

PEMBUATAN MAGNET BARIUM HEKSAFERIT ANISOTROP

Novrita Idayanti dan Dedi

Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) - LIPI
Jl. Cisititu 21/154 D Bandung 40135

ABSTRAK

PEMBUATAN MAGNET BARIUM HEKSAFERIT ANISOTROP. Barium Heksaferit ($BaFe_{12}O_{19}$) merupakan bahan keramik dan material magnet yang biasanya digunakan untuk pembuatan magnet permanen. Pada penelitian dilakukan pembuatan magnet Barium Heksaferit yang Anisotrop, dan dapat diaplikasikan untuk *loudspeaker*, motor-motor listrik, dinamo dan KWH meter. Magnet ini sangat banyak digunakan karena mempunyai Induksi Remanen (Br) dan koersifitas (H_c) yang tinggi. Selain itu teknologi proses yang digunakan lebih sederhana dan mudah, bahan baku murah dan mudah didapat, sehingga komponen magnet yang dihasilkan jauh lebih murah. Teknologi proses yang digunakan adalah Metalurgi Serbuk, yaitu mereaksikan semua bahan dalam bentuk serbuk (oksida) dengan distribusi ukuran tertentu, dan melalui tahapan preparasi yang cukup ketat. Tahap selanjutnya adalah pencampuran bahan baku berupa ferit dan barium karbonat dalam bentuk oksida, yang kemudian dikalsinasi, kompaksi sambil diarahkan (anisotrop), *sintering* dan karakterisasi. Tujuan Anisotrop adalah untuk mensejajarkan arah partikel, sehingga magnet yang dihasilkan akan memiliki nilai Induksi Remanen (Br) dan koersifitas (H_c) yang tinggi. Semua tahapan proses ini akan sangat menentukan karakteristik fisik maupun kimianya. Karakteristik magnet terbaik yang dihasilkan dari penelitian ini adalah : nilai Induksi Remanen (Br) = 4,27 kG koersivitas (H_c) = 1,745 kOe dan BH_{maks} = 2,31 MGOe.

Kata kunci : Barium ferit ($BaFe_{12}O_{19}$), anisotrop, induksi remanen, koersivitas

ABSTRACT

MAKING OF MAGNET BARIUM FERIT ANISOTROPIC. Barium Hexaferrite ($BaFe_{12}O_{19}$) is ceramic and materials which usually used for making of permanent magnet. In this research Barium Hexaferrite were made Anisotropic, and applied for loudspeaker, electromotors, dynamo, KWH metre, etc. this Magnet is commonly used due to its high Induction of Remanen (Br) and coercivity (high H_c). Besides it applies a more simple and easier process technology, cheaper raw material, and easy to find it, hence the magnetic component is much cheaper. Powder Metallurgy was used for the process technology, by reacting all materials in the powder (oxide), with a certain size distribution and a tight preparation step. The next step was mixing ferrite and Barium Carbonate (in the form of oxide), calcination, compaction, cintering and characteritation. The Anisotropic particle effects a high Induce Remanen (Br) and of koersifitas (high H_c). All the process steps will is determine physical and chemical characteristics of the magnet. The best Magnet characteristic of the magnet produced in this research is Induction of Remanen (Br) = 4,27 kG, Coercivity (H_c) = 1,745 kOe, Energy Product max (BH_{maks}) = 2,31 MGOe.

Key words : Barium ferrite ($BaFe_{12}O_{19}$), anisotropic, induction of remanen, coercivity

PENDAHULUAN

Magnet permanen Barium Heksaferit banyak digunakan pada berbagai komponen listrik dan elektronik seperti pengeras suara (*loud speaker*), KWH-meter, meteran air, motor-motor DC, alat-alat rumah tangga, mainan anak-anak, dan lain-lain. Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan magnet Barium Heksaferit secara anisotrop dengan menggunakan bahan baku yang murah dan mudah diperoleh di pasaran dalam negeri.

