



## FABRIKASI MAGNET KOMPOSIT BERBAHAN DASAR MAGNET DAUR ULANG DENGAN PENGIKAT CULT

**Novi Dwi Jayanti<sup>✉</sup> Agus Yulianto, Sulhadi**

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Indonesia, 50229

---

### Info Artikel

*Sejarah Artikel:*

Diterima Maret 2013  
Disetujui Maret 2013  
Dipublikasikan Mei 2013

*Keywords:*

*cult; composite magnet;  
powder metallurgy; magnetic  
properties*

---

### Abstrak

**Abstrak**

Telah dilakukan pemanfaatan sampah anorganik dengan mendaur ulang magnet bekas loudspeaker dan cult menjadi magnet komposit menggunakan teknik metalurgi serbuk. Serbuk magnet dan cult dicampur dengan cara milling basah selama 6 jam yang bertujuan untuk menghindari menempelnya bahan campuran pada dinding milling dan bola-bola penggilingnya. Hasil campuran dikeringkan menggunakan oven, kemudian disaring dengan kain sablon T150. Campuran kemudian ditambah dengan PVA (Poly Vinyl Alcohol), selanjutnya dicetak menggunakan hydraulic press. Pembuatan magnet komposit difokuskan untuk menentukan struktur kristal, unsur-unsur penyusun, dan sifat magnetik. Karakterisasi dengan XRD dan XRF digunakan untuk menentukan struktur kristal dan unsur-unsur penyusun. Untuk karakterisasi sifat magnetik menggunakan Permagraph. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa struktur kristal yang terbentuk pada sampel adalah yang tergolong dalam space group cubic dengan parameter lattice  $a = 5.8864\text{\AA}$  dan  $b = 23.1741\text{\AA}$ . Senyawa dari serbuk magnet bekas mengandung dua fraksi berat yang cukup besar yaitu berupa Fe (76,91%) dan Ba (19,6%). Karakterisasi sifat magnetik didapatkan induksi remenan yang semakin meningkat seiring dengan penambahan komposisi bahan magnetiknya. Pada nilai koersifitasnya terjadi penyimpangan pada komposisi 50%:50% yaitu 0,233kOe. Ini dimungkinkan pada komposisi 50%:50% ukuran butiran termasuk dalam rentang Single Domain/ SD sehingga harga koersifnya menjadi maksimum.

**Abstract**

*Have been made use of inorganic waste by recycling former magnet loudspeaker and cult into a composite using powder metallurgy techniques. Magnet powder and cult mixed by wet milling for 6 hours which aims to avoid the attachment of a mixture of materials on the wall sand grinder balls milling. The resulting mixture was dried using the oven, then filtered with as creen printing fabric T150. The mixture then added with PVA(Poly Vinyl Alcohol), then printed using a hydraulic press. Manufacture of composite magnet is focused to determine the crystal structure, constituent elements, and magnetic properties. Characterization by XRD and XRF is used to determine the crystal structure and constituent elements. For the characteristic of magnetic properties using Permagraph. Characterization results showed that the crystal structure is formed on samples belonging to the cubic space group with lattice parameters  $a = 5.8864\text{\AA}$  and  $b = 23.1741\text{\AA}$ . Magnet powder compound of the former contains two sizeable fraction of the weight of Fe(76.91%) and Ba(19.6%). Characterization induced remanent magnetic properties obtained which are increasing with the addition of magnetic material composition. At the coercivity irregularities in the composition of 50%:50% of which 0.233 kOe. This is possible on the composition of 50%:50% the size of the grains included in the range of Single Domain/ SD so that the coercivity is a maximum price.*

© 2013 Universitas Negeri Semarang

---

<sup>✉</sup> Alamat korespondensi:  
Gedung D7 lantai 2 Kampus UNNES, Semarang, 50229  
E-mail: [putri.solo14@gmail.com](mailto:putri.solo14@gmail.com)

ISSN 2252-6978

## PENDAHULUAN

Sampah masih menjadi permasalahan hampir di semua kota di Indonesia. Mulai dari kota kecil sampai kota metropolitan sekalipun. Umumnya sampah kota di Indonesia terdiri dari 60% sampah organik dan 40% sampah anorganik (Tambun, 2008).

