai koersifitas
4. Penambahan aditif alumina 0,3% menghasilkan koersifitas tertinggi untuk semua variasi jumlah epoxy dan penambahan epoxy 20% pada aditif alumina 0,3% menghasilkan koersifitas tertinggi untuk semua sampel (3,684 kOe).

5.2 Saran

Adapun saran-saran untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Densitas yang didapatkan dalam penelitian kali ini masih mungkin bisa ditingkatkan dengan peningkatan tekanan dan penggunaan *internal mixer*.
2. Temperatur kerja bonded magnet perlu diteliti untuk penyesuaian aplikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Buschow, K.H.J, 2005, *Concise Encyclopedia of Magnetic and Superconducting Materials*, (Edisi ke-2), Elsevier Ltd, UK
- Callister, William D. Jr, 2007, *Materials Science and Engineering: An Introduction*, (Edisi ke-7), John Wiley & Sons, USA.
- Campbell, P, 1994, *Permanent Magnet Materials and their Application*, Cambridge University Press, USA.
- Coey, J. M. D, 2009, *Magnetism and Magnetic Materials*, Cambridge University Press, USA.
- Cullity, B. D dan Graham, C. D, 2009, *Introduction to Magnetic Materials*, (Edisi ke-2), John Wiley & Sons, USA.
- Dunlop, J David dan Ozdemir, Ozden, 1997, *Rock Magnetism*, Cambridge University Press. USA.
- Furlani, Edward P, 2001, *Permanent Magnet and Electromechanical Devices : Materials, Analysis, and Applications*. Academic Press, USA.
- Grujik, dkk, 2009, *Polymer Bonded Magnetic Materials with Various NdFeB Filler Content*, Eleventh Annual Conference of the Materials Research Society of Serbia (YUCOMAT), Serbia
- Osumi, Y, 1987 "One-Part Epoxy Resin," Three Bond Technical News, Three Bond
- Priyono, dkk, 2004, *Efek Aditiv Al_2O_3 Terhadap Struktur dan Sifat Fisis Magnet Permanen $BaO.6(Fe_2O_3)$* , Berkala Fisika Vol. 7, No. 2, April 2004, hal 69 – 73, Semarang.
- Smit dan Wijn, 1959, *Physical Properties of Ferrimagnetic Oxides in Relation to Their Thecnical Applications*, Philips Research, Netherland
- Spaldin, Nicola .A, 2003, *Magnetic Materials: Fundamentals and Applications*, (Edisi ke-2), Cambridge University Press, USA.
- Stabik, J, dkk, 2010, *Magnetic induction of polymer composites filled with ferrite powders*, International Scientific Journal published monthly by the World Academy of Materials and Manufacturing Engineering, Volume 41, Issue 1[p.13-20], Polandia.

- Valenzuela, Raul, 1994, *Magnetic Ceramics*, Cambridge University Press, USA
- Wagiyo, 1999, *Struktur Mikro α -Alumina Akibat Penambahan TiO_2* , Puslitbang Iptek Bahan BATAN, Jakarta
- Xu, Ping, dkk, 2007, *Effect of stoichiometry on the phase formation and magnetic properties of $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ nanoparticles by reverse micelle technique*, Science Direct Materials Letters 62 [p.1305–1308], China.
- Yulianto, 2002, *Studi Prelimier Mineral Magnetik (Tinjauan Kasus di Jawa Tengah)*, Makalah diseminarkan di Laboratorium Kemagnetan Bahan Jurusan Fisika UNNES.
- Zhang, Fuqiang, dkk, 2010, *Epoxy resin effect on anisotropic Nd-Fe-B rubber-bonded magnets performance*, Journal of Alloys and Compounds 509 [p.687–690], China.



Lampiran 1 Hasil XRD terhadap serbuk BaCO₃ + Fe₂O₃ yang sudah dikalsinasi dengan perbandingan mol 1 : 6

Peak Search Report (28 Peaks, Max P/N = 9.2)
[LUM-0591.RD] BaCO3+Fe2O3 (1:6)
PEAK: 29-pts/Quartic Filter, Threshold=2.0, Cutoff=1.5%, BG=1/3.0, Peak-Top=Centroid Fit

2-Theta	d(A)	BG	Height	I%	Area	I%	FWHM
17,784	4,9833	13	30	8,6	727	13,5	0,412
18,98	4,6719	12	36	10,4	808	15,1	0,382
23,01	3,862	8	52	15	999	18,6	0,327
30,333	2,9442	6	157	45,2	2925	54,5	0,317
30,821	2,8987	6	71	20,5	1253	23,3	0,3
31,313	2,8543	7	39	11,2	823	15,3	0,359
32,197	2,7779	7	341	98,3	4863	90,6	0,242
34,119	2,6257	7	347	100	4587	85,5	0,225
35,242	2,5445	7	35	10,1	1426	26,6	0,693
35,551	2,5231	7	26	7,5	1369	25,5	0,895
37,093	2,4217	5	157	45,2	2494	46,5	0,27
40,315	2,2353	3	104	30	1720	32	0,281
42,433	2,1285	2	68	19,6	1684	31,4	0,421
46,575	1,9484	2	23	6,6	662	12,3	0,489
50,235	1,8146	2	26	7,5	849	15,8	0,555
53,346	1,7159	5	11	3,2	198	3,7	0,306
53,878	1,7002	5	24	6,9	767	14,3	0,543
55,053	1,6667	2	110	31,7	2893	53,9	0,447
55,38	1,6576	2	36	10,4	4480	83,5	2,116
56,31	1,6324	4	71	20,5	5368	100	1,285
56,521	1,6268	4	160	46,1	4338	80,8	0,461
57,283	1,607	6	17	4,9	520	9,7	0,52
63,04	1,4734	2	118	34	2783	51,8	0,401
67,327	1,3896	2	36	10,4	1197	22,3	0,565
71,823	1,3133	2	20	5,8	662	12,3	0,563
72,562	1,3017	2	44	12,7	1052	19,6	0,406
72,651	1,3003	2	30	8,6	1271	23,7	0,72
75,465	1,2587	2	16	4,6	849	15,8	0,902

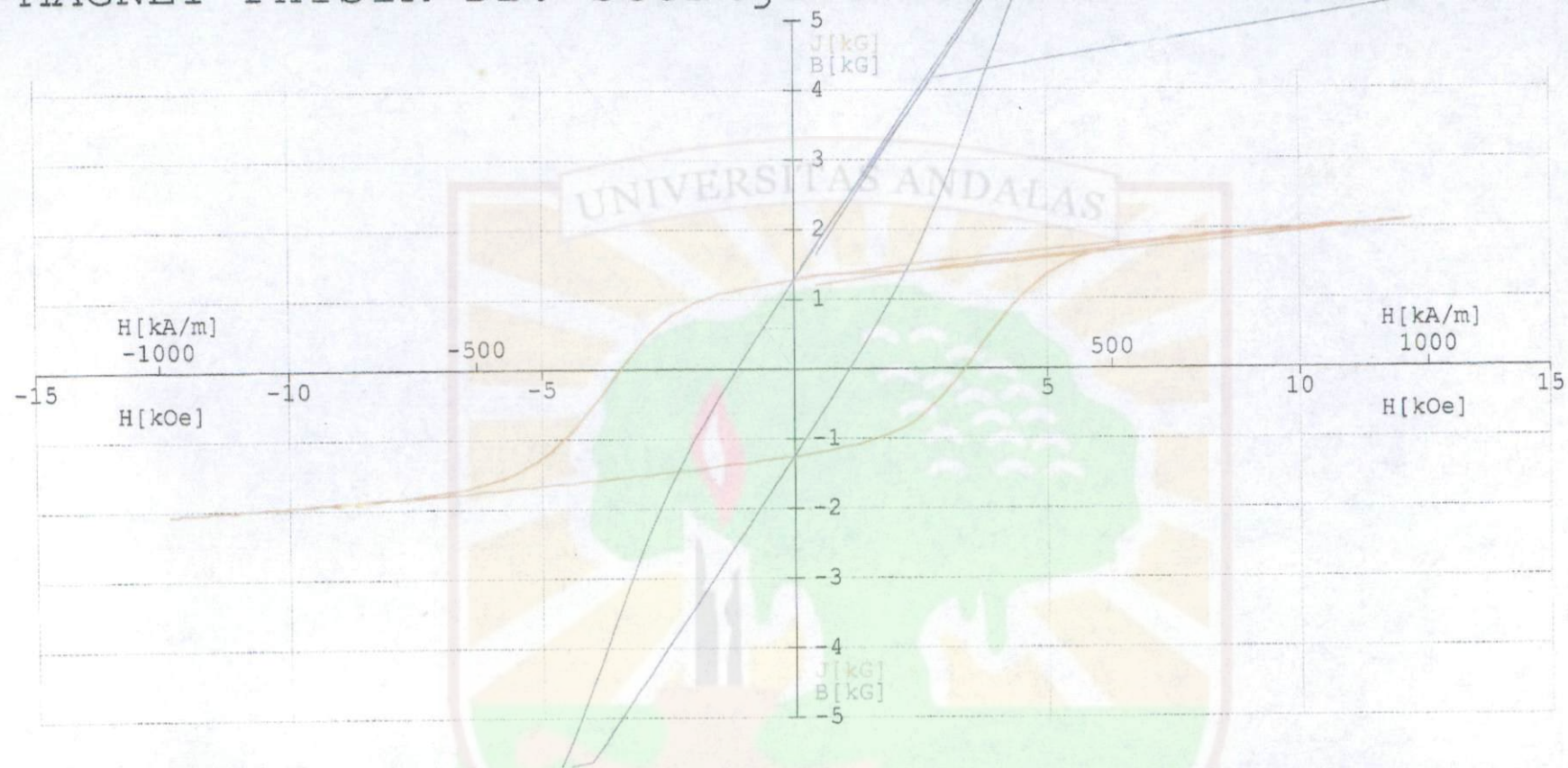
Lampiran 2 Hasil XRD terhadap serbuk BaCO₃ + Fe₂O₃ yang sudah dikalsinasi dengan perbandingan mol 1 : 6,2

