

Pabrikasi Magnet MnZn Ferit dan Barium Ferit dari Limbah Pengelasan

Fabrication of MnZn Ferrite and Barium Ferrite using Welding Waste

Ardita Septiani* dan Novrita Idayanti

Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
Komp LIPI Gd 20, Jl Sangkuriang 21/54D, Bandung 40135, Indonesia

Abstrak

Pembuatan magnet lunak MnZn ferit dan magnet keras barium ferit telah dilakukan menggunakan bahan baku utama limbah pengelasan. Limbah pengelasan yang digunakan merupakan limbah dengan komposisi utama Fe dan O dengan Al dan Bi sebagai pengotor. Magnet dipabrikasi menggunakan metode metalurgi serbuk, yang diawali dengan penggilingan selama 6 jam untuk mendapatkan serbuk, dilanjutkan dengan pemanggangan pada 560 °C selama 1 jam untuk mendapatkan fasa hematit. Karakterisasi XRD (*x-ray diffraction*) menggunakan analisa Rietveld menunjukkan hematit 73,4% berat telah terbentuk setelah pemanggangan dengan fasa magnetik sebesar 26,6% berat. Serbuk setelah pemanggangan digunakan sebagai bahan baku magnet ferit dengan ditambahkan senyawa penyusun kation dan aditif. Perhitungan stoikiometri bahan baku yang digunakan pada penelitian ini didasarkan pada rumus kimia $Mn_{0,8}Zn_{0,2}Fe_2O_4$ dan $BaFe_{12}O_{19}$. Melalui karakterisasi menggunakan Permagraph, pembuatan magnet menggunakan limbah pengelasan didapatkan sifat magnetik untuk MnZn ferit adalah induksi remanen 0,83 kG dengan koersifitas 0,084 kOe dan untuk barium ferit memiliki induksi remanen 1,22 kG dengan koersifitas 2,996 kOe.

Kata kunci: MnZn ferit, barium ferit, limbah pengelasan.

Abstract

Fabrication of soft magnet MnZn ferrite and hard magnet barium ferrite has been done using welding wastes as raw materials. The welding wastes that used in this study constitute mainly Fe and O with Al and Bi as impurities. Powder metallurgy is employed to produce these magnets that started with milling the welding wastes for 6 hours to attain powders and followed by roasting it at 560 °C for 1 hour to obtain hematite phases. Through XRD (x-ray diffraction), it is found that hematite of 73.4% has been formed while magnetite of 26.6% of total mass is still present. Roasted powders are then used as raw materials for ferrite magnets. Stoichiometry calculation for raw materials used for this study is based on formulae of $Mn_{0,8}Zn_{0,2}Fe_2O_4$ and $BaFe_{12}O_{19}$. Parmagraph characterization shows that for the MnZn ferrite and barium ferrite fabricated using welding wastes as raw materials have remanent induction of 0.83 and 1.22 kG, coercivity of 0.084 and 2.996 kOe respectively.

Keywords: MnZn ferrite, barium ferrite, welding waste.

I. PENDAHULUAN

Magnet ferit yaitu magnet dengan rumus kimia $M.Fe_2O_4$, secara umum memiliki sifat tahan korosi, stabilitas kimia yang baik, temperatur Curie yang tinggi, serta dapat dipabrikasi menjadi magnet keras dan magnet lunak bergantung dengan pengaturan komposisi M. Penggunaan unsur Mn dan Zn membuat struktur kristal memiliki derajat anisotropi yang rendah dengan koersifitas rendah. Magnet lunak berdasar ferit memiliki resistivitas listrik yang tinggi sehingga meminimalisir kehilangan energi akibat *Eddy current* [1]. Pada $Mn_xZn_{1-x}Fe_2O_4$, konsentrasi Mn akan menurunkan koersifitas dan meningkatkan nilai magnetisasi maksimum [2]. Ba dan Sr membuat magnet memiliki derajat anisotropi yang tinggi dengan koersifitas yang lebih tinggi. Medan magnet yang dihasilkan oleh

magnet ferit keras lebih rendah dibanding dengan magnet logam tanah jarang, namun stabilitas kimia yang baik dan rasio harga per performa yang tinggi membuat magnet ferit banyak diaplikasikan. Perbedaan kuat medan magnet ferit keras dengan magnet logam tanah jarang semakin dipersempit dengan ditemukannya ferit berdasar LaCo pada tahun 1997 [3].