Bahan baku yang digunakan adalah limbah besi Hot Strip Mill (HSM), yang merupakan suatu oksida besi sisa dari proses produksi baja pada Industri Baja Nasional. Bahan lain yang digunakan adalah Barium Karbonat ($BaCO_3$) dan *additive Calcium oxide* dan

Silicon oxide, juga digunakan *binder* Polivinil Alkohol (PVA) sebagai perekat pada waktu proses kompaksi.

Teknologi proses yang digunakan adalah metalurgi serbuk yaitu mereaksikan beberapa oksida dalam bentuk serbuk dengan proses *mixing*, *milling*, kalsinasi, kompaksi dan *sinterisasi*. Pada saat kompaksi dilakukan secara anisotrop. Proses kompaksi secara Anisotrop dilakukan dengan menggunakan peralatan yang didesign sendiri, yaitu suatu sistem pembangkit medan magnet dalam alat kompaksi terdiri dari *slide* transformator, *rectifier* AC-DC 0 s.d. 200 V dan koil elektromagnet kapasitas maksimum 15 A, dimana induksi diukur dengan *gaussmeter* adalah ± 800 Gauss. Bahan

magnet dalam keadaan *slurry* dikompaksi pada tekanan tertentu dilakukan dalam sistem pembangkit medan magnet yang telah dibuat. Tujuannya adalah untuk mengarahkan orientasi partikel/butir bahan magnet agar arahnya seragam yang dikenal sebagai anisotrop ferit yang diperkirakan akan memiliki fluks magnet/induksi magnet yang lebih besar daripada magnet isotrop ferit (tanpa diarahkan medan magnet pada saat kompaksi),

TEORI

Struktur Kristal Barium Heksaferit

Struktur magnet Barium Heksaferit terdiri atas bagian kubik *spinel* (S) yang terpisah oleh bagian heksagonal *closed-packed* (R) berisi ion Ba. Setiap bagian S terdiri dari dua lapisan yang mengandung empat buah ion oksigen, dan paralel dengan bidang dasar heksagonal dengan tiga kation antara setiap lapisan. Bagian R terdiri atas tiga lapis ion oksigen, yang pada lapis tengah suatu ion oksigen diganti dengan ion Ba. Setiap unit sel mengandung 10 lapisan oksigen dengan Ba menggantikan ion oksigen setiap 5 lapis. Dalam satu unit sel setiap bagian S mempunyai rumus kimia Fe_6O_8 dan setiap bagian R mempunyai rumus kimia $BaFe_6O_{11}$. Rumus kimia total adalah $BaFe_{12}O_{19}$. Tempat ion Fe adalah tetrahedral dan oktahedral, dan satu sisi lagi dikelilingi oleh 5 oksigen membentuk suatu piramida trigonal.

Sifat Magnetik Barium Heksaferit

Ukuran untuk mengetahui besarnya sifat magnet suatu bahan adalah besarnya harga induksi remanen (Br), koersivitas (Hc) dan energi produk maksimum (BHmaks). Induksi remanen didefinisikan sebagai nilai induksi B yang sisa apabila suatu bahan dimagnetisasi jenuh, kemudian medan magnet luar diturunkan menjadi nol, sehingga induksi remanen sering juga disebut magnetisasi sisa. Koersivitas adalah medan balik yang dibutuhkan untuk mengembalikan induksi magnet B menjadi nol dari harga $B = Br$. Sedangkan BHmaks adalah hasil kali B dan H yang terbesar pada kuadran kedua kurva histeresis.

Anisotrop Magnet

Anisotrop Magnet adalah memagnetisasi suatu material magnet pada suatu arah tertentu. Medan magnet diterapkan selama kompaksi untuk mensejajarkan arah partikel. Arah tersebut tergantung pada kekuatan medan magnet yang diterapkan, gaya gesek antar partikel untuk berotasi, arah selama kompaksi dan lain-lain.