Peak Search Report (34 Peaks, Max P/N = 11.3)
[LUM-0590.RD] BaCO3+Fe2O3 (1:6,2)
PEAK: 39-pts/Quartic Filter, Threshold=2.0, Cutoff=1.5%, BG=1/3.0, Peak-Top=Centroid Fit

2-Theta	d(A)	BG	Height	I%	Area	I%	FWHM
17,568	5,0441	15	41	8	884	17,4	0,367
18,784	4,7202	14	67	13	1177	23,2	0,299
22,822	3,8934	9	62	12	1257	24,8	0,345
30,139	2,9627	6	244	47,4	2475	48,8	0,172
30,612	2,918	6	83	16,1	1106	21,8	0,227
31,107	2,8727	6	49	9,5	833	16,4	0,289
31,682	2,8219	6	9	1,7	1359	26,8	2,567
32	2,7946	6	470	91,3	5067	100	0,183
32,986	2,7133	8	15	2,9	225	4,4	0,255
33,676	2,6592	6	9	1,7	1349	26,6	2,548
33,924	2,6403	6	515	100	5056	99,8	0,167
35,065	2,557	6	47	9,1	1629	32,1	0,589
35,329	2,5385	6	47	9,1	1480	29,2	0,535
36,893	2,4344	4	230	44,7	2383	47	0,176
38,225	2,3525	4	17	3,3	627	12,4	0,627
40,132	2,245	3	152	29,5	1733	34,2	0,194
42,243	2,1376	2	102	19,8	1335	26,3	0,222
46,373	1,9564	2	27	5,2	848	16,7	0,534
50,044	1,8211	2	40	7,8	994	19,6	0,422
53,18	1,7209	4	12	2,3	329	6,5	0,466
53,7	1,7055	4	31	6	1005	19,8	0,551
54,447	1,6838	4	9	1,7	904	17,8	1,708
54,888	1,6713	2	166	32,2	2809	55,4	0,288
56,342	1,6316	3	210	40,8	3857	76,1	0,312
57,064	1,6127	4	22	4,3	598	11,8	0,462
59,763	1,5461	1	19	3,7	461	9,1	0,412
62,534	1,4841	1	19	3,7	800	15,8	0,716
62,875	1,4768	1	193	37,5	3236	63,9	0,285
63,312	1,4677	2	16	3,1	1304	25,7	1,385
65,35	1,4268	2	15	2,9	207	4,1	0,235
67,156	1,3927	1	52	10,1	1323	26,1	0,433
71,669	1,3157	1	24	4,7	705	13,9	0,499
72,399	1,3042	1	58	11,3	1140	22,5	0,334

Lampiran 3 Sifat magnet sampel yang terbaca oleh Magnet-Physik Dr. Steingroever GmbH PERMAGRAPH C untuk masing-masing sampel.





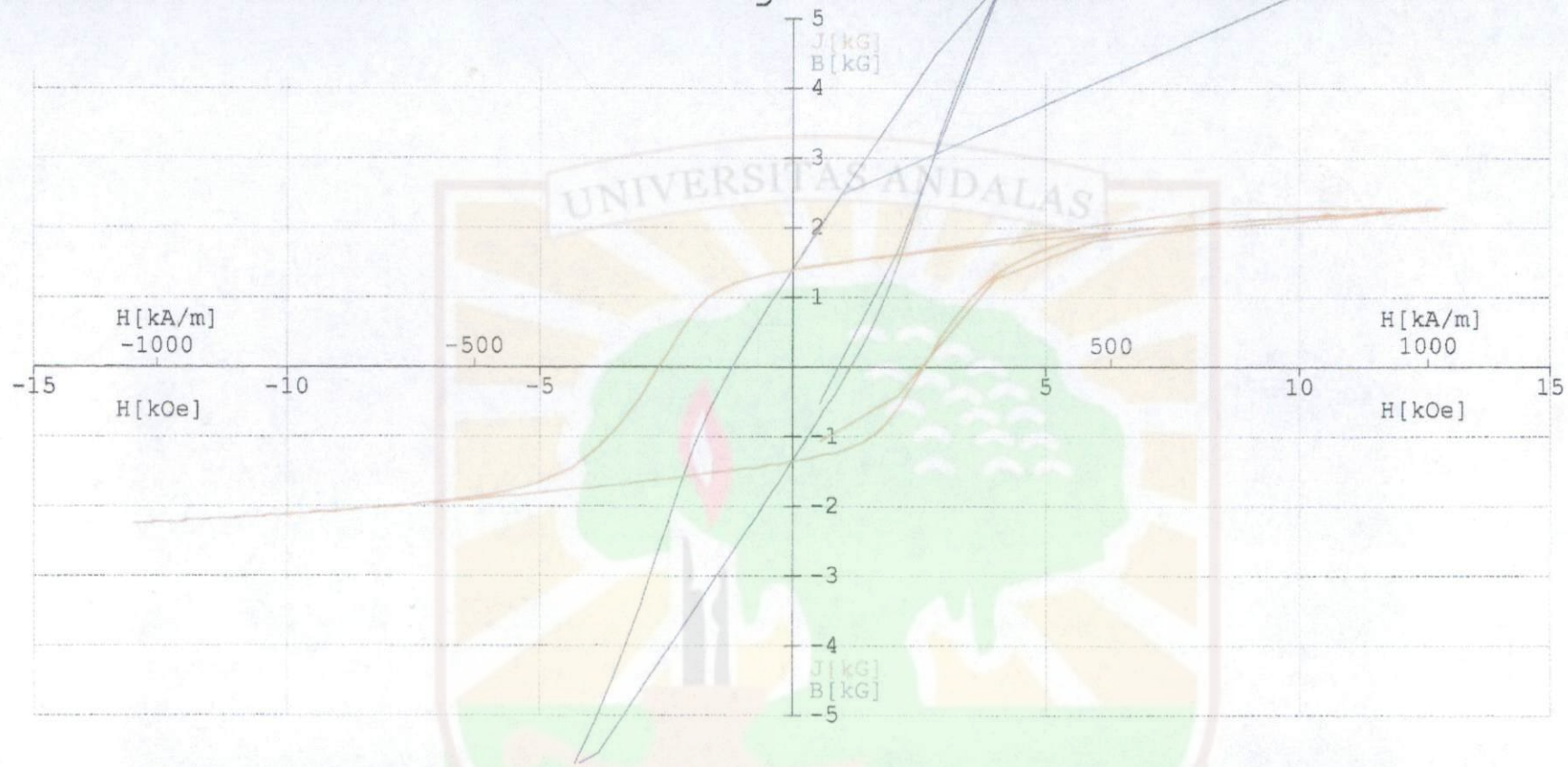
Br	=	1.27 kG	H [kOe]	J [kG]
HcB	=	1.129 kOe	-20.0	0.00
HcJ	=	3.434 kOe	-40.0	0.00
Hknee	=	1.048 kOe	-60.0	0.00
(BH)max	=	0.36 MGOe	-80.0	0.00
Ha	=	0.615 kOe	-100.0	0.00
Ba	=	0.58 kG	-120.0	0.00
Hmax	=	12.125 kOe	-140.0	0.00
			-160.0	0.00
			-180.0	0.00
			-200.0	0.00

H Coil : JHT 26x4
 J Coil : JHT 26x4
 H1 : 25 %
 H2 : 25 %
 dH/dt : 13 %
 H Range : 1e-5 Vs
 J Range : 1e-4 Vs
 Real Temp. : 25.0 °C

