

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pasir besi merupakan sumber daya alam yang banyak terdapat di Indonesia. Pasir besi banyak ditemukan di pantai selatan Pulau Jawa dan salah satunya di daerah Kulon Progo. Hasil penambangan pasir besi berpotensi untuk menjadi suatu komoditas negara Indonesia namun pengolahan pasir besi masih belum maksimal saat ini. Pasir besi umumnya diekspor dalam bentuk mentah (*raw material*) padahal pasir besi dapat diolah lebih lanjut agar pemanfaatannya menjadi lebih efektif dan efisien serta harga jualnya menjadi lebih tinggi (Yulianto *et al.*, 2002).

Pasir besi dapat dimanfaatkan dalam industri baja karena pasir besi banyak mengandung besi (Fe) sebagai bahan baku pembuatan baja. Pasir besi juga banyak mengandung mineral-mineral magnetik seperti magnetit (Fe_3O_4), hematit ($\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$), dan maghemit ($\gamma - \text{Fe}_2\text{O}_3$) sehingga pasir besi dapat digunakan di dalam industri lain. Magnetit dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan tinta kering / *toner* yang biasa digunakan di dalam mesin fotokopi dan *printer laser*. Maghemit adalah bahan utama pembuatan pita kaset. Ketiga mineral tersebut juga dapat digunakan dalam industri pembuatan magnet permanen (Yulianto *et al.*, 2002).

Pengolahan pasir besi menjadi magnet permanen merupakan cara yang baik untuk mengoptimalkan pemanfaatan pasir besi di Indonesia. Saat ini,

permintaan terhadap magnet permanen mulai mengalami peningkatan karena banyaknya industri yang menggunakan magnet permanen sebagai bahan bakunya dan saat ini magnet mulai diincar sebagai sumber energi alternatif tanpa bahan bakar. Contoh industri yang membutuhkan magnet permanen adalah industri komponen listrik dan elektronik, misalnya motor-motor DC kecil, pengeras suara (*loudspeaker*), meteran air, KWH-meter, *telephone receiver*, *circulator*, dan *rice cooker*. Magnet permanen digunakan dalam industri tersebut sebagai sumber energi magnetik.

Berdasarkan data Biro Statistik yang dikutip oleh Sudirman (2002) diketahui bahwa dalam kurun waktu satu tahun, nilai total penjualan bahan magnet untuk industri permainan anak di Indonesia mencapai Rp. 24.376.000,00 sedangkan untuk industri alat listrik rumah tangga mencapai Rp.1.078.285.000,00 namun Indonesia masih harus mengimpor 80% kebutuhan magnet permanen tersebut. Keadaan tersebut yang mendorong usaha pengembangan industri pembuatan magnet permanen di Indonesia yang memenuhi sifat-sifat yang diinginkan, inovatif dan memiliki daya saing.

Indonesia sebenarnya sudah memiliki pabrik manufaktur magnet yang terletak di Cilegon, Jawa Barat namun bahan baku yang digunakan di pabrik ini adalah serbuk besi yang nilainya lebih mahal daripada pasir besi. Pembuatan magnet permanen menggunakan bahan baku pasir besi diharapkan dapat menurunkan biaya produksi sehingga keuntungan yang didapatkan lebih tinggi.

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk mengolah pasir besi yang didapatkan dari pantai di daerah Kulon Progo menjadi magnet permanen dengan berbagai bentuk sebagai upaya untuk meningkatkan pemanfaatan pasir besi

sehingga untuk selanjutnya dapat memenuhi kebutuhan magnet di Indonesia. Selain itu, tulisan ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang pasir besi karena menurut Kelompok Program Penelitian Mineral (2007) ada isu peningkatan eksplorasi pasir besi.

1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan Umum :

1. Meningkatkan pemanfaatan pasir besi di Indonesia menjadi magnet permanen.

Tujuan Khusus :

1. Mempelajari pengaruh *holding time* proses sintering yang digunakan terhadap kekuatan (induksi remanen) dan densitas magnet permanen yang dihasilkan.
2. Menentukan *holding time* terbaik yang digunakan dalam proses sintering dalam proses pembuatan magnet permanen.
3. Mempelajari bentuk medan magnet dari magnet permanen yang dihasilkan.

1.3 Batasan Masalah

Untuk mampu menghasilkan kapabilitas penelitian yang baik, maka lingkup pembahasan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Eksperimen terbatas pada jenis material yaitu pasir besi dari Kulon Progo.

2. Eksperimen terbatas perbandingan massa BaCO_3 dan pasir besi yang digunakan adalah 1 : 6.
3. Eksperimen terbatas pada tekanan kompaksi sebesar 150 Mpa (1,5 ton/cm²).
4. Eksperimen terbatas pada suhu sintering 900°C.
5. Eksperimen terbatas pada *holding time* saat proses sintering selama 45, 60, dan 75 menit.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pengertian Magnet

Magnet adalah logam yang dapat menarik besi atau baja dan memiliki medan magnet. Asal kata magnet diduga dari kata magnesia yaitu nama suatu daerah di Asia kecil. Menurut cerita di daerah itu sekitar 4.000 tahun yang lalu telah ditemukan sejenis batu yang memiliki sifat dapat menarik besi atau baja atau campuran logam lainnya. Benda yang dapat menarik besi atau baja inilah yang disebut magnet (Suryatin, 2008).

Magnet dapat dibuat dari bahan besi, baja, dan campuran logam serta telah banyak dimanfaatkan untuk industri otomotif dan lainnya. Sebuah magnet terdiri atas magnet-magnet kecil yang memiliki arah yang sama (tersusun teratur), magnet-magnet kecil ini disebut magnet elementer. Pada logam yang bukan magnet, magnet elementernya mempunyai arah sembarangan (tidak teratur) sehingga efeknya saling meniadakan, yang mengakibatkan tidak adanya kutub-kutub magnet pada ujung logam. Setiap magnet memiliki dua kutub, yaitu: utara dan selatan. Kutub magnet adalah daerah yang berada pada ujung-ujung magnet dengan kekuatan magnet yang paling besar berada pada kutub-kutubnya (Afza, 2011).

Benda dapat dibedakan menjadi dua macam berdasarkan sifat kemagnetannya yaitu benda magnetik dan benda non-magnetik. Benda magnetik adalah benda yang dapat ditarik oleh magnet, sedangkan benda non-magnetik

adalah benda yang tidak dapat ditarik oleh magnet (Suryatin, 2008). Contoh benda magnetik adalah logam seperti besi dan baja, namun tidak semua logam dapat ditarik oleh magnet, sedangkan contoh benda non-magnetik adalah oksigen cair. Satuan intensitas magnet menurut sistem metrik Satuan Internasional (SI) adalah Tesla dan SI unit untuk total fluks magnetik adalah weber ($1 \text{ weber/m}^2 = 1 \text{ tesla}$) yang mempengaruhi luasan satu meter persegi (Afza, 2011).

2.2 Medan Magnet

Medan magnet adalah daerah di sekitar magnet yang masih merasakan adanya gaya magnet. Jika sebatang magnet diletakkan dalam suatu ruang, maka terjadi perubahan dalam ruangan ini karena setiap titik dalam ruangan tersebut akan terdapat medan magnetik. Arah medan magnetik suatu ruangan didefinisikan sebagai arah yang ditunjukkan oleh kutub utara jarum kompas yang diletakkan di sekitar medan magnet tersebut (Afza, 2011).

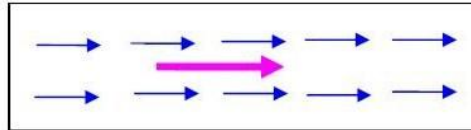
2.2.1 Momen magnetik

Bila terdapat dua buah kutub magnet yang berlawanan $+m$ dan $-m$ terpisah sejauh l , maka besarnya momen magnetiknya (M) adalah

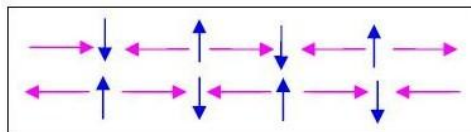
$$M = ml\hat{r}$$

dengan M adalah sebuah vektor dalam arah vektor unit \hat{r} berarah dari kutub negatif ke kutub positif. Arah momen magnetik dari atom bahan non magnetik adalah acak sehingga momen magnetik resultannya menjadi nol. Sebaliknya di dalam bahan-bahan magnetik, arah momen magnetik atom-atom bahan itu teratur sehingga momen magnetik resultan tidak nol. Momen magnetik mempunyai

satuan dalam cgs adalah gauss.cm³ atau emu dan dalam SI mempunyai satuan A.m² (Afza, 2011).



Gambar 2.1 Momen magnetik benda magnetik



Gambar 2.2 Momen magnetik benda non-magnetik

2.2.2 Induksi magnetik

Suatu bahan magnetik yang diletakkan dalam medan luar H akan menghasilkan medan tersendiri H' yang meningkatkan nilai total medan magnetik bahan tersebut. Induksi magnetik yang didefinisikan sebagai medan total bahan ditulis sebagai:

$$B = H + H'$$

Hubungan medan sekunder $H' = 4 \pi M$, satuan B dalam cgs adalah gauss, sedangkan dalam geofisika eksplorasi dipakai satuan gamma (g) dan dalam SI adalah tesla (T) atau nanoTesla (nT) (Afza, 2011).

