

PENINGKATAN KOERSIVITAS MAGNET PERMANEN TIPE $Nd_2Fe_{14}B$ DENGAN METODA PERLAKUAN PANAS

COERCIVITY ENHANCEMENT OF $Nd_2Fe_{14}B$ -TYPE PERMANENT MAGNET BY HEAT TREATMENT METHOD

Sri Bimo Pratomo¹, Dagus Remana Djuanda¹, Prima Rizki Nurqiat², Muhammad Nauval Fauzi^{1*},
Eva Afrilinda¹

¹Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM), Kementerian Perindustrian
Jalan Sangkuriang No.12 Bandung 40135-Indonesia

²Universitas Jenderal Achmad Yani-Bandung

Diterima: 16 Januari 2019

Direvisi: 7 Februari 2019

Disetujui: 5 Maret 2019

ABSTRAK

Magnet permanen tipe $Nd_2Fe_{14}B$ banyak digunakan sebagai komponen pada motor dan generator listrik. Dalam aplikasi tersebut, magnet permanen terkena beban panas akibat terjadinya induksi, yang mengakibatkan terjadinya penurunan koersivitasnya. Oleh karena itu dibutuhkan cara untuk mendapatkan magnet permanen yang memiliki nilai koersivitas tinggi agar masih dapat bekerja pada lingkungan bertemperatur tinggi. Penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan koersivitas magnet permanen tipe $Nd_2Fe_{14}B$ dengan metode perlakuan panas. Proses perlakuan panas pada sampel dilakukan dengan cara memvariasikan temperatur di dalam *vacuum furnace* dan ditahan selama 2 jam, dilanjutkan dengan *normalizing*. Sampel tersebut kemudian dikarakterisasi dengan *Permagraph*, *XRD* dan *SEM*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perlakuan panas pada temperatur 850°C dapat meningkatkan koersivitas magnet permanen tipe $Nd_2Fe_{14}B$ sampai dengan 41,6% dari 13,7 kOe menjadi 19,00 kOe. Kenaikan ini sebagai akibat dari adanya pemisahan antar butiran $Nd_2Fe_{14}B$ setelah perlakuan panas dengan penyebaran *Nd-rich phase* yang lebih merata di batas butirnya.

Kata kunci: Perlakuan panas, magnet permanen $Nd_2Fe_{14}B$, koersivitas, *Nd-rich phase*

ABSTRACT

Nd₂Fe₁₄B-type permanent magnet are widely used as components in electric motors and generators. In such applications, permanent magnets are exposed to heat loads due to induction, which results decreased in coercivity. Therefore it is needed to obtain permanent magnets that have high coercivity values so that they can still work in high temperature environments. This research was conducted to increase the coercivity of permanent magnet type *Nd₂Fe₁₄B* by heat treatment method. The heat treatment temperature was varied for samples in the vacuum furnace and was held for 2 hours and continued with normalizing. The sample was then characterized by *Permagraph*, *XRD* and *SEM*. The test results showed that heat treatment with a temperature of 850°C increased the coercivity of permanent magnet type *Nd₂Fe₁₄B* up to 41.6% from 13.7 kOe to 19.00 kOe. This was due to *Nd₂Fe₁₄B* grains separation after heat treatment with a more even distribution of *Nd-rich phase* in the grain boundaries.

Keywords: Heat treatment, *Nd₂Fe₁₄B* permanent magnet, coercivity, *Nd-rich phase*

PENDAHULUAN

Salah satu magnet permanen yang dapat menghasilkan energi tinggi adalah tipe *Rare Earth Permanent Magnet (REPM)* $Nd_2Fe_{14}B$ (*Neodymium Iron Boron*) yang dapat menghasilkan energi hingga 50 MGO, memiliki

struktur kristal tetragonal dengan magnetik saturasi hingga 1,6T. *Nd-Fe-B* menunjukkan sifat magnetik yang sangat baik dan saat ini banyak digunakan untuk berbagai aplikasi seperti motor traksi kendaraan listrik (listrik hibrida), generator dan juga transformer. Material permanen magnet ini dapat memiliki sifat magnetik karena adanya

*Corresponding author :

Email: nauval911@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.37209/jtbbt.v9i1.111>

butiran fasa $Nd_2Fe_{14}B$, dan fasa *Nd-rich*, *Boron-rich* serta oksida pada batas butirnya. [1, 2, 3].