Ada dua macam magnet anisotrop, dibuat dengan metode kering dan basah. Dalam metode basah, partikel dicampur dengan air dan kondisi ini disebut dengan *slurry* (densitas *slurry* adalah 50 – 70 %), saat medan magnet diterapkan. Pada kondisi tersebut, partikel lebih

mudah untuk disusun sampai searah medan magnet yang diterapkan daripada dalam metode kering karena air bekerja sebagai pelumas. Nilai Br dan Hc dari jenis material magnet dengan Br tinggi dibandingkan dalam Tabel 1. Dapat dikatakan bahwa metode basah adalah lebih baik dalam mengarahkan partikel daripada metode kering. Bagaimanapun, itu merupakan faktor minor, yang mana keberadaan air dapat didehidrasi selama kompaksi, akan tetapi waktu kompaksi lebih lama daripada metode kering. Rata-rata ukuran partikel *slurry* adalah sekecil 0,6 μm bertujuan untuk mendapatkan domain tunggal sempurna.

Efek yang Menimbulkan Anisotrop Magnet Efek Magnetokristalin

Tabel 1. Nilai Br dan Hc dari jenis bahan magnet ferit

	Magnet anisotrop metoda kering		Magnet anisotrop metoda basah	
	FXD-300	SSR-D37	FXD-380	SSR-460
Br (kG)	3.8	4.0	4.15	4.4
Hc (kOe)	2.3	3.15	2.2	2.95

Bahan Feromagnet yang memiliki magnetokristalin anisotrop memiliki arah magnetisasi yang disukai (*preferred magnetization direction*). Arah tersebut disebut sebagai arah mudah (*easy direction*). Dimana pada arah ini total energi magnet adalah minimum. Pada arah sukar (*hard direction*) medan magnet luar harus melakukan kerja melawan gaya anisotrop untuk membuat vektor magnetisasi kearah tersebut. Energi yang diperlukan untuk melakukan hal tersebut disebut energi anisotropi kristal (E_A). E_A dinyatakan sebagai :

$$E_A(\theta) = \sum K_n \sin^{2n}(\theta) \quad (J/m^3) \quad \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

(θ) = sudut antara sumbu mudah dengan vektor magnetisasi

$K_n = K_1, \dots\dots\dots K_n$ konstanta anisotropi (J/m^3)

Anisotropi Bentuk

Bentuk partikel juga bisa merupakan sumber dari anisotropi magnet. Bentuk partikel berkaitan erat dengan medan demagnetisasi. Pada bentuk partikel bulat, tidak memiliki anisotropi magnet karena medan demagnetisasi sendiri sama besar untuk segala arah. Pada partikel yang memanjang terdapat medan demagnetisasi sendiri yang berbeda untuk arah yang berbeda. Medan demagnetisasi pada sumbu panjang lebih rendah dari pada sepanjang sumbu pendek dengan mengabaikan efek anisotropi kristal. Secara umum medan demagnetisasi (H_d) dan magnetisasi (M) dihubungkan sebagai berikut :

$$\mu_0 H_d = D.M \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$K_\sigma = 3/2 \lambda \sigma \quad \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

D = faktor demagnetisasi

Dimana :

λ = koefisien magnetostrition, yaitu perubahan panjang $\lambda = \delta l / l$.