2.2.3 Kuat medan magnetik

Kuat medan magnet (H) pada suatu titik yang berjarak r dari m_1 didefinisikan sebagai gaya persatuan kuat kutub magnet, dapat dituliskan sebagai:

$$H = \frac{F}{m_2} = \frac{m_1}{\mu_0 r^2} r$$

dengan r adalah jarak titik pengukuran dari m . H mempunyai satuan A/m dalam SI sedangkan dalam cgs H mempunyai satuan oersted (Afza, 2011).

2.2.4 Intensitas kemagnetan

Sejumlah benda-benda magnet dapat dipandang sebagai sekumpulan benda magnetik. Apabila benda magnet tersebut diletakkan dalam medan luar, benda tersebut menjadi termagnetisasi karena induksi. Dengan demikian, intensitas kemagnetan dapat didefinisikan sebagai tingkat kemampuan menyearahkan momen-momen magnetik dalam medan magnetik luar dapat juga dinyatakan sebagai momen magnetik persatuan volume. Satuan magnetisasi dalam cgs adalah gauss atau emu.cm^{-3} dan dalam SI adalah Am^{-1} (Afza, 2011).

$$I = \frac{M}{V} = \frac{mlr^{\wedge}}{V}$$

Dimana : I = Intensitas Kemagnetan

V = Volume

2.3 Jenis Magnet

Magnet dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan sifat kemagnetannya yaitu magnet tetap / permanen, magnet tidak tetap / non-permanen, dan magnet buatan. Magnet tetap adalah magnet yang tidak memerlukan bantuan tenaga untuk menghasilkan daya magnet. Magnet tetap ada beberapa jenis yaitu magnet neodmium, magnet samarium-cobalt, magnet keramik, magnet plastik, dan magnet alnico. Magnet tidak tetap adalah magnet yang bergantung pada arus listrik untuk menghasilkan medan magnet, contohnya elektromagnetik (Suryatin, 2008).

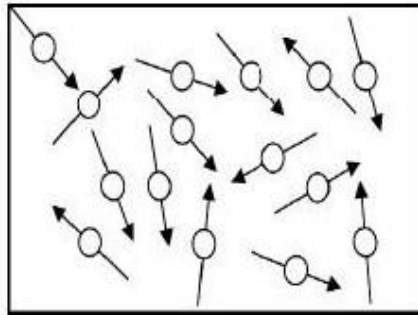
Berdasarkan bentuknya, magnet dibedakan menjadi lima macam yaitu magnet batang, magnet ladam (sepatu kuda), magnet jarum, magnet silinder, magnet lingkaran. Magnet dapat dibuat dari magnet tetap menggunakan metode penggosokan searah, induksi magnet, dan kumparan listrik yang disebut magnet buatan (Suryatin, 2008).

2.4 Bahan Magnetik

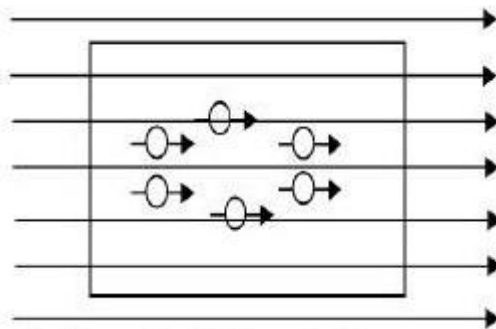
Bahan magnetik dibedakan menjadi tiga macam yaitu diamagnetik, paramagnetik, dan feromagnetik. Diamagnetik merupakan sifat penolakan terhadap gaya tarik magnet. Sifat ini disebabkan oleh medan magnet luar dan gerakan elektron yang mengorbit inti. Elektron-elektron yang membawa muatan akan melakukan gaya Lorentz pada saat bergerak melewati medan magnet. Efek gaya tarik magnet pada bahan diamagnetik lebih kecil 100 kali dari paramagnetik dan 1000 kali dari feromagnetik. Contoh bahan diamagnetik adalah air (Sunaryo dan Widyawidura, 2010).

Bahan paramagnetik adalah bahan yang ditarik lemah oleh magnet. Hal ini muncul karena elektron seolah-olah berputar (spin) di sekitar sumbunya sambil mengorbit inti atom yang menyebabkan spin magnetik sebagai tambahan dari momen orbital magnetiknya. Momen magnetik total sebuah atom diberikan oleh penjumlahan vektor dari momen-momen elektroniknya. Jika momen magnetik, spin, dan orbital pada sebuah atom saling menghilangkan, maka atom tersebut memiliki momen magnetik 0 yang disebut sifat diamagnetik. Jika penghilangannya hanya sebagian maka atom akan memiliki momen magnetik permanen yang disebut sifat paramagnetik. Contoh bahan paramagnetik adalah

biotite, *pyrite*, dan *siderite* (Sunaryo dan Widyawidura, 2010). Bahan ini jika diberi medan magnet luar, elektron-elektronnya akan berusaha sedemikian rupa sehingga resultan medan magnet atomisnya searah dengan medan magnet luar. Sifat paramagnetik ditimbulkan oleh momen magnetik spin yang menjadi terarah oleh medan magnet luar (Afza, 2011).



Gambar 2.3 Arah domain bahan paramagnetik sebelum diberi medan magnet luar



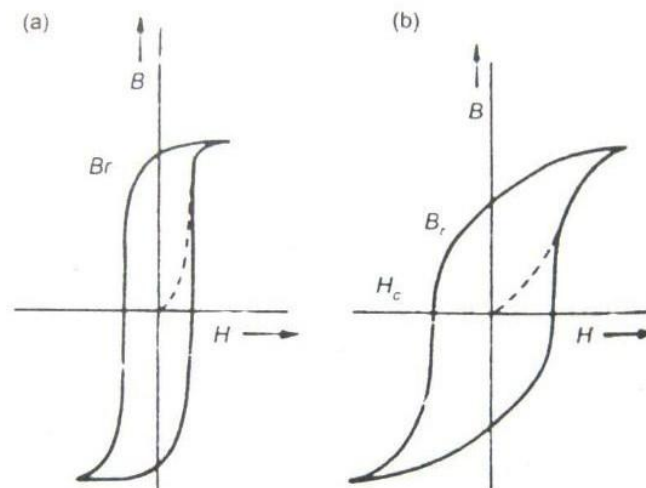
Gambar 2.4 Arah domain bahan paramagnetik setelah diberi medan magnet luar

Ferromagnetik lebih kuat dibandingkan dengan diamagnetik dan paramagnetik. Sifat ini secara khusus berhubungan dengan unsur besi, nikel, cobalt, dan mineral-mineral besi oksida. Atom-atom besi akan menghasilkan sebuah momen magnetik pada empat magneton Bohr karena subkulit 3d yang tidak terisi. Pada kisi kristal material ferromagnetik, atom-atom yang berdekatan akan saling mendekati dalam waktu yang bersamaan secara tepat sehingga beberapa orbit elektronnya akan overlapping dan terjadi interaksi yang kuat. Fenomena ini disebut dengan *exchange coupling* dimana momen-momen magnetik

dari sebuah atom di dalam kisi terarahkan dan memberikan magnetisasi yang kuat (Sunaryo dan Widyawidura, 2010).

2.5 Material Magnetik

Material magnetik dibedakan menjadi dua macam berdasarkan kekuatan medan koersifnya yaitu material magnet lunak dan material magnet keras. Material magnet lunak memiliki medan koersif yang lemah, sedangkan material magnet keras memiliki medan koersif yang kuat. Kekuaran medan koersif dapat dilihat jelas menggunakan diagram histeresis pada Gambar 2.5 (Afza, 2011).



Gambar 2.5 (a) Material magnet lunak
Gambar 2.5 (b) Material magnet keras

H adalah medan magnetik yang diperlukan untuk menginduksi medan berkekuatan B dalam material. Setelah medan H ditiadakan, dalam spesimen tersisa magnetisme residual B_r , yang disebut residual remanen, dan diperlukan medan magnet H_c yang disebut gaya koersif, yang harus diterapkan dalam arah berlawanan untuk meniadakannya. Magnet lunak mudah dimagnetisasi serta mudah pula mengalami demagnetisasi, seperti tampak pada Gambar 2.5. Nilai H

yang rendah sudah memadai untuk menginduksi medan B yang kuat dalam logam, dan diperlukan medan H_c yang kecil untuk menghilangkannya. Magnet keras adalah material yang sulit dimagnetisasi dan sulit di demagnetisasi. Karena hasil kali medan magnet (A/m) dan induksi (V.det/m²) merupakan energi per satuan volume, luas daerah hasil integrasi di dalam loop histerisis adalah sama dengan energi yang diperlukan untuk satu siklus magnetisasi mulai dari 0 sampai $+H$ hingga $-H$ sampai 0. Energi yang dibutuhkan magnet lunak dapat diabaikan, medan magnet keras memerlukan energi lebih banyak sehingga pada kondisi-ruang, demagnetisasi dapat diabaikan (Afza, 2011).

2.6 Magnet Keramik

Magnet keramik adalah bahan-bahan yang tersusun dari senyawa anorganik bukan logam yang pengolahannya menggunakan suhu yang tinggi. Magnet keramik biasanya digunakan untuk keperluan desain teknis di bidang kelistrikan, elektronika, mekanik dengan memanfaatkan magnet keramik sebagai magnet permanen yang dapat menghasilkan medan magnet (Afza, 2011).

Magnet keramik biasanya dihasilkan dari golongan ferit yang merupakan oksida yang disusun oleh hematit sebagai komponen utama. Ferit dibagi menjadi tiga kelas yaitu ferit lunak, ferit keras, dan berstruktur garnet (Afza, 2011).