Sampah anorganik merupakan sampah yang tidak dapat terurai secara alami (undegradable). Berbeda dengan sampah organik yang dapat terurai secara alami, sampah anorganik sebagian lainnya dapat diuraikan tetapi melalui proses yang cukup lama. Dengan demikian, diperlukan berbagai penanganan alternatif untuk dapat mengoptimalkan limbah sampah anorganik menjadi produk yang berdaya guna lebih. Seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, maka dilakukan penelitian mengenai ilmu bahan yaitu komposit. Komposit merupakan perpaduan dari dua material atau lebih yang memiliki fasa yang berbeda menjadi suatu material baru yang memiliki sifat lebih baik dari kedua material penyusunnya (Bakri, 2011).

Salah satu produk komposit yang telah dikembangkan sekarang ini adalah magnet komposit. Pada umumnya magnet yang beredar di pasaran merupakan magnet konvensional yang bahannya berasal dari logam. Proses pembuatan magnet konvensional memerlukan energi yang tinggi dan biaya yang diperlukan juga mahal karena listrik yang dibutuhkan oleh furnace untuk mensintering mencapai suhu tinggi. Berbeda dengan magnet konvensional, magnet komposit proses pembuatannya mudah dan biaya murah tanpa melalui proses sintering yang memerlukan suhu tinggi. Sebagai solusi atas penanganan alternatif limbah sampah anorganik, maka dilakukan penelitian mengenai fabrikasi magnet komposit berbahan dasar magnet daur ulang dengan pengikat cult. Magnet dan cult yang digunakan pada penelitian ini tergolong sampah anorganik. Metode yang digunakan adalah dengan teknik metalurgi serbuk.

Komposit adalah material yang terdiri dari campuran dua atau lebih penyusun atau fasa yang berbeda pada skala makroskopik, dipisahkan oleh antar muka yang berbeda dan fasa tersebut sangat penting untuk dapat memisahkan penyusun-penyusunnya (Schwartz, 1984). Dalam komposit terdapat tiga unsur, yaitu:

1. Matriks, adalah penyusun dasar komposit yang memiliki jumlah besar. Matriks dapat berupa logam, keramik, atau polimer.

2. Penguat, adalah penyusun komposit yang memperkuat dan meningkatkan sifat-sifat mekanik matriks. Sifat-sifat mekanik bergantung pada bentuk

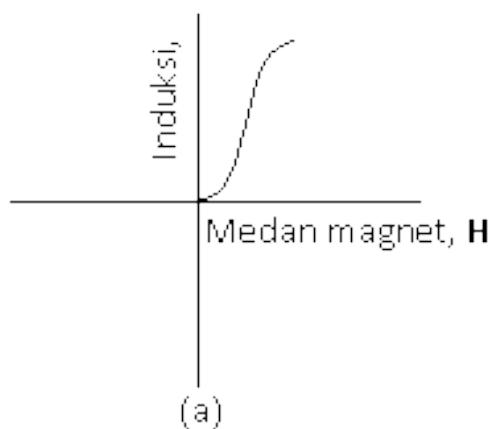
dan dimensi penguat. Penguat berupa partikel memiliki dimensi yang hampir sama dalam segala arah. Bentuknya bisa berupa bola, kubik, lapisan atau teratur/ tidak teratur bentuknya. Susunannya bisa secara acak maupun orientasi tertentu.

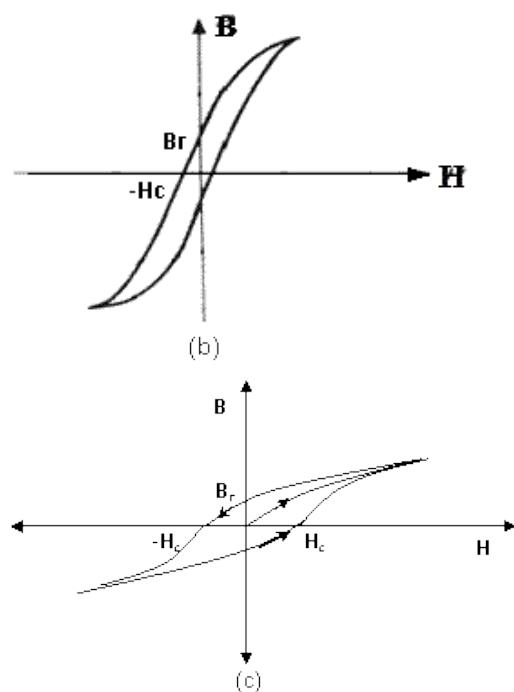
3. Fasa antar-muka (bila ada), adalah fasa yang terdapat diantara matriks dan penguatnya.