 Height : 5.76 mm
 Density : 3.18 g/cm³
 Weight : 7.66 g
 Area : 4.1851 cm²

Date : 3/18/11
 Tested by: Nanang
 Customer :
 Shape : Disc
 Material : Ferrite
 Info 1 : BaFe Bonded
 Info 2 : 0% Aditif
 Info 3 : 10% Resin

Test No. :
 Mat. No. :
 Art. No. : 10

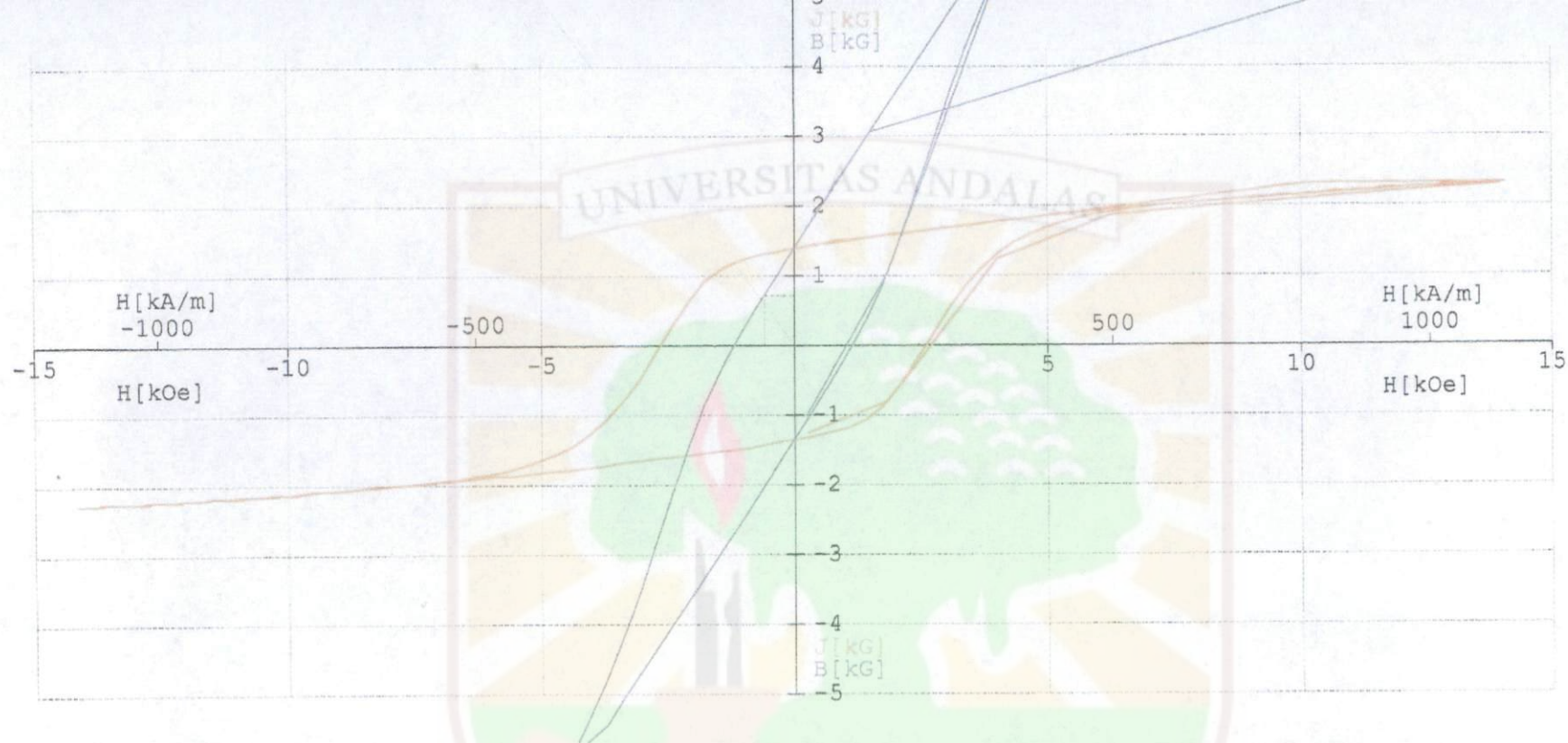


Br	=	1.39 kG	H[kOe]	J[kG]
HcB	=	1.189 kOe	-20.0	0.00
HcJ	=	2.631 kOe	-40.0	0.00
Hknee	=	0.890 kOe	-60.0	0.00
(BH)max	=	0.41 MGOe	-80.0	0.00
Ha	=	0.685 kOe	-100.0	0.00
Ba	=	0.60 kG	-120.0	0.00
Hmax	=	12.820 kOe	-140.0	0.00
			-160.0	0.00
			-180.0	0.00
			-200.0	0.00

H Coil	:	JHT 26x4
J Coil	:	JHT 26x4
H1	:	25 %
H2	:	25 %
dH/dt	:	13 %
H Range	:	1e-5 Vs
J Range	:	1e-4 Vs
Real Temp.	:	25.0 °C
Height	:	5.43 mm
Density	:	3.13 g/cm ³
Weight	:	7.26 g
Area	:	4.2658 cm ²

Date	:	3/18/11
Tested by:	:	Nanang
Customer	:	
Shape	:	Disc
Material	:	Ferrite
Info 1	:	BaFe Bonded
Info 2	:	0% Aditif
Info 3	:	15% Resin

Test No. :	
Mat. No. :	
Art. No. :	11

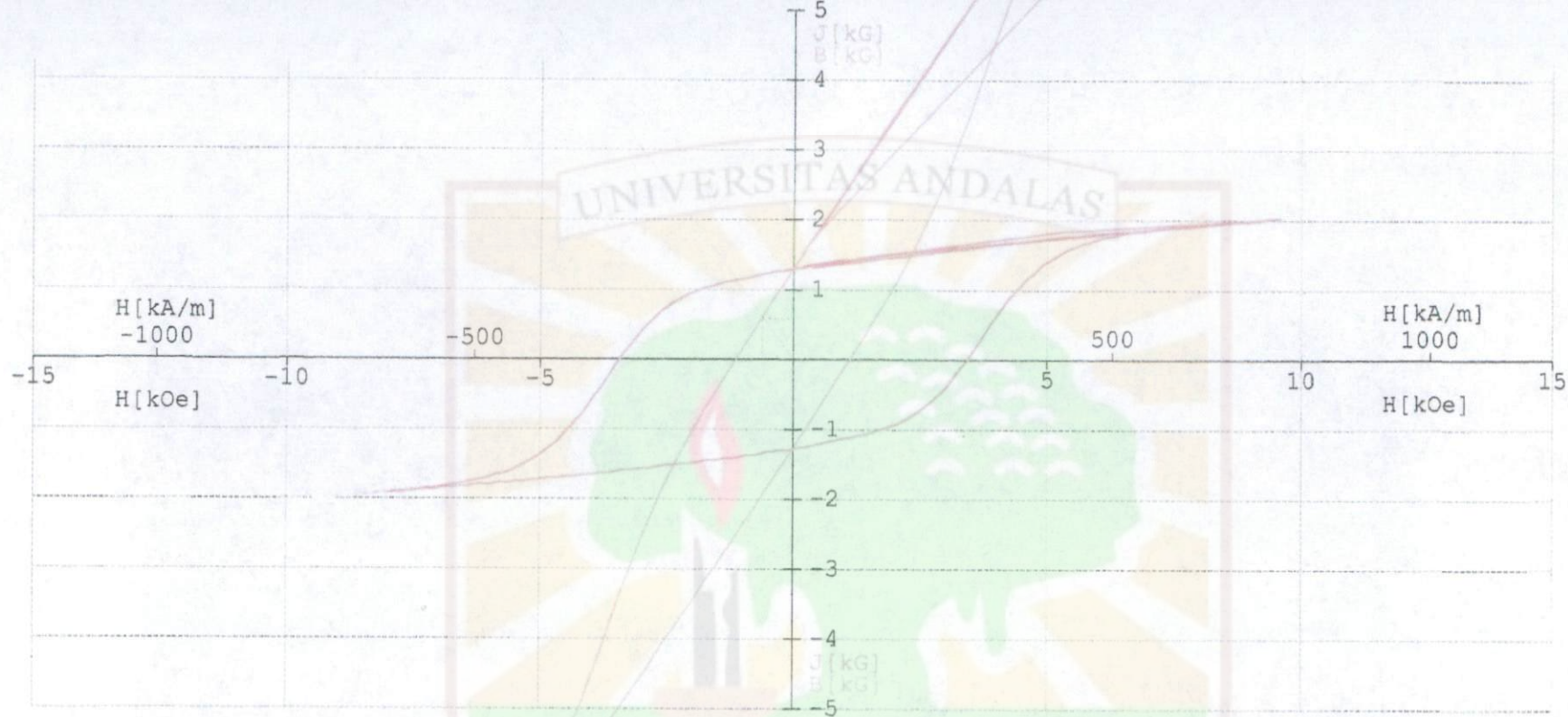


Br	=	1.39 kG	H[kOe]	J[kG]
HcB	=	1.184 kOe	-20.0	0.00
HcJ	=	2.637 kOe	-40.0	0.00
Hknee	=	0.917 kOe	-60.0	0.00
(BH)max	=	0.42 MGOe	-80.0	0.00
Ha	=	0.590 kOe	-100.0	0.00
Ba	=	0.72 kG	-120.0	0.00
Hmax	=	13.965 kOe	-140.0	0.00
			-160.0	0.00
			-180.0	0.00
			-200.0	0.00