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 yang rendah. Ferit lunak mempunyai struktur kristal kubik dengan rumus umum $MO.Fe_2O_3$ dimana M adalah $Fe, Mn, Ni, dan Zn$ atau gabungannya seperti $Mn-Zn$

dan Ni-Zn. Bahan ini banyak digunakan untuk inti transformator, memori komputer, induktor, *recording heads*, *microwave* dan lain-lain (Afza, 2011).

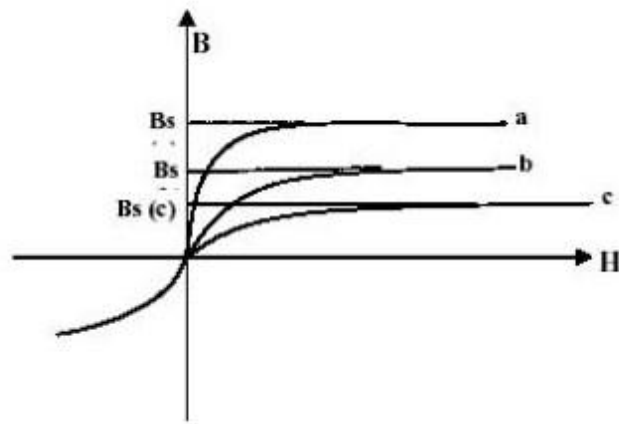
Ferit Keras, ferit jenis ini adalah turunan dari struktur *magneto plumbit* yang dapat ditulis sebagai $MFe_{12}O_{19}$, dimana $M = Ba, Sr, Pb$. Bahan ini mempunyai gaya koersivitas dan remanen yang tinggi dan mempunyai struktur kristal heksagonal dengan momen-momen magnetik yang sejajar dengan sumbu c . Ferit keras banyak digunakan dalam komponen elektronik, diantaranya motor-motor DC kecil, pengeras suara (*loud speaker*), meteran air, KWH-meter, *telephone receiver*, *circulator*, dan *rice cooker* (Afza, 2011).

Ferit Berstruktur Garnet, magnet ini mempunyai magnetisasi spontan yang bergantung pada suhu secara khas. Strukturnya sangat rumit, berbentuk kubik dengan sel satuan disusun tidak kurang dari 160 atom (Afza, 2011).

Magnet keramik yang merupakan magnet permanen mempunyai struktur *Hexagonal close-packed*. Dalam hal ini bahan yang sering digunakan adalah *Barrium Ferrite* ($BaO.6Fe_2O_3$). Dapat juga barium digantikan bahan yang segolongan dengannya, yaitu seperti *Strontium* (Afza, 2011).

2.7 Sifat-sifat Magnet Keramik

Sifat-sifat kemagnetan bahan dapat dilihat pada kurva histerisis yaitu kurva hubungan intensitas magnet (H) terhadap medan magnet (B). Kurva histerisis pada saat magnetisasi dapat dilihat pada Gambar 2.6.

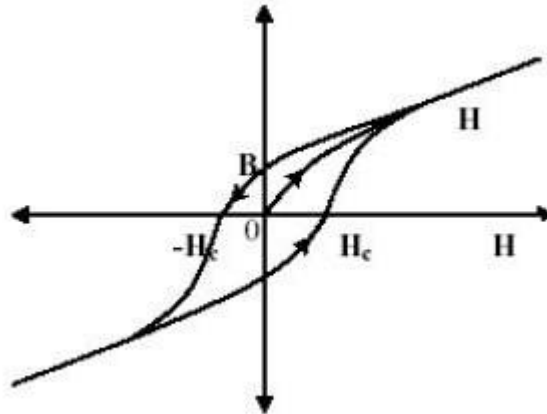


Gambar 2.6 Kurva histerisis saat proses magnetisasi

Gambar 2.6 menunjukkan bahwa kurva tidak berbentuk garis lurus sehingga dapat dikatakan bahwa hubungan H dan B tidak linier. Dengan kenaikan harga H , mula-mula B turut naik cukup besar, tetapi mulai dari nilai H tertentu terjadi kenaikan nilai B yang kecil dan makin lama nilai B akan konstan. Harga medan magnet untuk keadaan saturasi disebut dengan B_s atau medan magnet saturasi. Saturasi magnetisasi adalah keadaan dimana terjadi kejenuhan, nilai medan magnet B akan selalu konstan walaupun medan eksternal H dinaikkan terus (Afza, 2011).

Bahan yang mencapai saturasi untuk harga H rendah disebut magnet lunak seperti yang ditunjukkan kurva (a). Sedangkan bahan yang saturasinya terjadi pada harga H tinggi disebut magnet keras seperti yang ditunjukkan kurva (c). Sesudah mencapai saturasi ketika intensitas magnet H diperkecil hingga mencapai $H = 0$, ternyata kurva B tidak melewati jalur kurva semula. Pada harga $H = 0$, medan magnet atau rapat fluks B mempunyai harga $B_r \neq 0$ seperti ditunjukkan pada kurva histerisis pada Gambar 2.6. Harga B_r ini disebut dengan induksi remanen atau remanensi bahan. Remanen atau ketertambatan adalah sisa medan magnet B dalam proses magnetisasi pada saat medan magnet H

dihilangkan, atau remanensi terjadi pada saat intensitas medan magnetik H berharga nol dan medan magnet B menunjukkan harga tertentu (Afza, 2011).



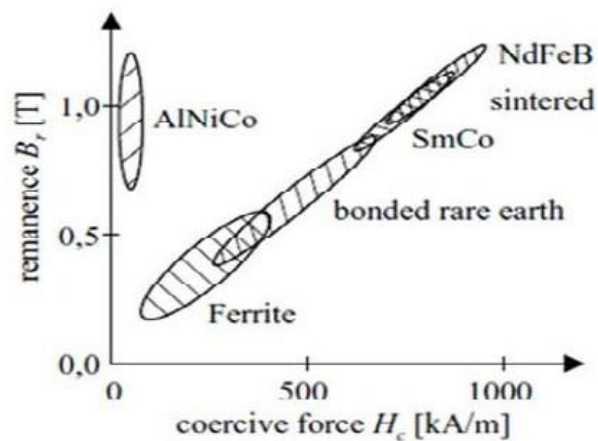
Gambar 2.7 Kurva histerisis material magnetik

Pada Gambar 2.7 tampak bahwa setelah harga intensitas magnet $H = 0$ atau dibuat negatif (dengan membalik arus lilitan), kurva $B(H)$ akan memotong sumbu pada harga H_c . Intensitas H_c inilah yang diperlukan untuk membuat rapat fluks $B=0$ atau menghilangkan fluks dalam bahan. Intensitas magnet H_c ini disebut koersivitas bahan. Koersivitas digunakan untuk membedakan magnet keras atau magnet lunak. Semakin besar gaya koersivitasnya maka semakin keras sifat magnetnya. Bahan dengan koersivitas tinggi berarti tidak mudah hilang kemagnetannya. Untuk menghilangkan kemagnetannya diperlukan intensitas magnet H yang besar. Bila selanjutnya harga diperbesar pada harga negatif sampai mencapai saturasi dan dikembalikan melalui nol, berbalik arah dan terus diperbesar pada harga H positif hingga saturasi kembali, maka kurva $B(H)$ akan membentuk satu lintasan tertutup yang disebut kurva histeresis. Bahan yang mempunyai koersivitas tinggi kemagnetannya tidak mudah hilang. Bahan seperti itu baik untuk membuat magnet permanen (Afza, 2011).

Sifat-sifat magnet keras dan magnet lunak dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2. Magnet permanen dapat diberi indeks berdasarkan momen koersif yang diperlukan untuk menghilangkan induksi (Tabel 2.1). Patokan ukuran yang lebih baik adalah hasil kali BH . BaFe12O19 mempunyai nilai $-H_c$ yang sangat besar, tetapi BH_{maks} sedang, karena rapat fluks lebih rendah dibandingkan bahan magnet permanen lainnya. Dari Tabel 2.1 akan diperoleh gambaran mengenai peningkatan yang mungkin diperoleh beberapa para ahli peneliti dan rekayasawan dengan pengembangan alnico (metalik) dan magnet BaFe12O19 (keramik) (Afza, 2011).

Tabel 2.1 Sifat magnet keras

Bahan Magnet	Remanen, B_r , (V.det/m ²)	Medan koersif, $-H_c$ (A/m)	Produk demagnetisasi maksimum BH_{maks} (J/m ³)
Baja karbon	1,0	$0,4 \times 10^4$	$0,1 \times 10^4$
Alnico	1,2	$5,5 \times 10^4$	$3,4 \times 10^4$
Ferroxdur (BaFe ₁₂ O ₁₉)	0,4	$15,0 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$



Gambar 2.8 Kurva perbandingan sifat magnet dari beberapa jenis magnet permanen

Gambar 2.8 memperlihatkan bahwa ferrite merupakan jenis magnet permanen yang tergolong sebagai material keramik dan hanya memiliki remanensi magnet maksimal sekitar 0,2 – 0,6 T dan koersivitasnya relatif rendah sekitar 100 – 400 kA/m. Produksi magnet ferrite di dunia masih cukup besar,

karena bahan bakunya lebih murah dibandingkan dengan magnet dari jenis logam. Jadi kebutuhan pasar akan magnet permanen ferrite masih tinggi. Keunggulan lainnya dari magnet ferrite adalah memiliki suhu kritis (T_c) relatif tinggi dan lebih tahan korosi (Afza, 2011).