Magnet biasanya dibagi atas dua kelompok yaitu magnet lunak dan magnet keras (magnet permanen). Magnet keras dapat menarik bahan lain yang bersifat magnet. Selain itu sifat kemagnetannya dapat dianggap cukup kekal. Magnet lunak dapat bersifat magnetik dan dapat menarik magnet lainnya, namun, hanya memiliki sifat magnet bila berada dalam medan magnet. Kemagnetannya tidak kekal.

Perbedaan antara magnet permanen dan magnet lunak dapat dilakukan dengan menggunakan loop histerisis yaitu karakterisasi kebergantungan magnetisasi ( $M$ ) terhadap  $H$ . Hasil pengukurannya diperoleh informasi tentang medan saturasi, remanensi, dan coercivitas yang ketiganya berkaitan dengan sifat bahan dalam aplikasi medan magnetik ataupun medan listrik (Vlack, 1985).

Saturasi adalah magnetisasi bahan yang tidak mengalami perubahan sekalipun medan aplikasi diperbesar (pada kondisi medan aplikasi tertentu magnetisasi bahan tidak berubah). Remanensi (sisa) adalah magnetisasi sisa ketika medan aplikasi magnetik ditiadakan ( $H=0$ ). Coercivitas adalah ketahanan bahan magnetik untuk mengubah magnetisasinya, atau besarnya kuat medan magnetik yang diaplikasikan untuk mendemagnetisasi (mengurangi magnetisasi bahan menjadi nol) bahan dari keadaan termagnetisasi saturasi, atau daya yang diperlukan untuk memagnetisasi atau mendemagnetisasi magnet permanen yang diukur dalam Mega Gauss Oersted (MGO).



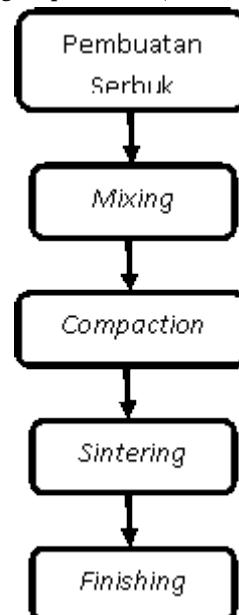


**Gambar 1.** Kurva magnetisasi. (a) Induksi awal  $B$  versus medan magnet  $H$ . (b) Loophisteris (magnet lunak). (c) Loop histerisis (magnet keras).

Metalurgi serbuk merupakan proses pembuatan produk dengan menggunakan bahan dasar dengan bentuk serbuk yang kemudian disinter yaitu proses konsolidasi serbuk pada temperatur tinggi yang di dalamnya termasuk juga proses penekanan atau kompaksi. Sehingga partikel-partikel logam memadu karena mekanisme transportasi massa akibat difusi atom antar permukaan partikel. Metode metalurgi serbuk memberikan kontrol yang teliti terhadap komposisi dan penggunaan campuran yang tidak dapat difabrikasi dengan proses lain. Bentuk dan ukuran dari sampel ditentukan oleh luas cetakan dan penyelesaian akhir (finishing touch) (Murjito, 2010). Perlu diketahui bahwa untuk mendapatkan sampel magnet permanen melalui teknik metalurgi serbuk, ukuran serbuk yang akan dikonsolidasi harus kurang lebih sama dengan ukuran partikel berdomain tunggal (single domain particle) untuk material adalah sebesar  $0,6 \mu\text{m}$  (Fiandimas dan Azwar Manaf, 2003).