Anisotropi Tegangan

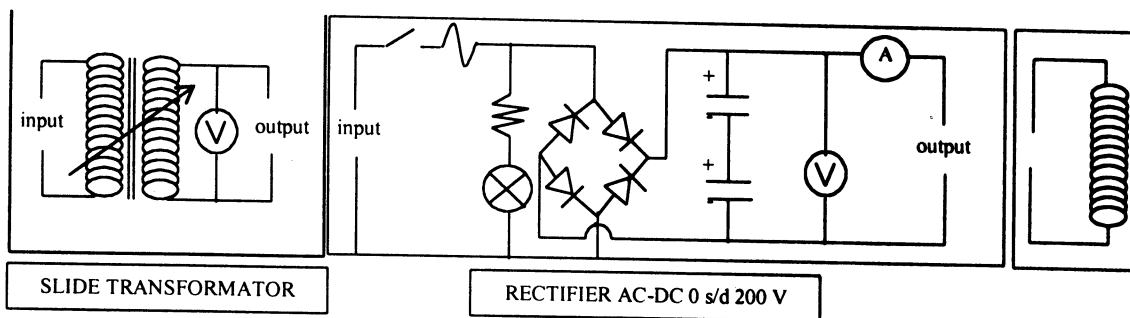
Anisotropi Tegangan muncul bila suatu bahan dibawah pengaruh tegangan. Tegangan dapat menimbulkan *easy axis* atau arah yang disukai pada magnetisasi. Konstanta anisotropi tegangan dibawah pengaruh tegangan (σ) dinyatakan sebagai :

METODE PERCOBAAN

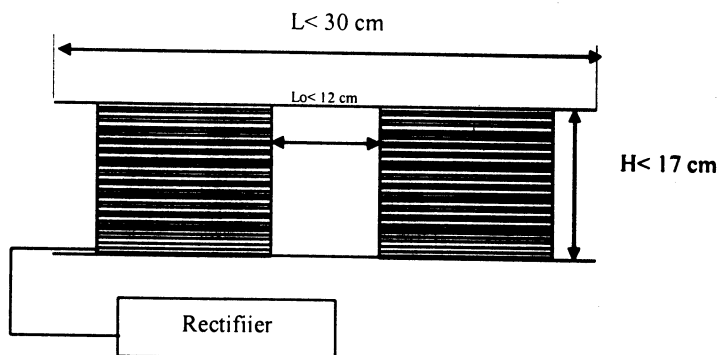
Bahan dan Alat

Bahan :

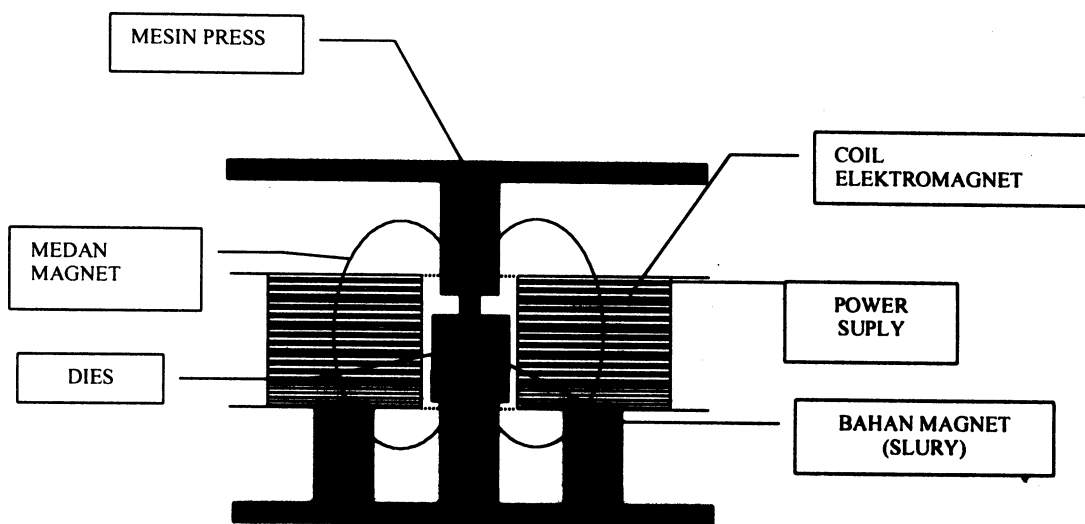
- Hot Strip Mill (FeO)
- BaCO₃ (teknis)