Magnet lunak merupakan pilihan tepat untuk penggunaan pada arus bolak-balik atau frekuensi tinggi, karena harus mengalami magnetisasi dan demagnetisasi berulang kali selama selang satu detik. Spesifikasi yang agak kritis untuk magnet lunak adalah : induksi jenuh (tinggi), medan koersif (rendah), dan permeabilitas maksimum (tinggi). Data selektif terdapat pada Tabel 2.2 dan dapat dibandingkan dengan data Tabel 2.1. Rasio B/H disebut permeabilitas. Nilai rasio B/H yang tinggi berarti bahwa magnetisasi mudah terjadi karena diperlukan medan magnet kecil untuk menghasilkan rapat fluks yang tinggi (induksi) (Afza, 2011).

Tabel 2.2 Sifat magnet lunak

Bahan magnet	Induksi jenuh, B_s , (V.det/m ²)	Medan koersif, $-H_c$ (A/m)	Permeabilitas relatif maksimum, μ_r (maks)
Besi murni (kps)	2,2	80	5000
Lembaran transformator siliko ferit	2,0	40	15000
Permalloy, Ni-Fe	1,6	10	2000
Superpermalloy, Ni-Fe, Ni-Fe-Mo	0,2	0,2	100000
Ferroxcube A (Mn,Zn) Fe ₂ O ₄	0,4	30	1200
Ferroxcube B (Ni,Zn) Fe ₂ O ₄	0,3	30	700

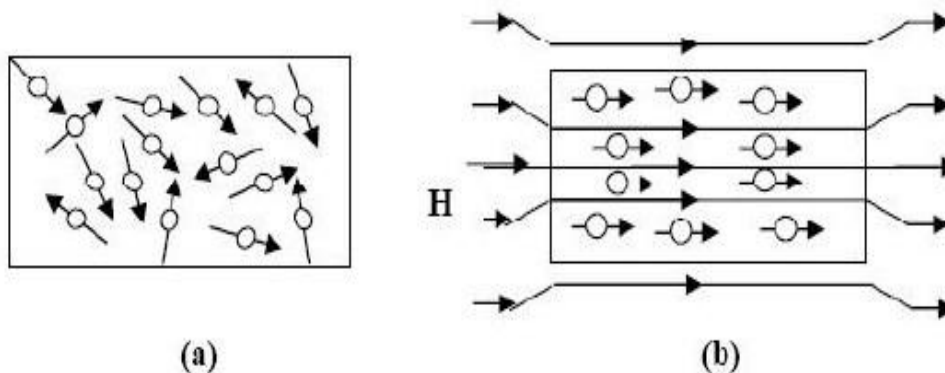
Kerapatan dari bahan ferit lebih rendah dibandingkan logam-logam lain dengan ukuran yang sama. Oleh karena itu nilai saturasi dari bahan ferit relatif rendah yang menguntungkan untuk dapat dihilangkan. Nilai kerapatan ferit dapat dilihat dalam Tabel 2.3, dan nilai perbandingan dengan material magnetik yang lain (Afza, 2011).

Tabel 2.3 Kerapatan dari beberapa bahan ferit

	No	Spinels	
		Ferit	Kerapatan, ρ (g/cm ³)
Hexagonal	1	Zinc ferit	5,4
	2	Cadmium	5,76
	3	Ferrous	5,24
	4	Barium	5,3
	5	Strontium	5,12
Komersial	6	MnZn (<i>high perm</i>)	4,29
	7	MnZn (<i>recording head</i>)	4,7 – 4,75

2.8 Jenis-jenis Magnet Permanen

Berdasarkan teknik pembuatannya, magnet permanen ada dua macam yaitu magnet permanen isotropi dan magnet permanen anistropi. Magnet permanen isotropi adalah magnet yang pada proses pembuatannya, pembentukan arah domain partikel-partikel magnetnya masih acak, sedangkan proses pembentukan magnet anistropi dilakukan di dalam medan magnet sehingga arah domain partikel-partikelnya mengarah pada satu arah tertentu. Magnet permanen isotropi memiliki sifat magnet atau remanensi magnet yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan magnet permanen anistropi. Perbedaan arah partikel magnet permanen isotropi dan magnet permanen anistropi dapat dilihat di Gambar 2.9 (Afza, 2011).



Gambar 2.9 (a) Arah partikel magnet permanen isotropi
 Gambar 2.9 (b) Arah partikel magnet permanen anistropi

2.9 Pasir Besi

Pasir besi adalah mineral endapan / sedimen yang memiliki ukuran butir 0,074 – 0,075 mm, dengan ukuran kasar (5 – 3 mm) dan halus (< 1 mm). Perbedaan karakter fisik kandungan mineral pasir seperti Fe, Ti, Mg, dan Si mungkin terjadi disebabkan oleh perbedaan lokasi endapan. Mineral magnetik yang biasanya ditemukan di daerah pantai atau sungai adalah magnetit (Fe_3O_4). Senyawa magnetit ini berasal dari senyawa variannya yaitu titanomagnetit ($\text{Fe}_{3-x}\text{Ti}_x\text{O}_4$) (Sunaryo dan Widyawidura, 2010).

Besi yang diperoleh dari bijih besi ditemukan dalam bentuk besi oksida. Oksida logam ini ditemukan dalam dua fase di dalam pasir besi yaitu Fe_2O_3 dan Fe_3O_4 yang berkontribusi dalam sifat kemagnetan. Fe_2O_3 memiliki interaksi yang lebih lemah di dalam medan magnet dibandingkan Fe_3O_4 . Pasir besi ini lebih dimanfaatkan dalam bidang *material science* dengan nilai ekonomi yang lebih tinggi dan ramah lingkungan (Sunaryo dan Widyawidura, 2010).

Pasir besi merupakan agregat yang mempunyai massa jenis tinggi sekitar 4,2 – 5,2. Pasir besi umumnya terdiri dari mineral opak yang bercampur dengan butiran-butiran nonlogam seperti kuarsa, kalsit, feldspar, ampibol, piroksen, biotit, dan tourmalin. Mineral tersebut terdiri atas magnetit, titaniferous magnetit, ilmenit, limonit, dan hematite. Kandungan besi yang terdapat pada endapan pasir besi utama adalah mineral tetanomagnetik dengan komposisi Fe 60%, Al_2O_3 3,3%, SiO_2 0,26%, P_2O_5 0,55%, TiO_2 9,2%, MgO 0,6%. Biji besi dalam bentuk endapan pasir besi dengan kadar Fe sekitar 38 – 59%. Agregat ini banyak terdapat di pantai di Kabupaten Kulonprogo Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan belum dimanfaatkan (Putra *et al.*, 2008).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Putra *et al.* (2008), pasir besi Kulonprogo memiliki massa jenis $4,311 \text{ gr/cm}^3$ yang tergolong tinggi dan dapat mendasari digunakannya sebagai bahan agregat perisai radiasi sinar gamma. Berat satuan pasir besi Kulonprogo adalah $2,554 \text{ gr/cm}^3$ dan penyerapan air SSD $0,422\%$. Hasil pemeriksaan gradasi masuk dalam daerah IV (sangat halus) dengan nilai m_{45} 1,330. Perbandingan karakterisasi pasir besi Kulonprogo dan pasir biasa dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Perbandingan karakterisasi pasir besi Kulonprogo dengan pasir biasa

Bahan	Pasir besi Kulonprogo	Pasir biasa
Kuat tekan (Mpa)	7,92	20,65
Massa jenis (gr/cm^3)	2,59	2,08
Serapan (5)	10,61	6,67

2.10 Metode Pembuatan Magnet

2.10.1 Teknik metalurgi serbuk

Metalurgi serbuk adalah teknik pembentukan logam dalam keadaan padat, dimana bahan logam dibuat serbuk dengan ukuran partikel yang halus. Keuntungan teknik metalurgi serbuk adalah pembuatan komponen relatif lebih murah, produk yang dihasilkan langsung dapat digunakan tanpa perlu dilakukan proses permesinan, dan dapat diproduksi dalam skala kecil atau massal. Kendala yang dihadapi dalam teknik metalurgi adalah biaya pembuatan serbuk logam karena peralatan untuk membuat serbuk cukup mahal dan produk yang dihasilkan biasanya akan mengandung porositas yang dapat menurunkan kekuatan dari sifat mekanisnya (Rusianto dan Setyana, 2005).

Menurut Afza (2011), proses pembuatan magnet meliputi beberapa tahap yaitu pencampuran bahan baku, pembentukan, dan pembakaran/sintering.

2.10.1.1 Pencampuran bahan baku

Blending dan *mixing* merupakan istilah yang biasa digunakan dalam pembuatan material dengan menggunakan metode serbuk namun kedua metode tersebut berbeda menurut standar ISO. *Blending* didefinisikan sebagai proses penggilingan suatu material tertentu hingga menjadi serbuk yang merata pada beberapa komposisi nominal. Proses *blending* dilakukan untuk menghasilkan serbuk yang sesuai dengan komposisi dan ukuran yang diinginkan. *Mixing* didefinisikan sebagai pencampuran dua atau lebih serbuk yang berbeda (Afza, 2011).