Bahan tipe M-heksaferit, ( $\text{M}=\text{Ba}, \text{Pb}, \text{Sr}$ ) telah dikenal mempunyai sifat magnet yang sangat baik sehingga banyak digunakan sebagai magnet permanen bagian komponen dari peralatan frekuensi tinggi atau sebagai media penyimpan data. Untuk media penyimpan data, M-heksaferit yang digunakan mempunyai ukuran kristalit sangat halus, dalam skala nanometer. Bahan barium heksaferit termasuk bahan magnet keras (hard magnetic) merupakan salah satu bahan baik dari segi keilmuan maupun teknologi

sangat penting. Bahan dengan anisotropi kristalin yang besar dengan koersivitas magnet yang cukup tinggi serta secara kimiawi stabil, menyebabkan bahan magnet ini sangat banyak digunakan sebagai komponen magnet permanen (Johan, 2011).



**Gambar 2.** Langkah-langkah dasar pada metalurgi serbuk.

#### METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan ini menggunakan metode eksperimen. Eksperimen dilakukan di Laboratorium Kemagnetan Bahan, Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Semarang berkaitan pembuatan serbuk magnet dari magnet bekas serta fabrikasi magnet komposit dengan metode metalurgi serbuk. Sementara itu, hasil serbuk magnet yang diperoleh dilakukan karakterisasi XRD (X-Ray Diffraction) dan XRF (X-Ray Fluorescence) di Laboratorium Sentral, Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Malang. Sedangkan hasil magnet komposit dikarakterisasi sifat kemagnetannya berdasarkan kurva histerisisnya dengan alat Permagraph tipe MPS produksi Jerman di Laboratorium Komponen Bahan Magnet Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (P2ET) LIPI Bandung.

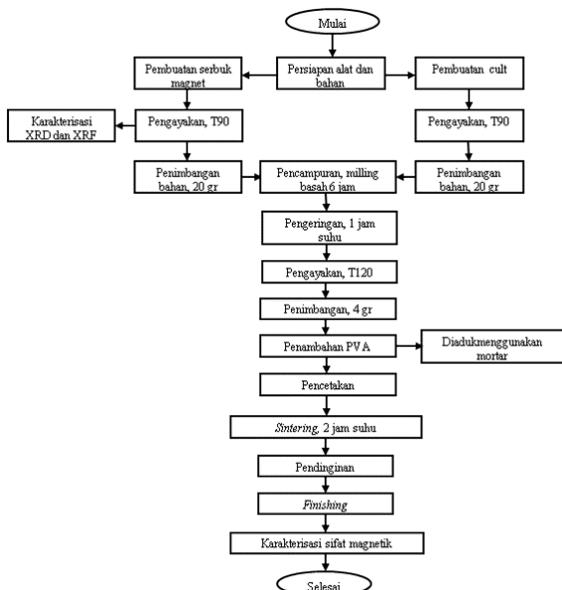
#### Alat

Palu, Mortar, Ball milling, Nampan, Cawan porselein, Oven, Ayakan tipe T90 dan T150, Gelas kimia, Spatula, Furnace, Timbangan digital, Cetakan tanah liat, Pipet, Hydraulic press, X-Ray Difractometer, X-Ray Fluorescence, Permagraph.

#### Bahan

Serbuk magnet bekas, Cult, PVA (Poly Vinyl Alcohol), Aquades.

Secara umum skema diagram alir algoritma dari aplikasi perangkat lunak ditunjukkan pada Gambar 3.

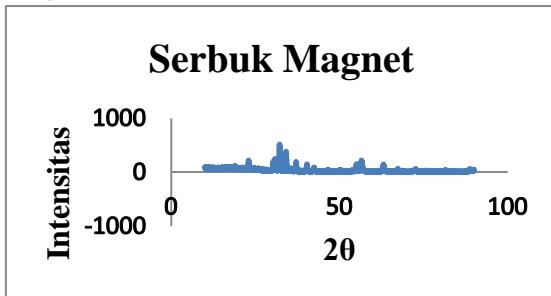


Gambar 3. Diagram alur penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Daur ulang sampah anorganik dari magnet bekas loudspeaker dan cult sudah dilakukan dengan teknik metalurgi serbuk. Hasil akhir berupa magnet komposit berbentuk pellet yang masih mengandung sifat magnetik. Sampel magnet komposit telah dikarakterisasi untuk mengetahui sifat dan karakteristiknya. Selain itu juga dilakukan karakterisasi XRD dan XRF serbuk magnet bekas guna mengetahui struktur kristal dan kandungan unsur serta yang utama adalah untuk mengetahui bahan dasar magnet yang dipakai di pasaran.