Pembagian magnet menjadi lunak dan keras didasarkan pada nilai induksi remanen dan koersifitas [4]. Magnet lunak memiliki nilai induksi remanen dan koersifitas mendekati nol atau sangat rendah. Magnet lunak digunakan dengan cara memberi arus untuk memagnetisasi material, koersifitas yang mendekati nol tersebut akan berefek pada kehilangan energi per siklus (magnetisasi dan demagnetisasi) minimum. Magnet keras memiliki nilai induksi remanen dan koersifitas yang sama-sama besar. Perbedaan antara magnet keras dan lunak juga dapat dilihat pada bentuk kurva histeresis, magnet keras akan menghasilkan luas area kurva yang jauh lebih besar dibandingkan dengan magnet lunak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

* Corresponding Author.

Email: ardi012@lipi.go.id

Received: April 13, 2015; Revised: April 24, 2015

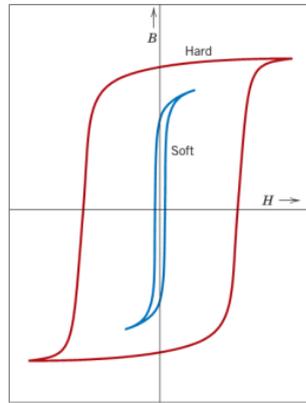
Accepted: April 30, 2015

Published: June 30, 2015

© 2015 PPET - LIPI

doi : 10.14203/jet.v15.14-17

Dapat dilihat magnet keras memiliki H yang jauh lebih lebar dibandingkan dengan magnet lunak yang menunjukkan koersifitas magnet keras lebih besar. Namun, selain yang terpampang pada contoh kurva histeresis Gambar 1, nilai induksi maksimum (pada sumbu B) dari magnet lunak dapat lebih besar dibandingkan dengan magnet keras.



Gambar 1. Kurva Histeresis Magnet Lunak (*Soft*) dan Magnet Keras (*Hard*) [5].

Parameter sifat magnetik yang paling menentukan dari magnet keras adalah induksi remanen, karena penggunaan magnet keras tidak menggunakan arus listrik ketika diaplikasikan (atau nilai H nol). Sedangkan magnet lunak menggunakan arus listrik pada penggunaannya, sehingga magnetisasi maksimum atau induksi maksimum lebih mempengaruhi performa magnet daripada induksi remanen.

Pabrikasi magnet ferit secara komersial menggunakan metode metalurgi serbuk dengan bahan baku utama hematit (α Fe₂O₃), dengan tambahan senyawa penyusun kation dan aditif. Metode yang digunakan untuk membuat ferit sudah sangat berkembang khususnya metode dalam pabrikasi menggunakan partikel nano seperti *co-precipitation* [6], *mechanical alloying* [7], *sonochemical reaction* [8], *microwave plasma* [9], metode hidrotermal [10], metode sol-gel [11], dan metode emulsi mikro [12].

Limbah pengelasan memiliki unsur utama Fe dalam bentuk oksida, di mana Fe teroksidasi pada suhu tinggi ketika proses pengelasan. Konten oksida Fe yang tinggi ini memiliki potensi untuk dijadikan bahan baku pembuatan magnet. Tingkat oksidasi limbah pengelasan harus diketahui untuk menentukan apakah dibutuhkan oksidasi lebih lanjut. Penelitian mengenai limbah pengelasan sebagai bahan baku pembuatan magnet belum banyak dilakukan. Limbah pengelasan sendiri memiliki banyak jenis sesuai dengan metode las dan kawat las yang digunakan, sehingga komposisi penyusunnya pun bervariasi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat magnetik dari magnet keras dan magnet lunak yang dihasilkan dari pabrikasi menggunakan limbah pengelasan sebagai bahan baku dengan pemanggangan sebagai persiapan bahan baku.