H Coil	:	JHT 26x4
J Coil	:	JHT 26x4
H1	:	25 %
H2	:	25 %
dH/dt	:	13 %
H Range	:	1e-5 Vs
J Range	:	1e-4 Vs
Real Temp.	:	25.0 °C
Height	:	4.11 mm
Density	:	3.43 g/cm ³
Weight	:	5.93 g
Area	:	4.2109 cm ²

Date	:	3/18/11
Tested by:	:	Nanang
Customer :	:	
Shape	:	Disc
Material :	:	Ferrite
Info 1	:	BaFe Bonded
Info 2	:	0% Aditif
Info 3	:	20% Resin

Test No. :	:	
Mat. No. :	:	
Art. No. :	:	12



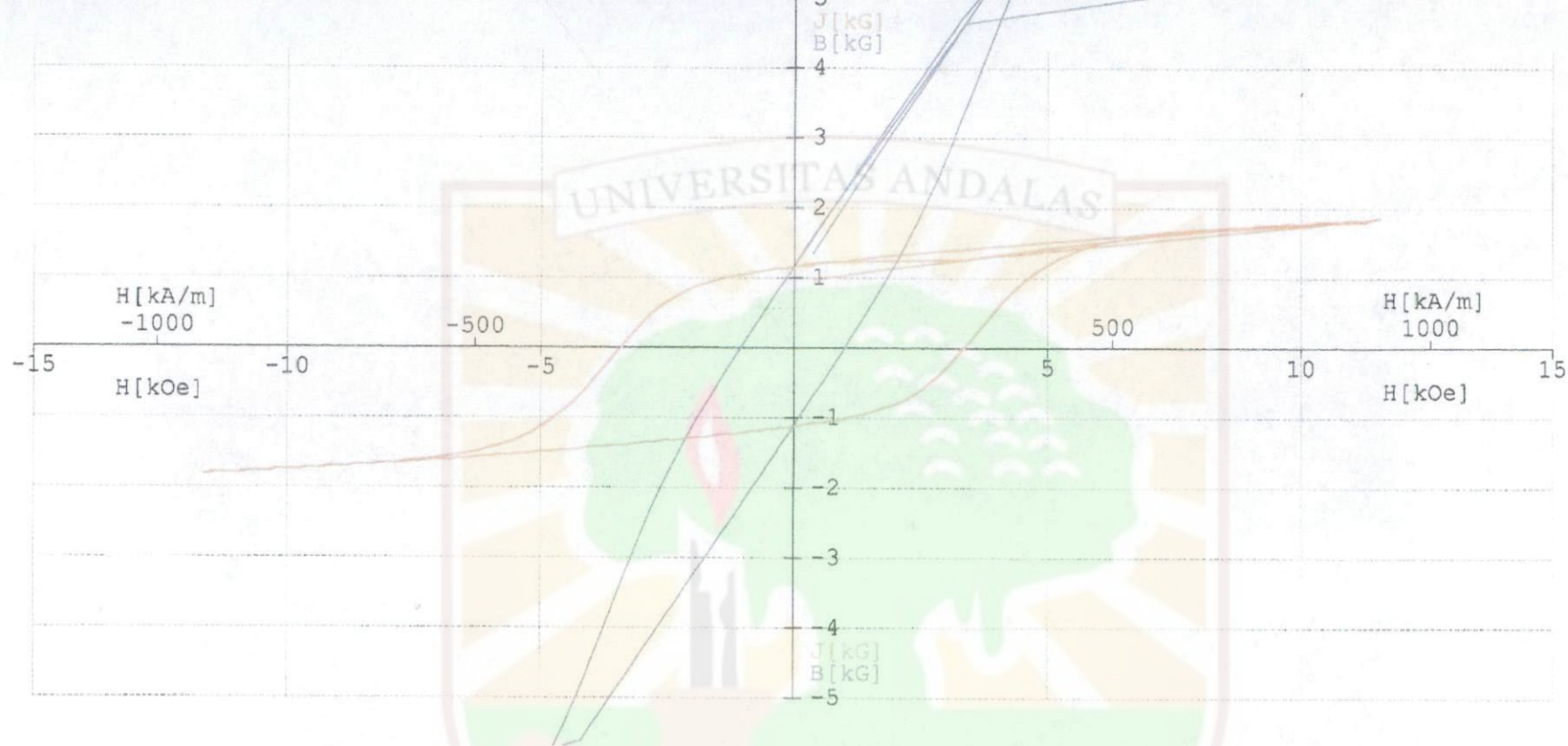
Br	=	1.30	kG	H[kOe]	J[kG]
HcB	=	1.132	kOe	-20.0	0.00
HcJ	=	3.430	kOe	-40.0	0.00
Hknee	=	0.911	kOe	-60.0	0.00
(BH)max	=	0.37	MGOe	-80.0	0.00
Ha	=	0.625	kOe	-100.0	0.00
Ba	=	0.58	kG	-120.0	0.00
Hmax	=	9.250	kOe	-140.0	0.00
				-160.0	0.00
				-180.0	0.00
				-200.0	0.00

H Coil : JHT 26x4
 J Coil : JHT 26x4
 H1 : 25 %
 H2 : 25 %
 dH/dt : 13 %
 H Range : 1e-5 Vs
 J Range : 1e-4 Vs
 Real Temp. : 25.0 °C

Height : 9.7 mm
 Density : 3.29 g/cm³
 Diameter : 23.17 mm
 Area : 4.2164 cm²

Date : 3/18/11
 Tested by: Nanang
 Customer :
 Shape : Disc
 Material : Ferrite
 Info 1 : BaFe Bonded
 Info 2 : 0% Aditif
 Info 3 : 25% Resin