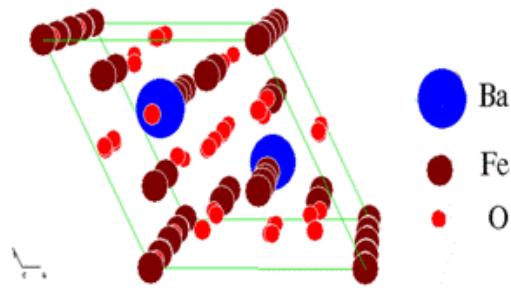
### X-ray diffraction



Gambar 4. Grafik pola difraksi sinar-X

Dari pola difraksi yang muncul, diketahui karakteristik puncak-puncak senyawa penyusun utama dari magnet yang berada di pasaran adalah

barium heksaferit ( $BaFe_{12}O_{19}$ ). Tidak ada fase lain yang terdeteksi. Hasil analisis XRD juga menunjukkan struktur sampel tergolong dalam space group cubic dengan parameter lattice  $a = 5.8864 \text{ \AA}$  dan  $b = 23.1741 \text{ \AA}$ . Diketahui pula struktur kristal adalah sebagai berikut:



Ukuran partikel dapat dianalisa dengan persamaan Scherrer, yaitu:

$$d = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

dengan  $d$  adalah ukuran partikel ( $\text{\AA}$ ),  $\lambda$  adalah panjang gelombang target sinar-X ( $\text{Cu} = 1.5406 \text{ \AA}$ ),  $k$  adalah konstanta kekasaran permukaan sampel (0,94),  $\beta$  adalah lebar setengah puncak maksimum, Full Width at Half Maximum/ FWHM),  $\theta$  adalah sudut Bragg (Shepherd, 2007). Dari perhitungan persamaan di atas menghasilkan rata-rata ukuran partikel adalah  $10,4 \text{ \AA}$ .

### X-ray fluorescense

Tabel 1. Hasil analisis XRF serbuk magnet bekas

Unsur	Jumlah
Si	0.39%
P	0.07%
S	0.14%
Ca	0.16%
Mn	0.13%
Fe	76.91%
Cu	0.059%
Br	0.22%
Rb	0.27%
Sr	1.3%
Ba	19.6%
Eu	0.4%
Ir	0.34%

X-Ray Fluorescense (XRF) merupakan salah satu metode analisis tidak merusak yang digunakan untuk menganalisa unsur dalam bahan secara

kualitatif dan kuantitatif. Hasil yang didapat menjelaskan mengenai unsur pengotor lain yang terkandung dalam serbuk magnet bekas, seperti yang telah ditunjukkan pada tabel 1. Dari tabel tersebut menunjukkan bahwa sampel dari serbuk magnet bekas mengandung dua fraksi berat yang cukup besar yaitu berupa Fe (76,91%) dan Ba (19,6%), sehingga dapat diketahui sampel yang diteliti merupakan senyawa barium ferit. Selain itu hasil analisis XRF juga memunculkan fraksi berat yang cukup kecil yaitu Sr (1,3%). Fraksi ini dimungkinkan senyawa stronsium ferit. Keberadaan unsur pengotor ini dimungkinkan disebabkan oleh penggunaan oksida besi dari alam.

#### Karakteristik sifat magnetik

**Tabel 2.** Data karakteristik sifat magnet.

N o.	Komposisi cuplikan (serbuk magnet:ser buk kaca)	Kerapatan ,(ρ) (g / cm <sup>3</sup> )	Induksi Reman en, Br(kG)	Gaya Koersifit as, Hc(kOe)
1.	70%	2.38	0.65	0.318
2.	65%	2.43	0.58	0.249
3.	60%	2.64	0.56	0.220
4.	55%	2.83	0.52	0.184
5.	50%	3.13	0.48	0.233
6.	Serbuk murni	2.58	1.26	0.145

Karakterisasi sifat magnetik pada sampel diperoleh dari pengukuran kurva histerisis dengan peralatan Permagraph C tipe MPS produk Jerman, di Laboratorium Komponen Bahan Magnet (P2ET) LIPI Bandung.