II. MATERIAL DAN METODE

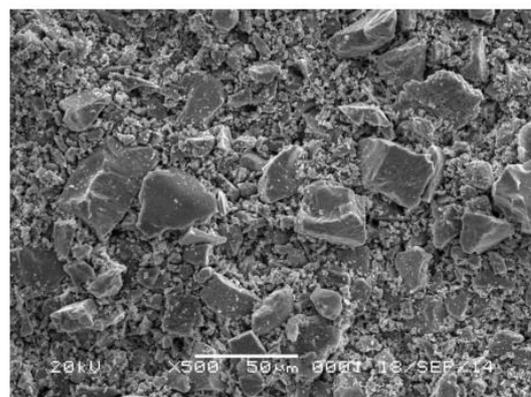
Penelitian ini menggunakan metode metalurgi serbuk untuk membuat magnet. Pembuatan magnet

diawali dengan penggilingan limbah pengelasan selama 6 jam untuk menghaluskannya menjadi serbuk. Serbuk hasil penggilingan lalu di karakterisasi menggunakan SEM - EDS (*scanning electron microscopy - energy dispersive spectrometry*) untuk mengetahui unsur yang terdapat pada limbah pengelasan. Serbuk limbah pengelasan dipanggang pada temperatur 560 °C selama 1 jam dengan tambahan oksigen sebesar 3mL/menit untuk mengoksidasi serbuk. Karakterisasi XRD (*x-ray diffraction*) dan analisis Rietveld dilakukan untuk mengetahui jenis fase besi oksida yang terbentuk dan perbandingan massanya, sebelum dan setelah pemanggangan.

Perhitungan stoikiometri bahan baku yang digunakan pada penelitian ini didasarkan pada rumus kimia Mn_{0,8}Zn_{0,2}Fe₂O₄ dan BaFe₁₂O₁₉. Untuk MnZn ferit, pencampuran dilakukan dengan menambahkan MnCO₃ dan ZnO, sedangkan untuk barium ferit ditambahkan senyawa BaCO₃. Pencampuran dilakukan melalui penggilingan menggunakan *ball mill* selama 8 jam dengan media alkohol. Setelah dikeringkan, kedua campuran ini dikalsinasi pada suhu 1200 °C selama 3 jam. Selanjutnya dilakukan penambahan aditif CaO dan SiO₂ melalui penggilingan 16 jam dengan penambahan PVA (polivinil alkohol) pada 8 jam terakhir penggilingan. Setelah kering, kompaksi dilakukan dengan menggunakan beban 1500 kg/cm². Proses sintering dilakukan pada temperatur 1250 °C selama 1 jam. Karakterisasi sifat magnetik dilakukan menggunakan alat Permagraph untuk mendapatkan nilai induksi remanen dan koersifitas.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 merupakan gambar SEM area pasir besi yang dideteksi oleh EDX, dengan komposisi hasil pada Tabel 1. Penyusun utama dari limbah pengelasan adalah unsur Fe, O, Al, dan Bi. Kolom 3 pada Tabel 1 menampilkan *error* atau kemungkinan kesalahan pengukuran Bi sebesar 3,52% melebihi presentase yang terukur yaitu 2,25%, menunjukkan keberadaan unsur Bi memiliki derajat ketidakpastian yang tinggi. Al merupakan unsur yang terdapat pada jenis limbah pengelasan yang digunakan. Dapat dilihat konten dari Fe sebesar 68,36% berat dengan unsur O sebesar 24,34% menunjukkan keberadaan Fe pada limbah pengelasan berada dalam bentuk oksida.