Test No. :
 Mat. No. :
 Art. No. : 2

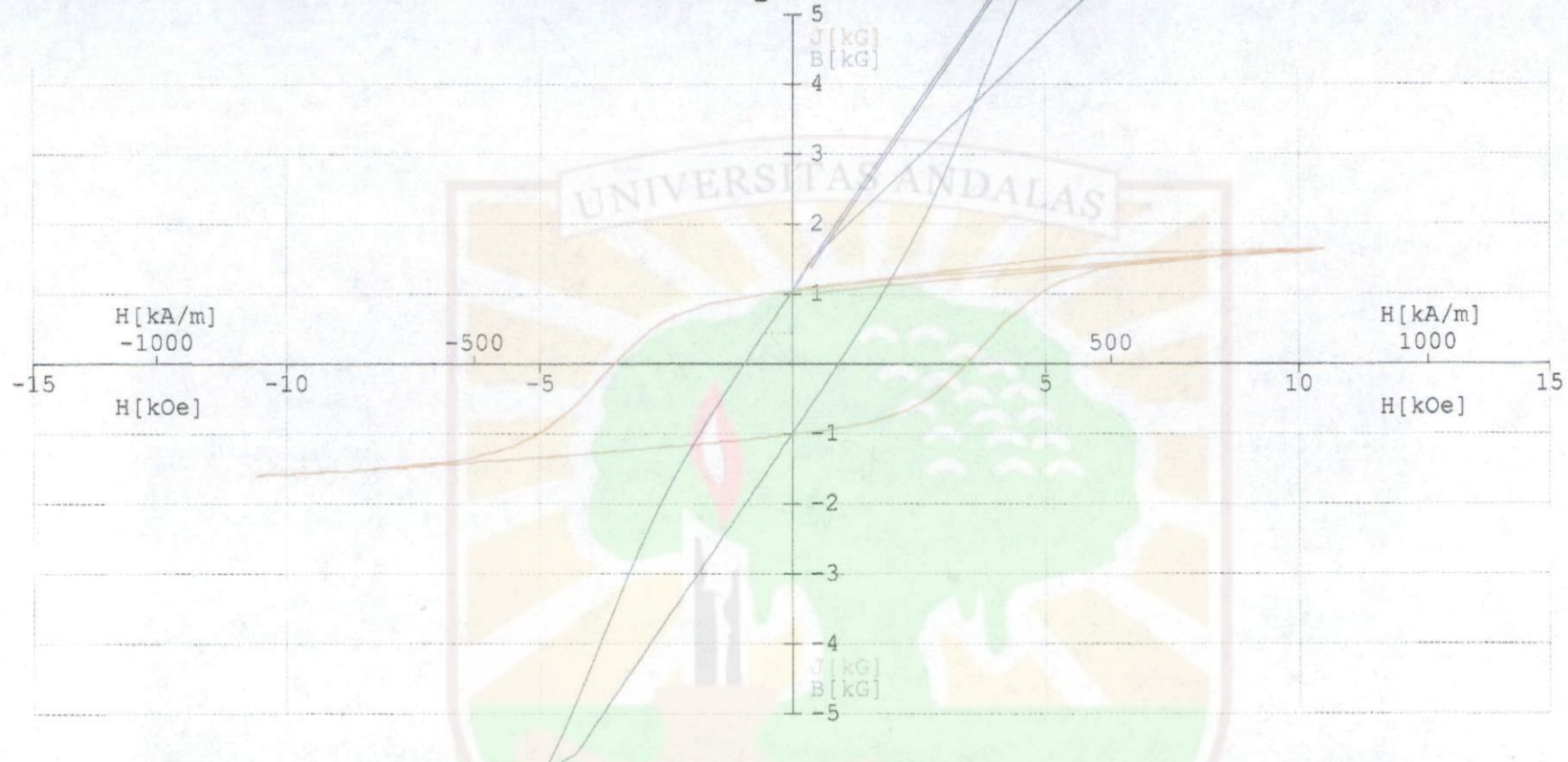


Br	=	1.15	kG	H [kOe]	J [kG]
HcB	=	1.037	kOe	-20.0	0.00
HcJ	=	3.407	kOe	-40.0	0.00
Hknee	=	1.055	kOe	-60.0	0.00
(BH)max	=	0.30	MGOe	-80.0	0.00
Ha	=	0.535	kOe	-100.0	0.00
Ba	=	0.56	kG	-120.0	0.00
Hmax	=	11.330	kOe	-140.0	0.00
				-160.0	0.00
				-180.0	0.00
				-200.0	0.00

H Coil : JHT 26x4
 J Coil : JHT 26x4
 H1 : 25 %
 H2 : 25 %
 dH/dt : 13 %
 H Range : 1e-5 Vs
 J Range : 1e-4 Vs
 Real Temp. : 25.0 °C
 Height : 7.35 mm
 Density : 2.67 g/cm³
 Weight : 8.4 g
 Area : 4.2803 cm²

Date : 3/18/11
 Tested by: Nanang
 Customer :
 Shape : Disc
 Material : Ferrite
 Info 1 : BaFe Bonded
 Info 2 : 0% Aditif
 Info 3 : 10% Resin

Test No. :
 Mat. No. :
 Art. No. : 9



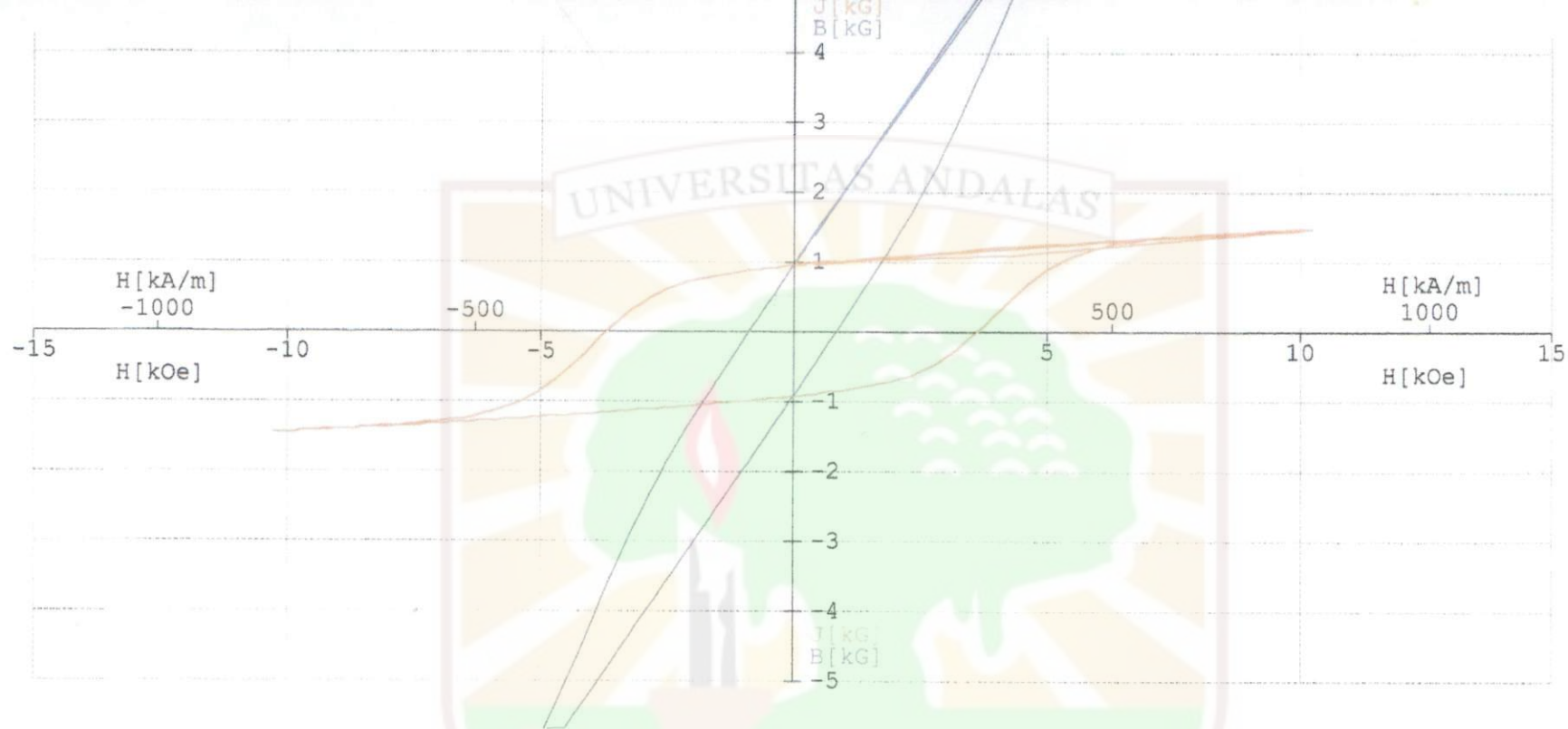
Br	=	1.04	kG	H[kOe]	J[kG]
HcB	=	0.943	kOe	-20.0	0.00
HcJ	=	3.502	kOe	-40.0	0.00
Hknee	=	1.024	kOe	-60.0	0.00
(BH)max	=	0.25	MGOe	-80.0	0.00
Ha	=	0.550	kOe	-100.0	0.00
Ba	=	0.45	kG	-120.0	0.00
Hmax	=	10.310	kOe	-140.0	0.00
				-160.0	0.00
				-180.0	0.00
				-200.0	0.00

H Coil	:	JHT 26x4
J Coil	:	JHT 26x4
H1	:	25 %
H2	:	25 %
dH/dt	:	13 %
H Range	:	1e-5 Vs
J Range	:	1e-4 Vs
Real Temp.	:	25.0 °C

Height	:	8.57 mm
Density	:	2.57 g/cm ³
Weight	:	9.3 g
Area	:	4.2178 cm ²

Date	:	3/18/11
Tested by:	:	Nanang
Customer	:	
Shape	:	Disc
Material	:	Ferrite
Info 1	:	BaFe Bonded
Info 2	:	0.3% Aditif
Info 3	:	15% Resin