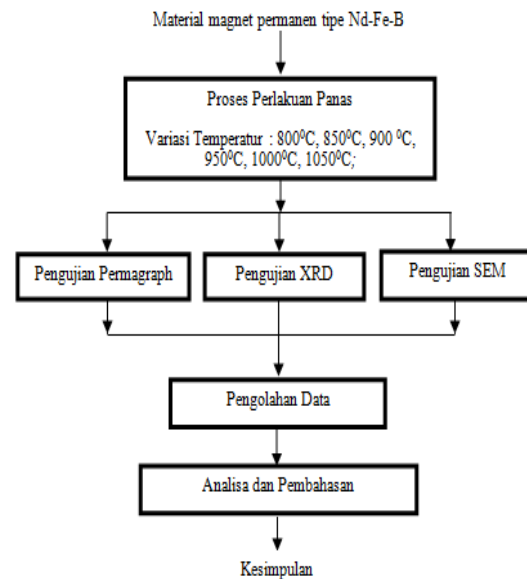
Besarnya koersivitas dan remanensi permanen magnet dipengaruhi oleh ukuran butiran (*grain size*) dari fasa $Nd_2Fe_{14}B$ dan komposisi batas butir tersebut, serta parameter lainnya adalah Temperatur Curie (T_c) yaitu temperatur ketika magnet tersebut kehilangan sifat magnetnya jika dioperasikan di bawah temperatur tersebut. $Nd_2Fe_{14}B$ memiliki temperatur Curie yang rendah ($312^\circ C$) hal ini yang menyebabkan magnet permanen dengan tipe $Nd_2Fe_{14}B$ tidak dapat diaplikasikan dan tidak dapat diterapkan di banyak bidang potensial yang membutuhkan temperatur operasi di atas $150^\circ C$ [4, 5, 6, 7, 8, 14].

Pada dasarnya ada dua kemungkinan untuk meningkatkan koersivitas pada temperatur tinggi, baik meningkatkan ketergantungan temperatur intrinsik dari bahan atau mengembangkan koersivitas yang cukup pada temperatur kamar untuk menjamin koersivitas tetap stabil pada temperatur tinggi. Proses perlakuan panas merupakan salah satu metoda untuk meningkatkan nilai koersivitas pada suhu kamar [15].

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan nilai koersivitas magnet permanen tipe $Nd_2Fe_{14}B$ dengan metode perlakuan panas, serta menganalisis pembentukan fasanya [7,9,13].

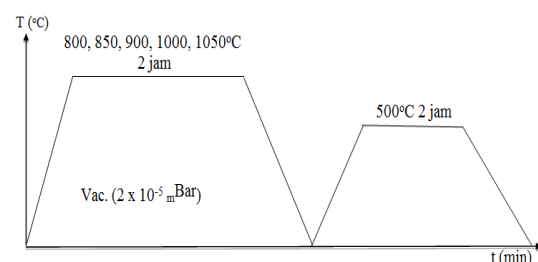
BAHAN DAN METODE

Diagram alir proses penelitian disajikan pada Gambar 1. Bahan yang digunakan adalah magnet permanen tipe Nd-Fe-B. Variasi temperatur pada proses perlakuan panas dalam penelitian ini yaitu 800, 850, 900, 950, 1000 dan $1050^\circ C$. Temperatur ditahan selama 2 jam kemudian didinginkan dengan kipas (*normalizing*), dilanjutkan dengan *tempering* pada temperatur $500^\circ C$, selanjutnya pendinginan kembali menggunakan kipas.



Gambar 1. Diagram Alir Proses Penelitian

Skema proses perlakuan panas terhadap material $Nd_2Fe_{14}B$ dapat dilihat pada Gambar 2.



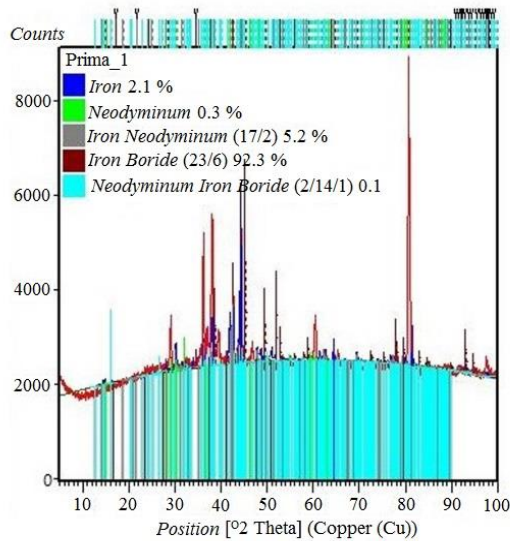
Gambar 2. Skema Tahapan Perlakuan Panas

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan sampel magnet permanen tipe $Nd_2Fe_{14}B$ dengan komposisi yang ditunjukkan pada Tabel 1. Data hasil *permagraph* menunjukkan nilai koersivitas inisial sebesar 13,7 kOe.