Gambar 1. Rangkaian Pembangkit Medan Magnet



Gambar 2. Disain coil elektromagnet



Gambar 3. Teknik kompaksi dalam medan magnet

- CaO =>99 %
- SiO₂ =>99 %
- PVA => 98 %
- Alkohol teknis

Peralatan :

- Neraca analytic digital
- Jar mill
- High Temperature Furnace
- Mesin kompaksi dengan koil magnetisasi
- Dies / cetakan dari baja
- Permagraph
- Impuls magnetizer

Cara Kerja

Persiapan bahan

Bahan-bahan berupa serbuk Besi oksida, Barium karbonat dalam perbandingan tertentu dicampur sesuai dengan komposisinya. Pencampuran dilakukan di dalam *jar mill stainless steel*, putaran ± 110 rpm, secara basah dalam media alkohol dengan kekentalan 40 % padat, hasilnya dikeringkan kemudian dihaluskan lagi dengan *mortar agate*.

Kalsinasi

Serbuk campuran dikalsinasi di dalam *high temperature furnace*, selama tiga jam.

Penggilingan

Kalsin (serbuk yang sudah dikalsinasi), ditambah dengan *additive* CaO dan SiO₂. Digiling secara basah (40% padat) di dalam *jar mill stainless steel*. Lama penggilingan 16 jam. Perekat PVA (Polivinil Alkohol) juga ditambahkan 8 jam sebelum penggilingan selesai. Hasilnya dikeringkan dan dihaluskan dengan *mortar agate* kemudian disaring dengan saringan 400 mesh supaya homogen.

Pembentukan

Serbuk kalsin, 10 gram *slurry* (dengan densitas 60%) dicetak dalam bentuk tablet dengan diameter 15 mm dan tinggi 8 mm dengan tekanan 3 ton/cm² dilakukan dalam medan magnet yang dibangkitkan *koil* elektromagnet tegangan 100 Volt dan arus 12 Ampere dimana induksi diukur dengan *gausmeter* adalah ± 1500 Gauss. Polarisasi sampel (kutub utara dan kutub selatan) ditandai pada saat kompaksi.

Sintering

Hasil cetak *disinter* pada suhu 1250°C selama satu jam.

Pengujian

Contoh hasil *sintering* diukur sifat kemagnetannya dengan *Permagraph*, yang meliputi : Induksi remanen (Br), gaya koersif (Hc) dan Energi produk maksimum (BH)_{max}.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Tabel 2. Dapat dilihat bahwa makin besar tegangan *input* (DC) yang diterapkan (50 Volt, 75 Volt dan 100 Volt), semakin besar karakteristik magnet yang dihasilkan. Hal ini dapat dijelaskan, dimana tegangan berbanding lurus terhadap arus yang dihasilkan.

$$V = I.R, R = \text{konstan dan}$$

$$H = 0,4 \pi.n. i/l$$

dimana;

- i = arus listrik (Amper)
- n = jumlah lilitan kawat tembaga
- l = panjang kawat tembaga (m)
- H = kuat medan magnet yang dihasilkan (A/m)

Dengan demikian, meningkatnya tegangan DC akan meningkatkan arus input dalam *koil* magnetisasi dan akan memperbesar medan magnet yang ditimbulkan *koil*. Semakin besar medan magnet yang diterapkan pada saat kompaksi diprediksikan mampu mengorientasikan butir-butir bahan magnet yang tertahan oleh ketidakteraturan orientasi butir, gaya gesek antar butir, gaya gesek butir dan *dies* (cetakan), gaya tekan udara dan air akibat tekanan *punch* (penekan atas) pada *dies*.