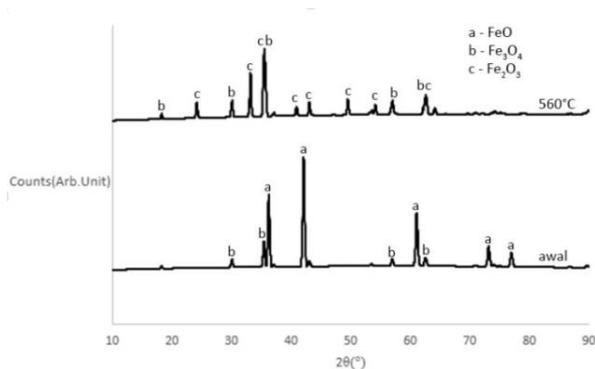
Limbah Las SEM 500x eds ox

Gambar 2. Area Pengujian EDS Limbah Pengelasan.

TABEL 1
KOMPOSISI LIMBAH PENGLASAN

Unsur	Komposisi (% berat)	Error (% berat)
Fe	68,36	2,85
O	24,34	-
Al	5,05	1,96
Bi	2,25	3,52

Pada Gambar 3 dapat dilihat perubahan puncak (*peak*) pada sebelum dan sesudah pemanggangan. Kurva XRD menunjukkan bahwa Fe pada limbah pengelasan terdapat dalam bentuk oksida. Puncak-puncak hematit tidak terlihat, hanya fase magnetit (Fe_3O_4) b dan wustite (FeO) a yang terlihat. Setelah dilakukan pemanggangan, dapat diamati puncak dari hematit ($\alpha \text{Fe}_2\text{O}_3$) c dengan masih ada puncak-puncak magnetit b.



Gambar 3. Kurva XRD Sebelum dan Sesudah Pemanggangan.

TABEL 2
HASIL ANALISIS RIETVELD SEBELUM DAN SESUDAH PEMANGGANGAN

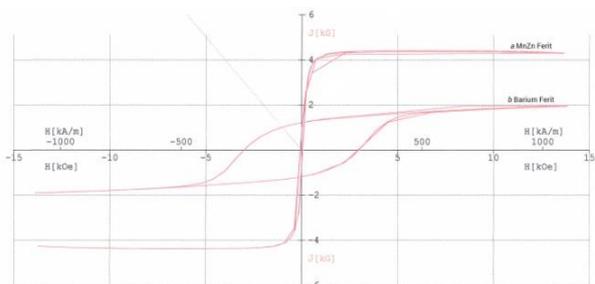
	Persentase Berat (%)		
	FeO	Fe_3O_4	Fe_2O_3
Limbah awal	82	18	-
Setelah Pemanggangan	-	26,6	73,4

Unsur oksigen yang terukur oleh EDS sebagian besar merupakan anion dari besi oksida yang juga ditunjukkan dengan hasil XRD. Pada kurva XRD, senyawa yang melibatkan Al berada dalam jumlah yang kecil sehingga kemungkinan tersamar pada *background noise* pada kurva XRD. Oleh karena itu, perhitungan pada Tabel 2 didasarkan pada puncak yang terdeteksi XRD sehingga pengotor Al dan Bi tidak masuk ke dalam perhitungan.

Analisis Rietveld pada Tabel 2 menunjukkan limbah pengelasan memiliki senyawa utama wustit (FeO) sebesar 82 % dengan presentasi magnetit 18 % dari total berat. Hal ini menunjukkan dibutuhkan dua proses oksidasi yaitu untuk mengoksidasi FeO menjadi Fe_3O_4 lalu menjadi Fe_2O_3 .