Test No.	:	
Mat. No.	:	
Art. No.	:	4



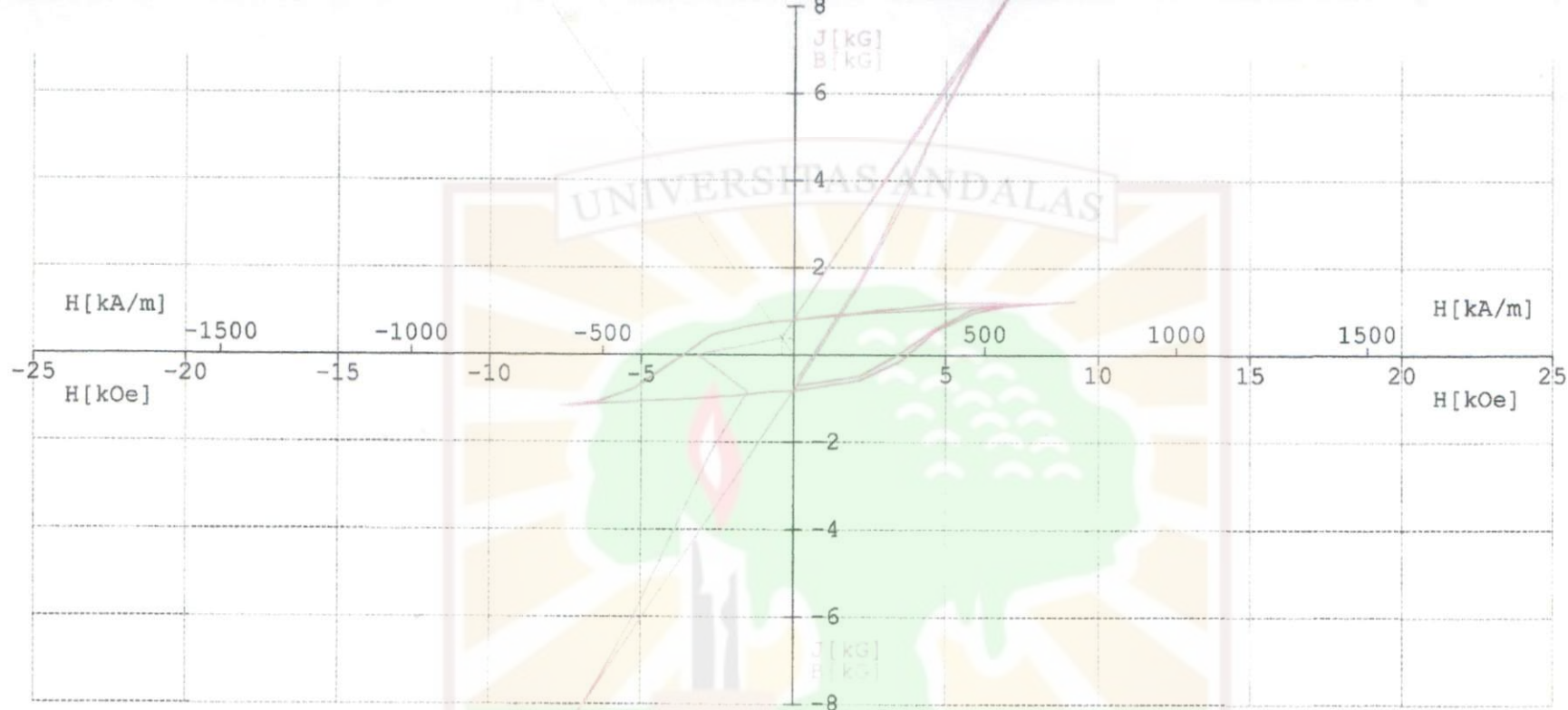
Br	=	0.95 kG	H [kOe]	J [kG]
HcB	=	0.877 kOe	-20.0	0.00
HcJ	=	3.684 kOe	-40.0	0.00
Hknee	=	1.035 kOe	-60.0	0.00
(BH)max	=	0.20 MGOe	-80.0	0.00
Ha	=	0.375 kOe	-100.0	0.00
Ba	=	0.53 kG	-120.0	0.00
Hmax	=	9.980 kOe	-140.0	0.00
			-160.0	0.00
			-180.0	0.00
			-200.0	0.00

H Coil : JHT 26x4
 J Coil : JHT 26x4
 H1 : 25 %
 H2 : 25 %
 dH/dt : 13 %
 H Range : 1e-5 Vs
 J Range : 1e-4 Vs
 Real Temp. : 25.0 °C

Height : 9.05 mm
 Diameter : 23.14 mm
 Area : 4.2055 cm²

Date : 3/18/11
 Tested by: Nanang
 Customer :
 Shape : Disc
 Material : Ferrite
 Info 1 : BaFe Bonded
 Info 2 : 0.3% Aditif
 Info 3 : 20% Resin

Test No. :
 Mat. No. :
 Art. No. : 3

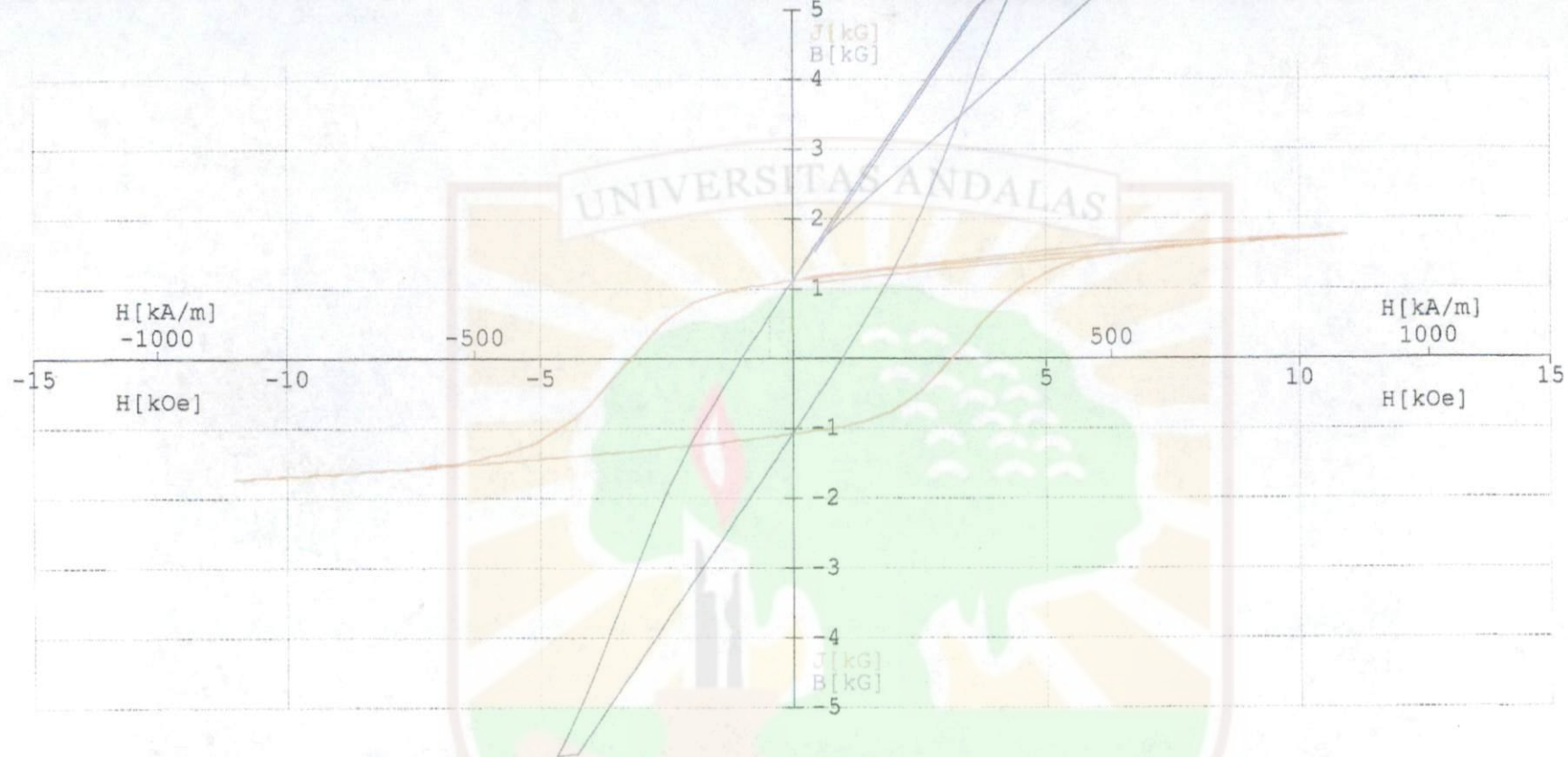


Br	=	0.81 kG	H[kOe]	J[kG]
HcB	=	3.135 kOe	-20.0	0.00
HcJ	=	3.612 kOe	-40.0	0.00
Hknee	=	1.581 kOe	-60.0	0.00
(BH)max	=	0.15 MGOe	-80.0	0.00
Ha	=	0.400 kOe	-100.0	0.00
Ba	=	0.38 kG	-120.0	0.00
Hmax	=	9.250 kOe	-140.0	0.00
			-160.0	0.00
			-180.0	0.00
			-200.0	0.00

H Coil	:	JHT 26x4
J Coil	:	JHT 26x4
H1	:	25 %
H2	:	25 %
dH/dt	:	13 %
H Range	:	1e-4 Vs
J Range	:	1e-4 Vs
Real Temp.	:	25.0 °C
Height	:	9.48 mm
Density	:	2.43 g/cm ³
Weight	:	9.7 g
Area	:	4.2143 cm ²

Date	:	3/18/11
Tested by:	Nanang	
Customer :		
Shape	:	Disc
Material	:	Ferrite
Info 1	:	BaFe Bonded
Info 2	:	0,3 % Aditif
Info 3	:	25% Resin