Kekuatan magnet ditentukan oleh besarnya nilai induksi remanen (Br) dari bahan, yaitu nilai induksi B yang sisa apabila suatu bahan dimagnetisasi jenuh, kemudian medan magnet luar diturunkan menjadi nol, sering juga disebut magnetisasi sisa (Billah, 2006). Pada penelitian ini tinggi rendahnya nilai induksi remanen bergantung pada perbandingan komposisi sifat magnetik penyusunnya. Semakin banyak komposisi sifat magnetik yang diberikan, maka semakin besar nilai induksi remanen yang dihasilkan. Dari tabel 2. menunjukkan nilai Br sesuai dengan teori yaitu semakin meningkat dengan bertambahnya kandungan serbuk magnet bekas yang diketahui berbahan dasar BaO<sub>6</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> di dalam komposit.

Selain induksi remanen (Br) kekuatan magnet juga dipengaruhi oleh gaya koersifitas yang dihasilkan. Koersifitas (Hc) merupakan medan balik

yang dibutuhkan untuk mengembalikan induksi magnet B menjadi nol dari harga B=Br (Idayanti dan Dedi, 2003). Semakin tinggi gaya remanensi, maka gaya koersifitasnya semakin besar. Nilai Hc di sini ditunjukkan pada daerah kuadran kedua dari kurva histerisis hasil pengukuran dengan permagraph. Untuk hasil induksi remanen yang semakin meningkat, maka semakin besar pula medan yang dibutuhkan untuk menghilangkannya. Dengan kata lain harga koersifitas yang dihasilkan seharusnya mengalami peningkatan seiring dengan penambahan kandungan serbuk magnet di dalam komposit. Tetapi kenyataan berbeda, hasil yang didapatkan pada sampel kelima dengan komposisi 50%:50% harga koersifitas menunjukkan nilai yang lebih besar padahal nilai induksi remanensi lebih kecil dari keempat sampel lainnya. Secara teori koersifitas (Hc) berhubungan dengan ukuran butiran.

Keberadaan domain dalam butiran akan mempengaruhi karakteristik magnet khususnya koersifitas (Hc) dan induksi remanen (Br) yang ada akhirnya akan mempengaruhi energi potensial . Berdasarkan ukuran butir sifat magnetik dapat dibagi menjadi empat bagian, yaitu: 1) Unstable Single Domain (Superparamagnetik/ SPM), 2) stable Single Domain/ SD, 3) Pseudo Single Domain/ PSD, 4) Multi Domain/ MD. Koersif maksimum dapat diperoleh pada saat ukuran butiran dalam rentang SD. Semakin besar ukuran butiran (PSD) koersif akan cenderung menurun karena butiran membentuk multidomain demikian juga jika ukuran butiran semakin kecil dalam rentang SPM koersif juga menurun karena pengaruh energi termal yang menyebabkan terjadinya magnetisasi acak. Untuk bahan BaO<sub>6</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> batas kritis diameter butiran SD adalah 1 μm. Jadi dimungkinkan pada sampel kelima ukuran butiran termasuk dalam rentang Single Domain/ SD sehingga harga koersinya menjadi maksimum.

Kerapatan juga merupakan faktor penting dalam pengukuran sifat magnetik bahan yang dihasilkan. Pada tabel 2. menunjukkan nilai kerapatan yang semakin kecil dengan pengurangan campuran serbuk kaca di dalam komposit. Pada dasarnya densitas dipengaruhi oleh proses kompaksi. Jika semakin tinggi gaya tekan atau kompaksi yang diberikan pada serbuk maka ikatan butiran partikel bahan menjadi semakin kuat sehingga jarak antar partikel menjadi semakin rapat atau semakin kecil. Dengan butiran partikel yang semakin rapat tersebut maka densitas bahan hasil kompaksi akan semakin besar, porositas semakin sedikit sehingga dapat meningkatkan sifat magnet. Tetapi di sini faktor

densitas tidak berpengaruh, justru kebalikannya semakin besar densitasnya, induksi remanensinya semakin kecil. Untuk hal ini kembali lagi pada faktor penyusun sifat magnetiknya.