Penggunaan temperatur dan waktu oksidasi yang digunakan masih belum dapat mengoksidasi magnetit dan wustit secara penuh. Oksidasi wustit dan magnetit merupakan reaksi yang terkontrol oleh difusi dari oksigen dalam bentuk gas, dan laju difusi akan diperlambat oleh meningkatnya ketebalan dari lapisan yang teroksidasi [13]. Oksidasi pada temperatur 560 °C selama 1 jam sudah dapat menghasilkan hematit sebesar 73,4%, dibutuhkan waktu tambahan untuk menghasilkan hematit dengan kadar mendekati 100%.

Proses oksidasi pada besi menciptakan struktur lapisan dengan bilangan oksida tertinggi berada di permukaan dan bilangan oksidasi terendah berada di tengah [14]. Hal ini berkaitan dengan difusi oksigen yang berasal dari atmosfer atau gas lalu berpenetrasi ke permukaan dan berdifusi menuju ke tengah. Pada hasil XRD, hal ini terlihat pada keberadaan fasa, pada limbah pengelasan terdapat FeO dengan bilangan oksidasi Fe^{2+} dan Fe_3O_4 dengan bilangan oksidasi Fe^{2+} dan Fe^{3+} . Setelah pemanggangan terdapat dua lapisan yaitu Fe_3O_4 dan Fe_2O_3 dengan bilangan oksidasi Fe^{3+} . Jika dilihat dari rasio fasa, FeO yang berada pada bagian yang lebih dalam sudah teroksidasi menjadi Fe_3O_4 dan Fe_2O_3 , namun kemungkinan magnetit yang berada pada bagian dalam tidak teroksidasi lebih lanjut. Keberadaan fasa magnetit ini dapat mempengaruhi reaksi pembentukan senyawa magnetik.



Gambar 4. Kurva Histeresis dari MnZn Ferit dan Barium Ferit dari Limbah Pengelasan.

TABEL 3
SIFAT MAGNETIK DARI MNZN FERIT DAN BARIUM FERIT DARI LIMBAH PENGLASAN

	Induksi Remanen (kG)	Koersifitas (kOe)
MnZn ferit	0,83	0,084
Barium ferit	1,22	2,996

Pada Gambar 4 terdapat 2 kurva yaitu kurva a yang merupakan kurva histeresis dari MnZn ferit dan kurva b yaitu kurva histeresis dari barium ferit. Kurva a MnZn ferit yang merupakan magnet lunak memiliki bentuk yang ramping dan memiliki area di dalam kurva yang sempit sedangkan kurva b menunjukkan area dalam kurva yang luas yang merupakan ciri magnet keras. Gambar 4 menunjukkan kurva histeresis yang menyerupai Gambar 1.

Koersifitas dari barium ferit = 2,996 kOe, lebih tinggi dibandingkan koersifitas MnZn ferit = 0,084 kOe, sesuai dengan kategori magnet keras yang memiliki koersifitas yang besar dan magnet lunak yang memiliki koersifitas mendekati nol. Dari kurva a dapat dilihat bahwa induksi maksimum dari MnZn ferit sekitar 4 kG pada $H = 0,550$ kOe. Induksi remanen dari barium ferit yang dihasilkan sebesar 1,22 kG masih lebih rendah namun mendekati, dibanding dengan magnet ferit komersial dengan induksi remanen 1,725 - 4,3 kG [15].

Riset lebih lanjut dibutuhkan untuk meningkatkan sifat magnetik dari magnet yang dibuat dari limbah pengelasan. Konten hematit perlu ditingkatkan lebih tinggi dari yang dihasilkan pada penelitian kali ini, serta perlu diketahui pengaruh Al terhadap sifat magnetik dari MnZn ferit dan barium ferit.