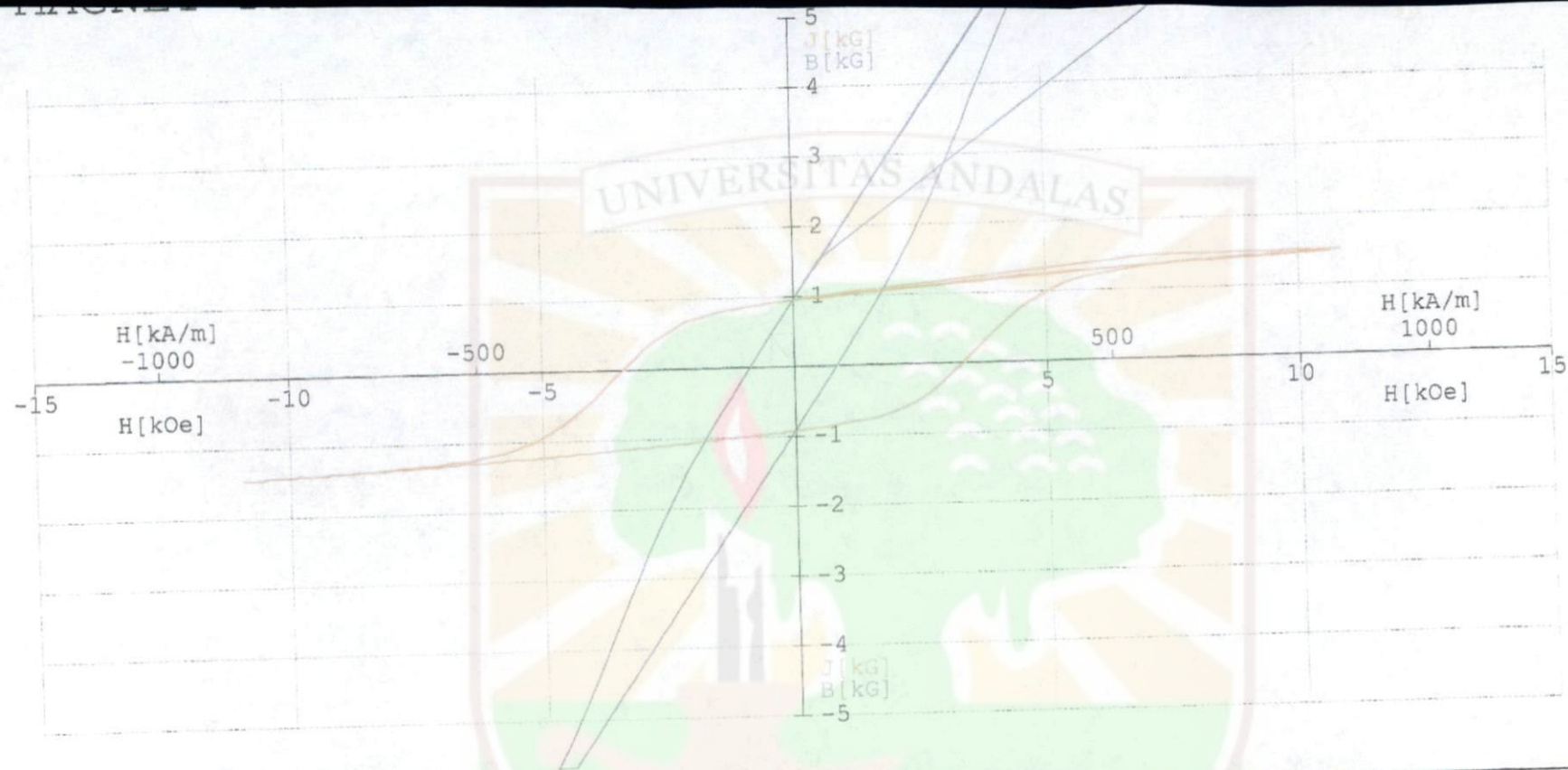
Test No. :	
Mat. No. :	
Art. No. :	1



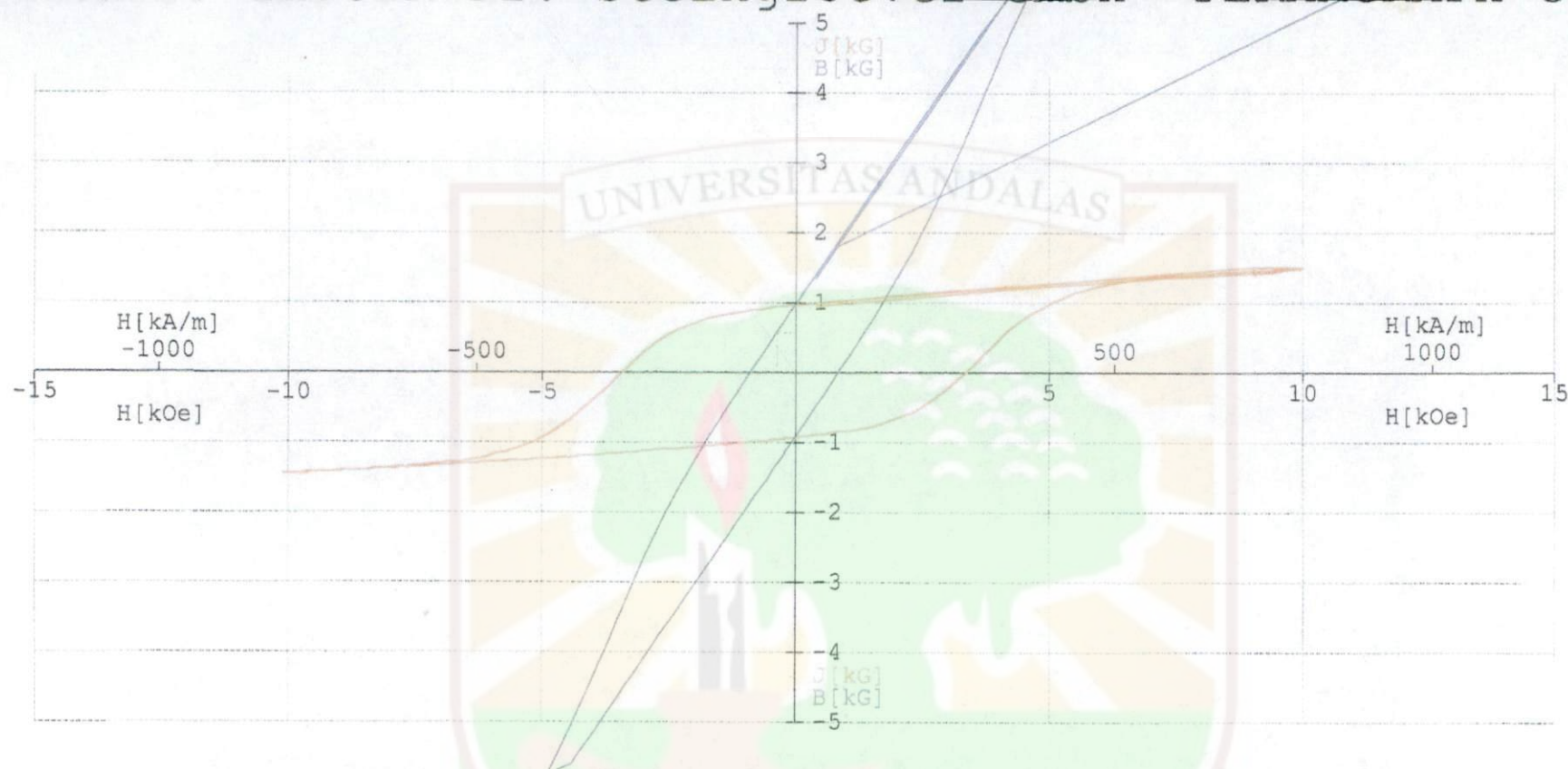
Br	=	1.10 kG	H[kOe]	J[kG]
HcB	=	1.007 kOe	-20.0	0.00
HcJ	=	3.185 kOe	-40.0	0.00
Hknee	=	1.058 kOe	-60.0	0.00
(BH)max	=	0.27 MGOe	-80.0	0.00
Ha	=	0.465 kOe	-100.0	0.00
Ba	=	0.59 kG	-120.0	0.00
Hmax	=	10.775 kOe	-140.0	0.00
			-160.0	0.00
			-180.0	0.00
			-200.0	0.00

H Coil	:	JHT 26x4
J Coil	:	JHT 26x4
H1	:	25 %
H2	:	25 %
dH/dt	:	13 %
H Range	:	1e-5 Vs
J Range	:	1e-4 Vs
Real Temp.	:	25.0 °C
Height	:	7.94 mm
Density	:	2.62 g/cm ³
Weight	:	8.86 g
Area	:	4.2648 cm ²