Karakterisasi juga dilakukan pada sampel dari serbuk magnet bekas murni tanpa bahan pengikat cult. Dari kurva histerisis diketahui karakteristik sifat magnetiknya adalah  $\rho = 2,58$ ,  $Br = 1,26\text{kG}$ , dan  $Hc = 0,145\text{kOe}$ . Diketahui nilai  $Hc$  tidak sebanding dengan nilai  $Br$ . Hal ini mungkin dikarenakan ukuran butir dari serbuk magnet bekas Pseudo Single Domain/ PSD. Untuk densitasnya sendiri tergolong mempunyai densitas yang rendah/ kecil, dikarenakan tidak adanya bahan pengikat sehingga pada waktu proses kompaksi tidak terjadi ikatan yang kuat antar domain-domainnya. Sehingga setelah disinter sampel bersifat sangat rapuh.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Magnet komposit telah berhasil dibuat dengan teknik metalurgi serbuk. Tahapan-tahapan dari teknik metalurgi serbuk meliputi 1) pembuatan serbuk, 2) mixing, 3) compaction, 4) sintering, 5) finishing. Karakterisasi XRD menunjukkan struktur kristal dari serbuk magnet bekas adalah barium heksaferit (BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>). Hasil analisis XRD juga menunjukkan struktur sampel tergolong dalam space group cubic dengan parameter lattice  $a = 5.8864\text{\AA}$  dan  $b = 23.1741\text{\AA}$ . Uji XRF menunjukkan senyawa dari serbuk magnet bekas mengandung dua fraksi berat yang cukup besar yaitu berupa Fe (76,91%) dan Ba (19,6%). Hasil karakterisasi sifat magnetik didapatkan induksi remanen yang semakin meningkat seiring dengan penambahan komposisi bahan magnetiknya. Sedangkan nilai koersifitasnya terjadi penyimpangan pada komposisi 50%:50% yaitu  $0,233\text{kOe}$ . Ini dimungkinkan pada komposisi 50%:50% ukuran butiran termasuk dalam rentang Single Domain/ SD sehingga harga koersifnya menjadi maksimum.

### Saran

1. Perlu dilakukan pengontrolan tekanan kompaksi agar setiap masing-masing sampel diberikan tekanan yang sama.
2. Magnet komposit yang dihasilkan sebaiknya dilihat struktur mikronya dengan menggunakan SEM, untuk mendapatkan informasi mengenai hubungan antara bentuk permukaan dan sifat magnetik sampel.
3. Masih perlu dilakukan variasi ukuran serbuk bahan magnet, untuk mendapatkan sifat magnetik yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bakri. 2011. Tinjauan Aplikasi Serat Sabut Kelapa sebagai Penguat Material Komposit. Jurnal Mekanikal, 2(1): 10-15.
- Billah, Arif. 2006. Pembuatan dan Karakterisasi Magnet Stronsium Ferit dengan Bahan Dasar Pasir Besi. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Negeri Semarang.
- Idayanti, N. dan Dedi. 2002. Pembuatan Magnet Permanen Ferit untuk Flow Meter. Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia, Vol. A5 No. 0528: 1-5.
- Fiandimas, A dan Azwar M. 2003. Pembuatan Magnet Permanen Barium Heksaferit Berbahan Baku Mill Scale dengan Teknik Metalurgi Serbuk. Jurnal Sains Materi Indonesia, 5(1): 45-50.
- Johan, A. 2011. Analisis Bahan Magnet Nanokristalin Barium dengan Menggunakan High-Energy Milling. Jurnal Penelitian Sains, 14, (1B) 14105: 19-24.
- Murjito. 2010. Penerapan Metalurgy Powder untuk Pembuatan Komponen Mesin Berbasis Pasir Besi Lokal. Naskah Publikasi Penelitian Berorientasi Produk (PBP). Lemlit Universitas Muhammadiyah Malang.
- Schwartz, Mel M. 1984. Composite Materials Handbook. New York: McGraw-Hill.
- Shepherd, P. Kajal K. Mallick. R.J Green. 2007. Magnetic and Structural Properties of M-Type Barium Hexaferrite Prepare by Co-Precipitation. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 311: 683-692.
- Tambun, C.M. 2008. Pengolahan Sampah Berwawasan Lingkungan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Vlack, L.H.V. 1985. Ilmu dan Teknologi Bahan (ed. 5). Translated by Djaprie, S. 1989. Jakarta: Erlangga.