Tabel 1. Data Komposisi Material Magnet Permanen Tipe $Nd_2Fe_{14}B$

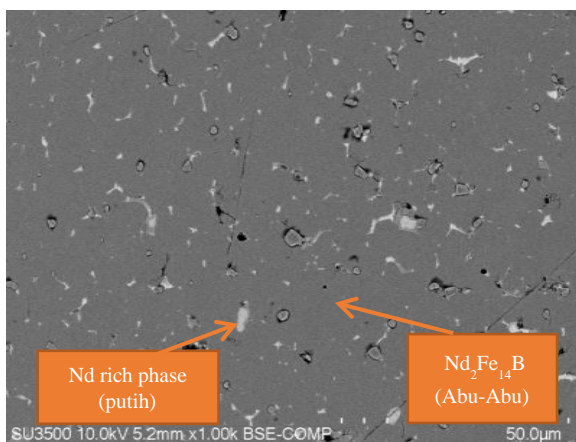
No.	Unsur	wt (%)
1	Nd (<i>Neodymium</i>)	28,07
2	Fe (<i>Iron</i>)	70,2
3	B (<i>Boron</i>)	1,1
4	Nb (<i>Neobium</i>)	0,3
5	Ga (<i>Galium</i>)	0,33



Gambar 3. Fasa Sampel Inisial

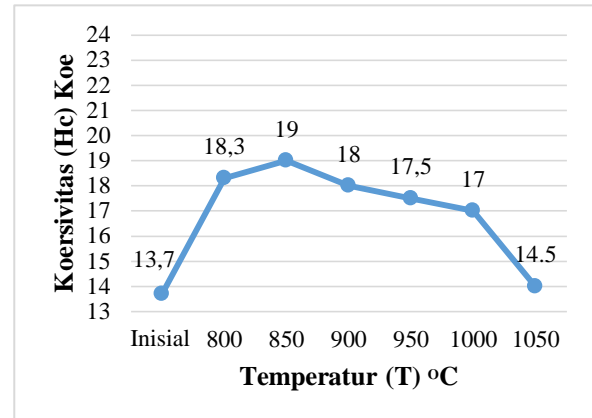
Hasil pengujian dengan menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*, menunjukkan fasa yang terdapat pada sampel inisial seperti ditunjukkan pada Gambar 3 adalah: Fe 2,1%, Nd 0,3%, $Fe_{17}Nd_2$ 5,2% dan $Fe_{23}B_6$ (iron boride) 92,3%, $Nd_2Fe_{14}B$ (neodymium iron boron) 0,1%. Hasil perhitungan kumulatif *Nd rich phase* (Fe + Nd) adalah 2,4% dan $Nd_2Fe_{14}B$ (FeNd + FeB + NdFeB) adalah 97,6%.

Struktur mikro dari sampel inisial diamati dengan alat *Backscattered Electrons (BSE)-SEM* dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4. Fasa $Nd_2Fe_{14}B$ berwarna abu-abu yang terdapat pada *based metal*, dengan penyebaran yang belum merata dan terdapat *Nd rich phase* berwarna putih namun kurang jelas dan penyebarannya pun tidak begitu banyak.



Gambar 4. Struktur Mikro Sampel Inisial

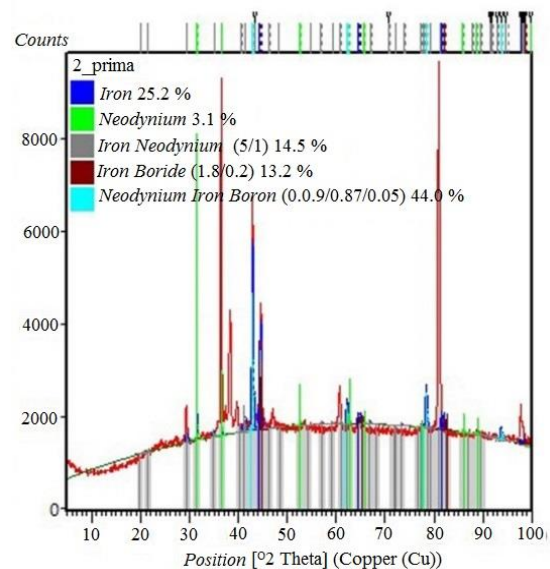
Setelah proses perlakuan panas, terjadi kenaikan nilai koersivitas yang nilainya dapat dilihat pada Gambar 5. Proses perlakuan panas pada temperatur 850°C, menghasilkan koersivitas dengan nilai paling tinggi, yaitu 19,00 kOe.