Pencampuran bahan baku dibutuhkan untuk mendapatkan campuran material yang homogen agar produk yang dihasilkan lebih sempurna. Proses pencampuran yang umum dilakukan adalah pencampuran secara kimia basah (*wet chemical process*). Proses ini dilakukan melalui pencampuran dalam bentuk larutan, sehingga akan diperoleh tingkat homogenitas yang lebih tinggi daripada cara konvensional. Metode ini dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu metode desolven dan metode presipitasi. Metode desolven dilakukan dengan cara mencampurkan beberapa sistem larutan kemudian diubah menjadi serbuk dengan cara pelepasan bahan pelarutnya (solven) secara fisika melalui pemanasan/pendinginan secara tepat supaya tidak terjadi proses seperasi senyawa-senyawa (kation-kation). Metode presipitasi adalah proses bahan terlarut (solute) dari larutan dengan cara pengendapan. Untuk mengubah endapan menjadi serbuk dilakukan proses pemanasan/kalsinasi. Contoh dari metode ini antara lain coprecipitasi, sol gel (Afza, 2011).

Bahan baku dalam proses pembuatan magnet menggunakan teknik metalurgi serbuk berbentuk serbuk ditambah zat aditif berupa barium karbonat (BaCO_3) teknis dengan kemurnian 99,03% dan alkohol teknis 96% sebagai *binder*. Fabrikasi magnet permanen dilakukan dengan cara mencampurkan semua bahan kemudian melewati proses kompaksi dan sintering (Hidayat, 2008). Menurut Pramono (2007), proses kompaksi dan sintering merupakan variabel mutlak dalam proses metalurgi serbuk.

2.10.1.2 Proses pembentukan

Proses pembentukan dilakukan dengan memasukkan bahan serbuk ke dalam cetakan (*die*) kemudian dilakukan kompaksi (*compaction*). Kompaksi serbuk membentuk *green body* yang sesuai dengan bentuk cetakan yang diinginkan. *Green body* tersebut kemudian disinter yang bertujuan agar terjadi proses difusi antar partikel serbuk sehingga partikel akan menyatu, dan terbentuk logam yang padat. Proses metalurgi serbuk biasanya akan menghasilkan adanya porositas di dalam logam dan porositas tersebut akan berpengaruh pada berat jenisnya (Rusianto dan Setyana, 2005).

Kompaksi atau pemadatan adalah suatu proses dimana udara pada pori-pori tanah dikeluarkan dengan suatu cara mekanis. Pada proses kompaksi, untuk setiap daya pemadatan tertentu, kepadatan yang tercapai tergantung pada kadar air material. Material yang memiliki kadar air rendah akan lebih sulit dipadatkan dibandingkan yang memiliki kadar air tinggi. Oleh karena itu, penambahan cairan biasanya dilakukan untuk membantu proses pemadatan (Dermawan, 2010).

Pembentukan keramik merupakan salah satu tahap penting dalam pembuatan keramik karena sangat menentukan hasil akhir. Menurut Afza (2011), cara pembentukan keramik ada beberapa macam yaitu :

1. Cara press kering (*dry pressing*)

Pembentukan terhadap serbuk halus yang mengandung sedikit air atau penambahan bahan organik dengan pemberian tekanan yang dibatasi oleh cetakan.

2. Cara press basah (*wet pressing*)

Pembentukan penambahan bahan organik dengan pemberian tekanan yang dibatasi oleh cetakan terhadap serbuk halus dengan penekanan dan penyaringan larutan serbuk (suspensi) di dalam medan magnet.

3. Cara press panas (*hot pressing*)

Pembentukan terhadap serbuk halus yang merupakan kombinasi dari pembentukan dan pembakaran (sintering). Cara ini dapat digunakan untuk membuat produk dengan density tinggi dan bentuk yang tepat.

4. Metode *tape casting*

Tape casting adalah teknik yang sangat umum digunakan untuk pembentukan film tipis atau plat dengan jangkauan ketebalan sekitar 20 μ m sampai 1 mm. *Tape casting* baik digunakan untuk pembuatan komponen-komponen elektronik seperti kapasitor, induktor, dan bahan-bahan untuk rangkaian mikroelektronik. Keuntungan proses ini adalah peralatan sederhana, mudah dilakukan pengukuran untuk pengujian dalam laboratorium, dan biaya produksi rendah.

5. *Slip casting*

Suspensi dengan air dan cairan lain, larutan suspensi dituang kedalam cetakan plaster berpori, air diserap dari dituang ke arah kontak kedalam cetakan dan lapisan lempung kuat terbentuk. Pada metode *slip casting* massa yang akan dibentuk harus berupa suspensi dituang ke dalam cetakan yang terbuat dari bahan gypsum (plaster paris) yang memiliki pori-pori yang dilakukan dengan tanpa tekanan. Untuk mendapatkan hasil yang baik, suspensi yang digunakan harus memenuhi kriteria yaitu viskositas yang rendah, tidak cepat menguap, cepat mengeras, susut kering rendah, kekuatan kering tinggi dan tidak banyak memiliki gelembung udara. Kelebihan utama pembentukan dengan metode ini adalah mampu menghasilkan bentuk-bentuk yang rumit. Selain itu metode ini ekonomis walaupun digunakan untuk memproduksi bentuk-bentuk tertentu dalam jumlah kecil karena cetakan yang digunakan relatif murah.

6. *Rubber mold pressing*

Pembentukan terhadap serbuk halus dengan menggunakan pembungkus yang terbuat dari karet serta diberi tekanan keseluruhan permukaan karet, dan menghasilkan bahan yang kompak.

2.10.1.3 Proses sintering

Proses sintering pada magnet keramik dilakukan untuk proses pemadatan/densifikasi pada sekumpulan serbuk pada suhu tinggi. Sintering adalah proses membuat suatu objek yang berasal dari bahan baku berupa bubuk atau

serbuk yang didasarkan pada proses difusi atom. Bahan bubuk yang diletakkan dalam cetakan dipanaskan sampai suhu di bawah titik leleh. Atom-atom dalam partikel bubuk akan menyebar melintasi batas-batas partikel yang kemudian akan berdifusi bersama menciptakan suatu bentuk yang padat. Sintering sering dipilih sebagai proses pembentukan material yang memiliki titik leleh sangat tinggi karena titik leleh yang dibutuhkan dalam proses sintering tidak harus mencapai titik leleh material yang digunakan. Sintering secara tradisional sering digunakan dalam proses pembuatan keramik (German, 1996).

Melalui proses ini terjadi perubahan struktur mikro seperti pengurangan jumlah dan ukuran pori, pertumbuhan butir (*grain growth*), peningkatan densitas dan penyusutan (*shrinkage*). Beberapa variabel mempengaruhi kecepatan sintering yaitu densitas awal, ukuran partikel, atmosfer sintering, waktu dan kecepatan pemanasan. Faktor-faktor yang menentukan proses dan mekanisme sintering antara lain : jenis bahan, komposisi, bahan pengotornya dan ukuran partikel (Afza, 2011).

Sintering merupakan tahapan pembuatan keramik yang sangat penting dan menentukan sifat-sifat produk keramik. Tujuan dari pembakaran adalah untuk mengaglomerasikan partikel ke dalam massa koheren melalui proses sintering. Definisi sintering adalah pengikatan massa partikel pada serbuk oleh atraksi molekul atau atom dalam bentuk padat dengan perlakuan panas dan menyebabkan kekuatan pada massa serbuk. Energi untuk menggerakkan proses sintering disebut gaya dorong (*drying force*) yang ada hubungannya dengan energi permukaan butiran (γ). Proses sintering berlangsung apabila : (Afza, 2011)

1. Adanya transfer materi diantara butiran yang disebut proses difusi.
2. Adanya sumber energi yang dapat mengaktifkan transfer materi, energi tersebut digunakan untuk menggerakkan butiran hingga terjadi kontak dan ikatan yang sempurna. Difusi adalah aktivitas termal yang berarti bahwa terdapat energi minimum yang dibutuhkan untuk pergerakan atom atau ion dalam mencapai energi yang sama atau diatas energi aktivitas untuk membebaskan dari letaknya semula dan bergerak ke tempat yang lain yang memungkinkannya.

Sampel yang telah mengalami kompaksi sebelumnya, akan mengalami beberapa tahapan sintering sebagai berikut: (Afza, 2011)

1. Ikatan mula antar partikel serbuk
Saat sampel mengalami proses sinter, maka akan terjadi pengikatan diri. Proses ini meliputi difusi atom-atom yang mengarah kepada pergerakan dari batas butir. Ikatan ini terjadi pada tempat dimana terdapat kontak fisik antar partikel-partikel yang berdekatan. Tahapan ikatan mula ini tidak menyebabkan terjadinya suatu perubahan dimensi sampel. Semakin tinggi berat jenis sampel, maka akan banyak bidang kontak antar partikel, sehingga proses pengikatan yang terjadi dalam proses sinter juga semakin besar. Elemen-elemen pengotor yang masih terdapat, berupa serbuk akan menghalangi terjadinya proses pengikatan ini. Hal ini disebabkan elemen pengotor akan berkumpul dipermukaan batas butir, sehingga akan mengurangi jumlah bidang kontak antar partikel.

2. Tahap pertumbuhan leher

Tahapan kedua yang terjadi pada proses sintering adalah pertumbuhan leher. Hal ini berhubungan dengan tahap pertama, yaitu pengikatan mula antar partikel yang menyebabkan terbentuknya daerah yang disebut dengan leher (*neck*) dan leher ini akan terus berkembang menjadi besar selama proses sintering berlangsung. Pertumbuhan leher tersebut terjadi karena adanya perpindahan massa, tetapi tidak mempengaruhi jumlah porositas yang ada dan juga tidak menyebabkan terjadinya penyusutan. Proses pertumbuhan leher ini akan menuju kepada tahap penghalusan dari saluran-saluran pori antar partikel serbuk yang berhubungan, dan proses ini secara bertahap.