Tabel 2. Karakteristik magnet Vs Tegangan pada saat memagnetisasi

Contoh/Tegangan Karakteristik	magnetisasi 50 Volt	magnetisasi 75 Volt	magnetisasi 100 Volt	Contoh Acuan
Induksi Remanen, Br (kG)	2.08	2.13	4.28	4.76
Gaya Koersif, Hc (kOe)	1.22	1.272	1.586	0.356
Energi maksimum, (BH) _{maks} . (MGOe)	0.72	0.74	2.09	0.83
Density (gr/cm ³)	4.95	4.95	4.95	4.91

Keterangan :

- Proses memagnetisasi pada saat kompaksi
- Lamanya waktu memagnetisasi adalah : 20 menit

Pada Tabel 3 dilakukan variasi lamanya waktu magnetisasi (3 menit, 30 menit dan 60 menit) dengan tegangan *input* 100 Volt. Semakin lama waktu yang diterapkan pada saat magnetisasi ketika proses kompaksi berlangsung, menyebabkan meningkatnya karakteristik magnet. Dari hasil percobaan karakteristik magnet paling optimum pada waktu 60 menit, yaitu ; Br = 4,27 kG, Hc = 1,745 kOe dan BH_{maks} = 2,31 MGOe. Nilai karakteristik terendah pada waktu 3 menit. Hal ini disebabkan karena pengorientasian butir belum

Tabel 3. Karakteristik magnet Vs lamanya memagnetisasi

Contoh/Tekanan Karakteristik	magnetisasi 3 menit	magnetisasi 30 menit	magnetisasi 60 menit	Contoh Acuan
Induksi Remanen . Br (kG)	2.13	4.22	4.27	4.76
Gaya Kooersif. Hc (kOe)	1.360	1.549	1.745	0.356
Energi maksimum. (BH)maks. (MGOe)	0.75	2.07	2.31	0.83
Density (gr/cm ²)	4.98	5.00	4.98	

Keterangan :

- Proses memagnetisasi pada saat kompaksi
- Besarnya tegangan pada saat memagnetisasi adalah : 100 volt

maksimum, selama orientasi beberapa hal yang menghambat proses orientasi butir, yaitu ketidakteraturan orientasi butir, gaya gesek antar butir, gaya gesek butir dan *dies*, gaya tekan udara dan air akibat tekanan *punch* awal. Sehingga pada saat diterapkan medan magnet eksternal butir-butir dalam pensejajaran memerlukan waktu untuk melawan faktor-faktor tersebut diatas. Dengan waktu 3 menit kemungkinan tidak cukup untuk mensejajarkan butir secara maksimum.

KESIMPULAN

1. Semakin besar tegangan input (DC) yang digunakan dari *koil* elektromagnet dan lamanya waktu yang digunakan, akan memberikan kesempatan orientasi pada butir-butir bahan magnet secara maksimum, sehingga akan meningkatkan karakteristik magnet.
2. Karakteristik magnet yang paling optimum dapat dihasilkan pada penelitian ini adalah pada tegangan input (DC) 100 Volt dan waktu magnetisasi 60 menit, yaitu ; Br = 4,27 kG, Hc = 1,745 kOe dan BHmaks = 2,31 MGOe. Nilai tersebut sudah memenuhi sifat magnet anisotrop.
4. Untuk mendapatkan sifat anisotrop magnet yang baik, maka diperlukan medan magnet eksternal dan waktu yang cukup untuk melampaui hambatan-hambatan yang ada dalam bahan magnet selama kompaksi.

DAFTAR ACUAN

- [1]. Sumitomo Special Metals Co.,Ltd, *Permanen Magnet Design For Magnet Manufacturring*, (1993).
- [2]. SMITH, W.F., *Principles of Materials Science and Engineering*, Mc Graw-Hill Publishing Company, Singapore, (1990).
- [3]. CULLITY, B.D., *Introduction to Magnetic Materials*, Adison Wesley Publishing Company, U.S.A., (1972).
- [4]. ROLLIN J. PARKER, *Permanent Magnets and Their application*, John Wiley and sons, Inc, New york, London, Sydney, Third Printing, (1962), 68.