Date	:	3/18/11
Tested by:	:	Nanang
Customer	:	
Shape	:	Disc
Material	:	Ferrite
Info 1	:	BaFe Bonded
Info 2	:	0.6% Aditif
Info 3	:	10% Resin
Test No.	:	
Mat. No.	:	
Art. No.	:	8



Br	=	0.94 kG	H[kOe]	J[kG]	H Coil	: JHT 26x4	Date	: 3/18/11
HcB	=	0.864 kOe	-20.0	0.00	J Coil	: JHT 26x4	Tested by:	Nanang
HcJ	=	3.387 kOe	-40.0	0.00	H1	: 25 %	Customer :	
Hknee	=	1.059 kOe	-60.0	0.00	H2	: 25 %	Shape	: Disc
(BH)max	=	0.21 MGOe	-80.0	0.00	dH/dt	: 13 %	Material	: Ferrite
Ha	=	0.445 kOe	-100.0	0.00	H Range	: 1e-5 Vs	Info 1	: BaFe Bonded
Ba	=	0.47 kG	-120.0	0.00	J Range	: 1e-4 Vs	Info 2	: 0.6% Aditif
Hmax	=	10.645 kOe	-140.0	0.00	Real Temp.	: 25.0 °C	Info 3	: 15% Resin
			-160.0	0.00				
			-180.0	0.00	Height	: 8.01 mm	Test No. :	
			-200.0	0.00	Density	: 2.4 g/cm ³	Mat. No. :	
					Weight	: 9.04 g	Art. No. :	5
					Area	: 4.7053 cm ²		

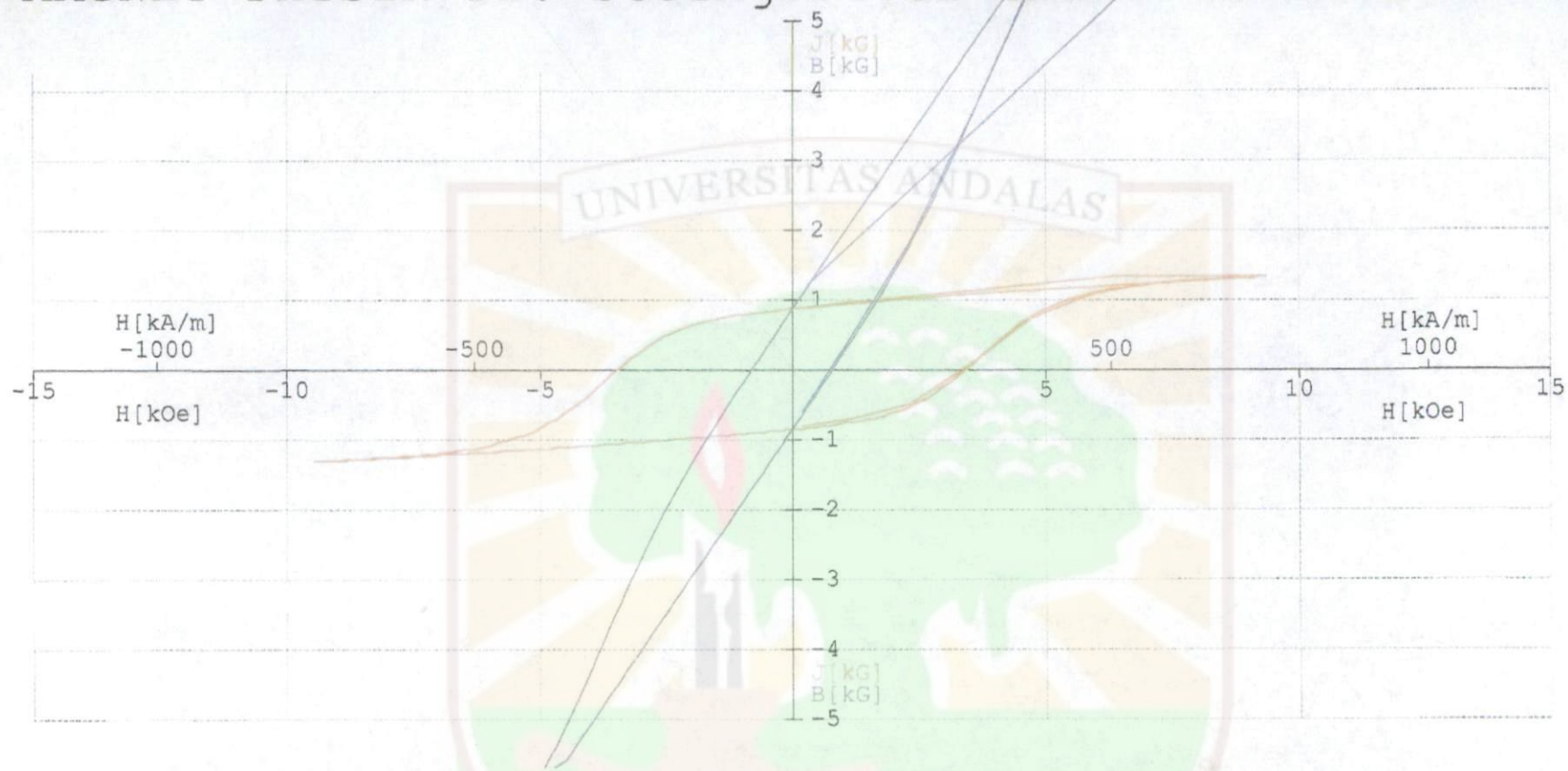


Br	=	0.96 kG	H[kOe]	J[kG]
HcB	=	0.884 kOe	-20.0	0.00
HcJ	=	3.404 kOe	-40.0	0.00
Hknee	=	1.022 kOe	-60.0	0.00
(BH)max	=	0.21 MGOe	-80.0	0.00
Ha	=	0.365 kOe	-100.0	0.00
Ba	=	0.57 kG	-120.0	0.00
Hmax	=	9.815 kOe	-140.0	0.00
			-160.0	0.00
			-180.0	0.00
			-200.0	0.00

H Coil	:	JHT 26x4
J Coil	:	JHT 26x4
H1	:	25 %
H2	:	25 %
dH/dt	:	13 %
H Range	:	1e-5 Vs
J Range	:	1e-4 Vs
Real Temp.	:	25.0 °C
Height	:	9.52 mm
Density	:	2.41 g/cm ³
Weight	:	9.8 g
Area	:	4.2695 cm ²

Date	:	3/18/11
Tested by:	:	Nanang
Customer	:	
Shape	:	Disc
Material	:	Ferrite
Info 1	:	BaFe Bonded
Info 2	:	0.6% Aditif
Info 3	:	20% Resin

Test No. :	
Mat. No. :	
Art. No. :	6



Br	=	0.88 kG	H[kOe]	J[kG]
HcB	=	0.807 kOe	-20.0	0.00
HcJ	=	3.465 kOe	-40.0	0.00
Hknee	=	0.866 kOe	-60.0	0.00
(BH)max	=	0.17 MGOe	-80.0	0.00
Ha	=	0.375 kOe	-100.0	0.00
Ba	=	0.46 kG	-120.0	0.00
Hmax	=	9.055 kOe	-140.0	0.00
			-160.0	0.00
			-180.0	0.00
			-200.0	0.00

H Coil	:	JHT 26x4
J Coil	:	JHT 26x4
H1	:	25 %
H2	:	25 %
dH/dt	:	13 %
H Range	:	1e-5 Vs
J Range	:	1e-4 Vs
Real Temp.	:	25.0 °C

Height	:	10.36 mm
Density	:	2.38 g/cm ³
Weight	:	10.38 g
Area	:	4.2135 cm ²

Date	:	3/18/11
Tested by:	:	Nanang
Customer	:	
Shape	:	Disc
Material	:	Ferrite
Info 1	:	BaFe Bonded
Info 2	:	0.6% Aditif
Info 3	:	25% Resin

Test No. :	
Mat. No. :	
Art. No. :	7

Lampiran 4 Karakteristik beberapa produk komersial dan literatur bonded magnet

Sumber	Nilai minimum				Densitas (g/cm ³)	Keterangan
	BH _{max} MGOe	B _r G	HcB Oe	HcJ Oe		
internationally standardized bonded hard ferrite grades (IEC-Document 68 CO24, 1980)	0,1	630	628	2198	2,3	Isotropik (1/18 p)
	0,4	1350	1067	2198	3,8	Isotropik (3/18 p)
	1,13	2500	1821	2386	3,4	Anisotroik (9/19 p)
Kolektor Magnet Technology Gmbh, Belanda	0,21	1030	880	2765	-	Koerox I 1/20PA (polyamide)
	0,34	1280	1081	2765		Koerox I 2/20 PA
	0,65	1700	1508	2765		Koerox I 5/22 PA
ChenYang Technologies GmbH & Co. KG,	0,17	870	790	2700	2,6- 3,7	CY-PB8
	1,1	2200	1650	2200		CY-PB12
	1,3	2400	2100	3000		CY-PB15