3. Tahap penutupan saluran pori

Merupakan suatu perubahan yang utama dari dalam proses sinter. Penutupan saluran pori yang saling berhubungan akan menyebabkan perkembangan dan pori yang tertutup. Hal ini merupakan suatu perubahan yang penting secara khusus untuk pori yang saling berhubungan untuk pengangkutan cairan, seperti pada saringan-saringan dan bantalan yang dapat melumas sendiri. Salah satu penyebab terjadinya proses ini adalah pertumbuhan butiran. Proses penutupan saluran ini dapat juga terjadi oleh penyusutan pori (tahap kelima dari proses sinter), yang menyebabkan kontak baru yang akan terbentuk di antara permukaan-permukaan pori.

4. Tahapan pembulatan pori

Setelah tahap pertumbuhan leher, material dipindahkan di permukaan pori dan pori tersebut akan menuju ke daerah leher yang mengakibatkan permukaan dinding tersebut menjadi halus. Bila perpindahan massa terjadi terus-menerus melalui daerah leher, maka pori disekitar permukaan leher akan mengalami proses pembulatan. Dengan temperatur dan waktu yang cukup pada saat proses sinter maka pembulatan pori akan lebih sempurna.

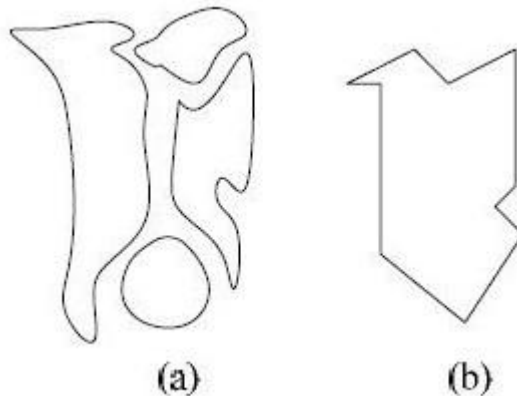
5. Tahap penyusutan

Merupakan tahap yang terjadi dalam proses sinter. Hal ini berhubungan dengan proses densifikasi (pemadatan) yang terjadi. Tahap penyusutan ini akan menyebabkan terjadinya penurunan volume, disisi lain sampel yang telah disinter akan mejadi lebih padat. Dengan adanya penyusutan ini kepadatan pori akan meningkat dan dengan sendirinya sifat mekanis dari bahan tersebut juga akan meningkat, khususnya kekuatan dari sampel setelah sinter. Tahap penyusutan pori ini terjadi akibat pergerakan gas-gas yang terdapat di daerah pori keluar menuju permukaan. Dengan demikian tahap ini akan meningkatkan berat jenis yang telah disinter.

6. Tahap pengkasaran pori

Proses ini akan terjadi apabila kelima tahap sebelumnya terjadi dengan sempurna. Pengkasaran pori akan terjadi akibat adanya proses bersatunya lubang-lubang kecil dari pori sisa akan menjadi besar dan kasar. Jumlah total dari pori adalah tetap, tetapi volume pori berkurang dengan diimbangi oleh pembesaran pori tersebut.

Sintering dapat diklasifikasikan dalam dua bagian besar yaitu sintering dalam keadaan padat (*solid state sintering*) dan sintering fasa cair (*liquid phase sintering*). Sintering dalam keadaan padat dalam pembuatan material yang diberi tekanan diasumsikan sebagai fase tunggal oleh karena tingkat pengotornya rendah, sedangkan sintering pada fase cair adalah sintering untuk serbuk yang disertai terbentuknya fase liquid selama proses sintering berlangsung. Proses sintering padat dapat dilihat pada Gambar 2.11 (Afza, 2011).

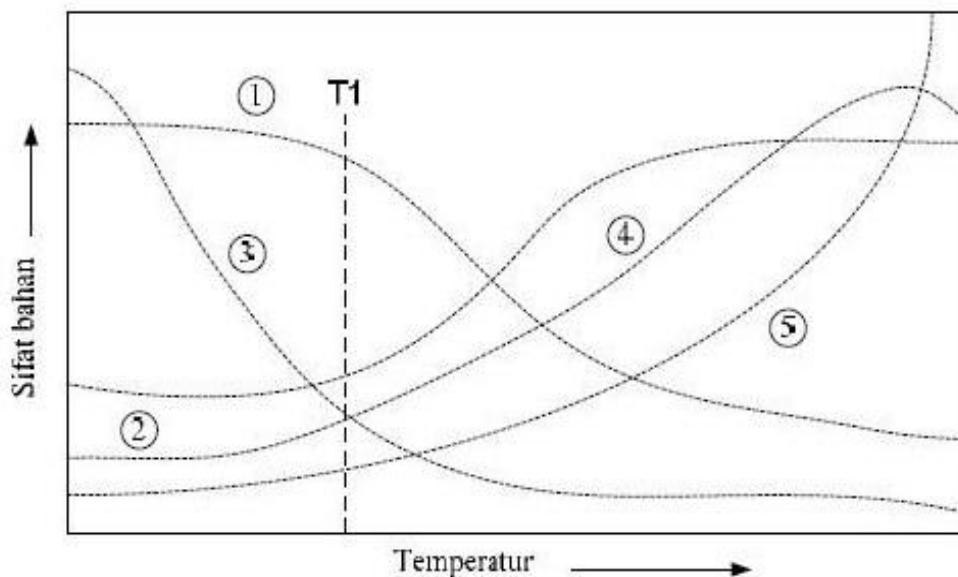


Gambar 2.10 (a) Sebelum sinter, partikel mempunyai permukaan masing-masing
Gambar 2.10 (b) Setelah sinter hanya mempunyai satu permukaan

Gambar 2.10 menunjukkan bahwa proses sintering dalam keadaan padat, selama sintering terjadi penyusutan serbuk, kekuatan dari material akan bertambah, pori-pori dan ukuran butir berubah. Perubahan ini diakibatkan oleh sifat dasar dari serbuk itu sendiri, kondisi tekanan, aditif, waktu sintering dan suhu. Proses sintering memerlukan waktu dan suhu pemanasan yang cukup agar partikel halus dapat menjadi padat. Sinter tanpa cairan memerlukan difusi dalam bahan padat itu sendiri, sehingga diperlukan suhu tinggi dalam proses sintering (Afza, 2011).

Kelebihan sintering adalah kemurnian bahan tetap terjaga yang memungkinkan proses selanjutnya lebih mudah, proses yang stabil, tidak ada pemisahan partikel yang sudah terikat, dan hasil akhir yang seragam. Proses sintering membutuhkan bahan baku dengan tingkat kemurnian dan keseragaman yang tinggi. Pengendalian suhu merupakan aspek yang penting dalam proses sintering karena batas difusi dan difusi volume sangat bergantung pada suhu, ukuran, komposisi bahan, dan distribusi partikel bahan (German, 1996).

Efek suhu sintering terhadap sifat bahan (porositas, densitas, tahanan listrik, kekuatan mekanik dan ukuran butir) selama proses pemadatan serbuk dapat ditunjukkan Gambar 2.11, dapat diketahui bahwa proses sintering yang dimulai dari suhu T_1 dapat menyebabkan tahanan listrik dan nilai porositas menurun dengan kenaikan suhu sintering, sedangkan densitas, kekuatan dan ukuran butir bertambah besar secara eksponensial seiring dengan kenaikan suhu sintering (Afza, 2011).



Gambar 2.11 Pengaruh suhu sintering pada (1) porositas, (2) densitas, (3) tahanan listrik, (4) kekuatan, dan (5) ukuran butir

2.10.2 Hydrothermal oxidation

Proses *hydrothermal oxidation* merupakan metode pembuatan magnet yang diawali dengan proses pemurnian bahan pasir untuk meningkatkan kandungan Fe_2O_3 . Proses pemurnian dilakukan dengan cara melarutkan pasir besi dengan bahan katalis HCl , HNO_3 , dan H_2SO_4 pada suhu 90°C sampai larutan mengering. Campuran yang telah mengering kemudian dipanaskan dengan *furnace* pada suhu 800°C selama empat jam. Bahan pasir yang sudah murni kemudian diproses menjadi magnet Barium Ferit melalui proses kalsinasi, kompaksi, dan sintering (Setiyoko, 2009).

2.10.3 High Energy Milling (HEM)

Proses fabrikasi magnetit (Fe_3O_4) dapat dikembangkan menggunakan metode *high energy milling* (HEM). HEM merupakan teknik unik dengan menggunakan energi tumbukan antara bola-bola penghancur dan dinding *chamber* yang diputar dan digerakkan dengan cara tertentu. Keunggulan HEM adalah dapat membuat nano partikel dalam waktu yang relatif singkat (memerlukan beberapa jam, tergantung tipe alat), dapat membuat nano partikel dalam kondisi atau suasana yang diinginkan saat proses *milling*, dan juga dapat menghasilkan nano partikel dalam jumlah yang relatif banyak (Cahyaningrum *et al.*, 2010).

Pertama-tama serbuk homogen dimasukkan kedalam sebuah *chamber* logam dengan beberapa bola baja di dalamnya yang bergerak berputar terus-menerus. Bola-bola akan saling bertumbukan di dalam *chamber* logam tersebut. Tumbukan bola ini berakibat serbuk homogen yang dimasukkan akan tertumbuk diantara bola-bola tersebut. Hal ini mengakibatkan partikel akan pecah dan terus

menerus hingga mencapai ukuran yang diinginkan. Metode ini dapat dilakukan pada suhu rendah, waktu yang relatif cepat, serta dengan peralatan yang sederhana (Cahyaningrum *et al.*, 2010).