KESIMPULAN

Pabrikasi magnet dari limbah pengelasan menggunakan metode metalurgi serbuk didahului dengan oksidasi limbah pengelasan pada suhu 560 °C selama 1 jam menghasilkan induksi remanen dan koersifitas dari magnet MnZn ferit masing-masing sebesar 0,83kG dan 0,084 kOe, sedangkan untuk barium ferit masing-masing sebesar 1,22 kG dan 2,996 kOe. Oksidasi limbah pada suhu 560 °C selama 1 jam masih tidak dapat mengoksidasi penuh wustit dan magnetit menjadi hematit, hematit yang terbentuk sebesar 73,4% dengan magnetit sebesar 26,6%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PPET LIPI atas fasilitas yang telah digunakan dalam penelitian ini dan DIPA Tematik atas pendanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Kanazawa, N. Takahashi, and T. Kubo, "Measurement and analysis of AC loss of NdFeB sintered magnet", *Electrical Engineering in Japan*, vol. 154 (4), pp. 8-15, 2006.
- [2] J. G. Lee, J. H. Kim, and K. P. Chae, "Crystallographic and magnetic properties of Zn-Mn ferrite", *Journal of the Korean Physical Society*, vol. 49 (2), pp. 604-607, 2006.
- [3] The Ceramic Society of Japan, "Automobile engines and car electronics", in *Advanced Ceramic Technologies and Product*, 1st ed, Y. Imanaka, Tokyo, Japan: Springer Japan, 2012, p. 301.
- [4] P. S. Neelakanta, *Handbook of Electromagnetic Materials: Monolithic and Composite Versions and Their Applications*, 1st ed., Florida, United States of America: CRC Press, 1995, p. 347.
- [5] W. D. Callister Jr., *Material Science and Engineering: An Introduction*, 7th ed., United States of America: John Wiley & Sons, Inc., 2007, w39.
- [6] A. Ataie, S. Heshmati-Manesh, and H. Kazempour, "Synthesis of barium hexaferrite by the co-precipitation method using acetate precursor", *Journal of Material Science*, vol. 37 (10), pp. 2125-2128, 2002.
- [7] J. Ding, P. G. McCormick, and R. Street, "Formation of spinel Mn-ferrite during mechanical alloying", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 171(3), pp. 309-314, 1997.
- [8] K. V. P. M. Shafi, A. Gedanken, R. Prozorov, and J. Balogh, "Sonochemical preparation and size-dependent properties of nanostructured CoFe₂O₄ particles", *Chemistry of Materials*, vol. 10 (11), pp. 3445-3450, 1998.
- [9] Y. P. Fu, K. Y. Pan, and C. H. Lin, "Microwave-induced combustion synthesis of Ni_{0.25}Cu_{0.25}Zn_{0.5} ferrite powders and their characterizations", *Material Letters*, vol. 57 (2), pp. 291-296, 2002.
- [10] K. Nejadi and R. Zabihi, "Preparation and magnetic properties of nano size nickel ferrite particles using hydrothermal method", *Chemistry Central Journal*, vol. 6 (no. 23), pp. 1-6, 2012.
- [11] Y. Y. Meng, M. H. He, Q. Zeng, D. L. Jiao, S. Shukla, and R. V Ramanujan, Z. W. Liu, "Synthesis of barium ferrite ultrafine powders by a sol-gel combustion method using glycine gels", *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 583, pp. 220-225, 2014.
- [12] A. Kosak, D. Makovec, A. Znidarsic, and M. Drogenik, "Preparation of MnZn-ferrite with microemulsion technique", *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 24 (6), pp. 959-962, 2004.
- [13] E. R. Monazam, R. W. Breault, and R. Siriwardane, "Kinetics of magnetite (Fe₃O₄) oxidation to hematite (Fe₂O₃) in air for chemical looping combustion", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 53 (34), pp. 13320-13328, 2014.
- [14] R. Y. Chen and W. Y. D. Yuen, "Oxide-scale structures formed on commercial hot-rolled steel strip and their formation mechanism", *Oxidation of Metals*, vol. 56, pp. 89-118, 2001.
- [15] (2015). The integrated magnetics website. [Online]. Available: [http://www.intemag.com/magnetic_properties.html#Ferrite_\(Ceramic\)_-_Magnetic_Properties](http://www.intemag.com/magnetic_properties.html#Ferrite_(Ceramic)_-_Magnetic_Properties).