2.10.4 Powder Metallurgy and Rapid Solidification

Metode ini digunakan dalam pembuatan magnet neodimium (Nd-Fe-B) yang merupakan magnet permanen dengan kekuatan paling tinggi. Kekuatan sifat magnet Nd-Fe-B bertumpu pada fase Nd₂Fe₁₄B yang memiliki magnetisasi total dan medan anisotropi cukup tinggi. Sifat kemagnetan dasar seperti remanen, koersivitas, dan energi produk maksimum suatu magnet permanen sangat sensitif terhadap struktur mikro material. Desain struktur mikro material yang optimal diperlukan dalam proses fabrikasi magnet sehingga sifat kemagnetan yang dihasilkan bisa menjadi lebih baik (Manaf, 2010).

Salah satu kelemahan fase Nd₂Fe₁₄B adalah temperatur Curie yang relatif rendah yaitu 310°C. Temperatur Curie adalah salah satu sifat intrinsik yang tidak tergantung terhadap struktur mikro dan optimalisasi proses fabrikasi. Oleh karena itu, metode ini digunakan untuk menghasilkan peningkatan temperatur Curie sehingga kekuatan magnet permanen dapat ditingkatkan. Metode ini didasarkan pada proses substitusi atom-atom besi (Fe) dan cobalt (Co) pada fase utama yang diduga dapat meningkatkan temperatur Curie karena energi pertukaran antar atom logam transisi pada fase meningkat (Manaf, 2010).

2.11 Pengujian kekuatan magnet

Magnet memiliki daya tarik menarik dan daya tolak menolak jika didekatkan di antara kutub-kutub magnet. Daya tarik menarik ini diakibatkan oleh medan magnet, dan menghasilkan medan magnet. Hal ini terjadi ketika arus mengalir pada sebuah konduktor yang pertama kali diamati oleh Oersted pada tahun 1819. Medan magnet juga dapat dihasilkan dari magnet tetap. Pada saat itu tidak ada arus yang mengalir, akan tetapi gerak orbital dan spin elektron (dinamakan “Amperian currents”) bahan magnet tetap yang telah melalui proses magnetisasi terlebih dahulu dengan menggunakan medan magnet luar (Afza, 2011).

Bahan magnet $BaO_6Fe_2O_3$, dimana variasi kandungan dari setiap unsur sangat mempengaruhi sifat bahan tersebut, baik dari kekuatan materialnya maupun daya tarik dari bahan magnet tersebut. Daya tarik ini dipengaruhi oleh ukuran-ukuran butiran pada bahan yang terbentuk. Ukuran-ukuran butiran yang terbentuk ini tergantung pada proses pertumbuhan kristal yang terjadi ketika pembuatan material. Oleh karena itu dapat dinyatakan bahwa semakin kecil butiran yang terbentuk pada material (*nano composite*) maka semakin besar kekuatan magnet untuk menarik atau menolak (medan magnet remanen), hal ini terjadi karena adanya interaksi antar butiran tersebut (Afza, 2011).

Setelah bahan magnet terbentuk dengan ukuran butiran dan struktur kristal tertentu kemudian dilakukan proses magnetisasi, yaitu memberikan medan magnet luar agar memiliki medan magnet sendiri atau permanen. Perlu diketahui bahwa pada saat bahan magnet terbentuk menjadi kristal itu belum memiliki daya tarik terhadap logam. Setelah diberi medan magnet luar bahan baru akan memiliki

medan magnet, cara pemberian medan magnet ini dilakukan secara perlahan-lahan sehingga kondisi tertentu (saturasi). Kemudian pemberian medan magnet ini diturunkan secara perlahan sampai suatu nilai saturasi dengan arah medan magnet yang berlawanan, dan pada akhirnya bahan akan memiliki daya tarik pada logam (Afza, 2011).

Untuk mengukur sifat-sifat magnet tersebut biasanya alat yang digunakan yaitu *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)*, Alat VSM merupakan salah satu jenis peralatan yang digunakan untuk mempelajari sifat magnetik bahan. Dengan alat ini akan diperoleh informasi mengenai besaran-besaran sifat magnetik sebagai akibat perubahan medan magnet luar yang digambarkan dalam kurva histerisis, sifat magnetik bahan sebagai akibat perubahan suhu, dan sifat-sifat magnetik sebagai fungsi sudut pengukuran atau kondisi anisotropik bahan (Afza, 2011).

2.12 Aplikasi Komponen Magnet

Menurut Afza (2011), komponen magnet, khususnya keramik magnetik ferit merupakan komponen yang sangat dibutuhkan dalam berbagai bidang, diantaranya adalah :

2.12.1 Bidang elektrik

Beberapa penggunaan ferit dibidang elektrik yaitu :

1. Pada sistem magnetik *loudspeaker*
2. Pada sistem eksitasi, kutub-kutub dan rotor multipolar motor listrik
3. *Motor Horse Power Fractional*
4. Motor DC
5. *Loudspeaker*

2.12.2 Bidang instrumentasi elektronika

Peralatan kontrol otomatis yang menggunakan komponen keramik magnetik antara lain adalah :

1. Pengontrol temperatur : menggunakan transformator pulsa
2. Pagar elektronik (electric fence) : menggunakan transformator pulsa
3. Switch otomatis : reed relay, menggunakan inti ferit
4. Jam elektronik; menggunakan batang ferit dan kumparan untuk mengambil medan magnet elektromagnetik jala-jala listrik. Tegangan induksi yang diperoleh digunakan sebagai sumber tegangan roferens.

2.12.3 Bidang telekomunikasi

Dalam bidang telekomunikasi terutama telekomunikasi radio, ferit frekuensi radio (R, F Ferrite) mempunyai aplikasi yang luas untuk peralatan telekomunikasi radio, dari frekuensi audio sampai dengan frekuensi yang sangat tinggi (LF sampai dengan VHF, UHF). Di daerah ini keramik magnetik dari magnet bahan Mn-Zn digunakan pada daerah frekuensi tinggi. Keramik magnetik gelombang mikro digunakan pada daerah frekuensi ratusan MHz sampai dengan ribuan MHz (VHF,UHF, SHF dan EHF). Penggunaan ferit gelombang mikro adalah pada peralatan yang mentransmisikan energi elektromagnetik, seperti *waveguide* dan *transmission line* baik *coaxial* maupun *strip*. Ferit mempengaruhi medan elektromagnetik gelombang mikro dan kecepatan propagasi gelombang mikro, juga sebagai inti magnetikm dan transformator frekuensi radio. Selain itu juga disebutkan peralatan telekomunikasi radio yang menggunakan ferit magnet :

1. Penerima radio (550 kHz-1600 kHz) : transformator IF dan penguat RF, inductor isolator dan magnetik ferit
2. Penerima radio HF : transformator dan magnetik filter (*bandpass filter, choke*), *transformator matching impedance*
3. Penerima TV : transformator tegangan tinggi *Chatode Ray Tube*, *deflection yoke* (untuk kumparan refleksi CRT), *choke suppression TVI (Television Interference)*
4. Penggeser gelombang radio (*converter*) dan penguat RF (*RF Amplifier*)
5. Penguat audio : *RFI suppression choke*, transformator frekuensi audio, magnetik untuk kompensasi
6. Antenna
7. Jalur transmisi (*transmission line*)
8. RF wattmeter

Penggunaan keramik magnetik pada peralatan gelombang mikro adalah :

1. Isolator
2. Penggeser fasa (*phase shifter*)
3. *Circulator*
4. Peralatan yang memanfaatkan efek faraday ; isolator dengan inti ferit berbentuk silindris
5. Rotator ferit ; gyrator yang terdiri atas suatu silinder ferit yang dikelilingi oleh magnet permanen
6. Jalur transmisi coaxial ; isolator ferit digunakan dalam jalur transmisi ini dalam kombinasi dengan bahan dielektrik
7. Penguat ferrimagnetik/ferromagnetik : penguat menggunakan ferit

8. Pembatas daya

9. Isolator

Ferit juga digunakan pada peralatan telekomunikasi yang lain, seperti pada telepon dan telegrafi.

2.12.4 Bidang mekanik

1. Pembuatan magnet untuk meteran air merupakan aplikasi komponen keramik magnetik dalam bidang mekanik

2. Mainan

3. Pemegang pada *white board*

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Pasir besi dari pantai Bugel, Kulon Progo
Berfungsi sebagai bahan baku yang digunakan dalam membuat magnet permanen.
2. Akuades
Berfungsi untuk mencuci pasir besi agar bebas dari bahan pengotor.
3. Magnet permanen
Berfungsi untuk menarik komponen-komponen magnetik yang ada di dalam pasir besi.
4. Alkohol teknis 96%
Berfungsi sebagai larutan pengikat.
5. Barium karbonat teknis (BaCO_3) 99,03%
Berfungsi sebagai zat additif untuk membantu proses pengikatan partikel-partikel pasir besi.

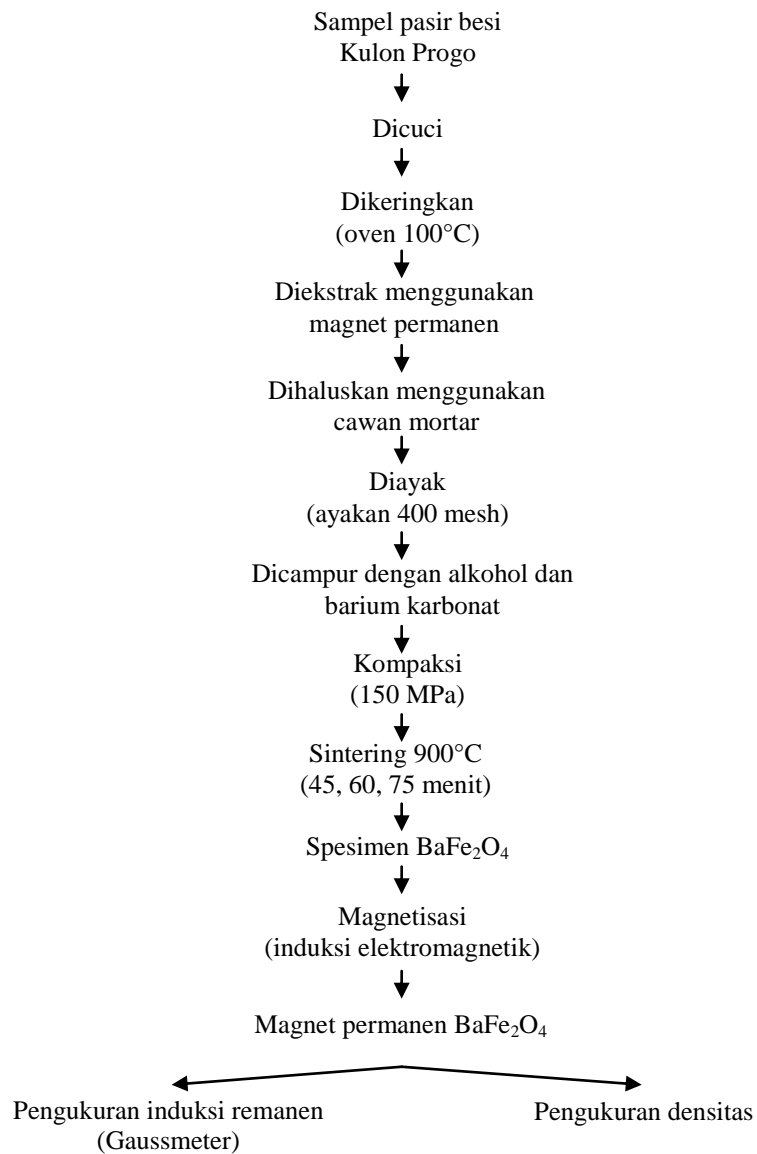
Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Oven
Berfungsi untuk mengeringkan pasir besi yang sudah dicuci.
2. Ayakan dengan ukuran 400 mesh
Berfungsi untuk mengayak pasir besi agar mendapat ukuran yang homogen.

3. *Hydraulic press (Hydraulic jack)*
Berfungsi untuk menekan pada proses *cold compaction* sampel yang telah dimasukkan kedalam cetakan dengan kekuatan tekanan tertentu dengan kapasitas tekanan sampai dengan 150 MPa.
4. Timbangan digital
Berfungsi untuk menimbang bahan-bahan yang dibutuhkan dengan tingkat ketelitian 0,001 gram.
5. Gelas ukur
Berfungsi untuk mengukur volume bahan-bahan cair.
6. Cetakan sampel yang terbuat dari besi
Berfungsi sebagai tempat untuk mencetak berupa sampel uji silinder, dengan dimensi diameter x tinggi = 3,5 cm x 5 cm.
7. Gaussmeter
Berfungsi sebagai alat untuk mengukur besar induksi magnet.
8. Cawan mortar
Berfungsi untuk menghaluskan endapan yang sudah dikeringkan sehingga berbentuk serbuk.
9. Tungku Hofmann
Berfungsi untuk tempat pembakaran sampel dalam proses sintering, dengan kapasitas sintering sampai dengan 1500°C.
10. Mesin elektromagnetik
Berfungsi untuk mengisi sifat kemagnetan pada spesimen magnet permanen dengan cara induksi elektromagnetik.

3.2 Prosedur Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2.1 Persiapan spesimen

Penelitian ini menggunakan teknik metalurgi serbuk dalam pembuatan sampel magnet permanen. Teknik metalurgi serbuk dipilih karena metode ini murah, mudah, dan sederhana, selain itu metode ini dapat membuat produk dalam skala kecil dan produk yang dihasilkan dapat langsung digunakan.

Bahan baku pasir besi diambil dari pantai Bugel, Kulon Progo. Proses pengambilan pasir besi dapat dilihat di Lampiran 1. Pertama-tama bahan baku pasir besi yang diambil dari pantai di daerah Kulon Progo dicuci menggunakan akuades untuk menghilangkan bahan pengotor. Pencucian dilakukan sebanyak sembilan kali. Sampel yang telah dicuci kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 100°C. Pasir besi kemudian diekstrak menggunakan magnet permanen untuk meningkatkan kemurnian pasir besi dengan menghilangkan bahan pengotor yang belum hilang saat dicuci dan bahan-bahan lain yang tidak bersifat magnetik.

Sampel pasir besi yang sudah diekstrak lalu dihaluskan menggunakan cawan mortar agar ukurannya lebih kecil sehingga memudahkan proses pengayakan. Pasir besi kemudian diayak untuk mendapatkan pasir besi yang homogen dengan ukuran 400 mesh. Sampel dicampur dengan alkohol teknis 96% sebanyak 10 ml dan barium karbonat dengan perbandingan 1 : 6 dengan massa pasir besi. Sampel yang telah dicampur kemudian dikompaksi dengan tekanan 150 MPa menggunakan *hydraulic press* sekaligus dicetak. Proses kompaksi dan alat-alat yang digunakan dapat dilihat di Lampiran 2.

Setelah itu, sampel yang sudah dicetak masuk ke dalam proses sintering menggunakan tungku hofmann yang dilakukan pada suhu 900°C dengan *holding time* selama 45, 60, dan 75 menit. Proses sintering ini akan menghasilkan spesimen BaFe₂O₄. Proses sintering dan alat-alat yang digunakan dapat dilihat di Lampiran 3.

Spesimen BaFe₂O₄ kemudian dimagnetisasi menggunakan induksi elektromagnetik. Proses magnetisasi dapat dilihat di Lampiran 4. Spesimen BaFe₂O₄ harus benar-benar bebas dari pengotor dan murni mengandung ferite

yang memiliki sifat magnet. Jika spesimen masih mengandung bahan pengotor maka proses magnetisasi menggunakan induksi elektromagnetik tidak akan berhasil karena momen magnetik tidak dapat diarahkan. Pada penelitian ini, jika spesimen BaFe₂O₄ yang dihasilkan tidak berhasil dimagnetisasi maka induksi elektromagnetik dicoba dilakukan pada spesimen besi cor yang dibuat melalui teknik pengecoran besi dan spesimen uji komersial yang dibuat melalui teknik metalurgi serbuk. Keduanya digunakan sebagai pembanding.

3.2.2 Analisis sampel

Analisis yang dilakukan pada sampel magnet permanen BaFe₂O₄ adalah induksi remanen (Br), densitas (gr/ml), dan bentuk medan magnet. Induksi remanen (Br) dianalisis untuk mengetahui kekuatan sifat kemagnetan sampel magnet permanen yang dihasilkan, semakin besar nilai induksi remanen maka kekuatan magnet permanen semakin baik. Induksi remanen diukur menggunakan alat Gaussmeter. Pengukuran menggunakan Gaussmeter dapat dilihat pada Lampiran 5.

Pengukuran densitas dilakukan dengan mengukur massa (gr) dan volume (ml) magnet permanen yang dihasilkan. Massa diukur menggunakan timbangan digital. Pengukuran volume dilakukan dengan memasukkan magnet permanen ke dalam gelas ukur yang berisi air kemudian diukur pertambahan volumenya.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Keterangan :

ρ = massa jenis benda (gr/ml)

m = massa benda (gram)

v = volume benda (ml)

Analisis terhadap bentuk medan magnet dilakukan dengan meletakkan kertas di atas spesimen magnet kemudian ditaburi pasir besi. Pasir besi akan menyebar di sekitar magnet dan membentuk medan magnet.

3.3 Rancangan Percobaan

Uji statistik yang dilakukan dalam penelitian ini untuk menguji pengaruh variasi *holding time* dalam proses sintering terhadap induksi remanen dan densitas magnet permanen yang dihasilkan. Uji statistik yang digunakan adalah uji Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor dengan pengulangan sebanyak tiga kali.

Model linear untuk menguji pengaruh *holding time* proses sintering terhadap induksi remanen dan densitas magnet permanen yang dihasilkan adalah :

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

Keterangan:

α = *holding time* ($\alpha_1 = 45$ menit, $\alpha_2 = 60$ menit, $\alpha_3 = 75$ menit)

i = 3

Y_{ij} = nilai pengamatan pada satuan percobaan ke-i dan ulangan ke-j

μ = nilai tengah populasi

α_1 = pengaruh *holding time* pada taraf ke-i dan ulangan ke-j

ε_{ij} = pengaruh *error* dari satuan percobaan ke-i dan ulangan ke-j

Hipotesis :

Ho = tidak ada pengaruh *holding time* proses sintering terhadap induksi remanen dan densitas magnet

Hi = ada pengaruh *holding time* proses sintering terhadap induksi remanen dan densitas magnet