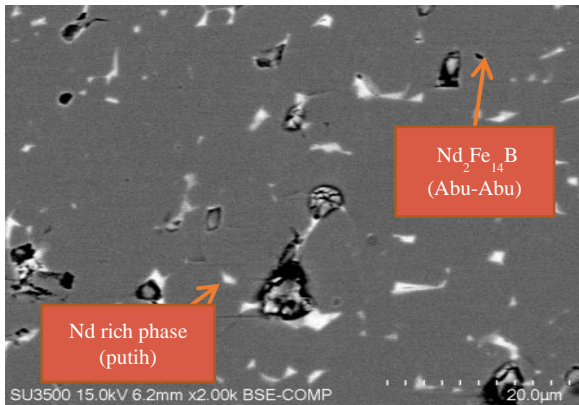
Gambar 5. Grafik Pengaruh Perlakuan Panas terhadap Kenaikan Koersivitas

Hasil pengujian sampel dengan *X-Ray Diffraction (XRD)* setelah proses perlakuan panas pada temperatur 850°C ditunjukkan pada Gambar 6, yaitu iron (Fe) 25,2%, neodymium (Nd) 3,1%, iron neodymium ($Fe_{17}Nd_2$) 14,5% dan iron boride ($Fe_{23}B_6$) 13,2%, neodymium iron boron (NdFeB) 44%.

Dengan demikian nilai perbandingan dari hasil keseluruhan *Nd rich phase* (Fe + Nd) dan $Nd_2Fe_{14}B$ (FeNd + FeB + NdFeB) adalah 28,3% : 71,7%.



Gambar 6. Data XRD Sampel Setelah Perlakuan Panas pada Temperatur 850°C



Gambar 7. Struktur Mikro Sampel Setelah Perlakuan Panas pada Temperatur 850°C

Pemeriksaan struktur mikro dengan menggunakan alat *Backscattered Electrons (BSE-SEM)* menunjukkan morfologi pertumbuhan *Nd rich phase* yang berwarna putih dengan penyebaran yang merata, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Dengan demikian gambar batas butir antara butiran $Nd_2Fe_{14}B$ semakin jelas, terjadi pemisahan secara magnetik antar butir. Temperatur 850°C merupakan temperatur *semi solid* untuk Nd yang menghasilkan mekanisme difusi terhadap $Nd_2Fe_{14}B$ di batas butir yang mengakibatkan jarak antar butiran $Nd_2Fe_{14}B$ lebih jauh jika dibandingkan antara sampel inisial dengan sampel setelah perlakuan panas pada temperatur 850°C. Hal ini menunjukkan bahwa jarak antar butir akan berpengaruh terhadap nilai koersivitas [5,9].

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa temperatur 850°C menghasilkan nilai koersivitas yang optimum sebesar 19,00 kOe dengan nilai perbandingan kandungan fasa *Nd rich* dan $Nd_2Fe_{14}B$ adalah 28,3% : 71,7%. Peningkatan koersivitas ini disebabkan oleh terjadinya penyebaran dan penebalan *Nd rich phase* akibat difusi Nd yang memisahkan butiran $Nd_2Fe_{14}B$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada: Dr. Shinta Virdhian, S.T., M.Sc yang telah banyak memberikan motivasi, kesempatan dan sumbangan pikirannya serta semua pihak pada umumnya yang telah membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J.D Livingstone., “Workshop on Rare Earth Magnets and Their Applications edited by K.J Strnat”., *In Proceedings of 8th International, Published by University of Dayton.*, Ohio: p423-440, 1985.
- [2] Rezende, Cardoso, D.Hamric., “Rare-Earth Metal Long Term Air Exposure Test”. *Metallium Inc.* Accessed on 30 March 2018. From https://www.elementsales.com/re_exp/
- [3] Aryanto., N.C.J Widodo., Raharjo P., “Keterkaitan Unsur Tanah Jarang Terhadap Mineral Berat Ilmenit dan Rutil Perairan Pantai Gundi”., *Bangka. Jurnal Geologi Kelautan.* Volume 1., No. 2, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.32693/jgk.1.2.2003.95>.
- [4] Angelo P.C., Subramanian R., “Technology and Applications Powder”., *Metallurgy: Science, New Delhi: Published by Prentice-Hall of India Pvt. Ltd.*, p295-318., 2008.
- [5] Azwar M. “Magnet Permanen Berbasis $Nd_2Fe_{14}B$ ”., *Dalam Prosiding Seminar Nasional Bahan Magnet I.* Serpong., Hal 5-12, 2000.
- [6] J.F Herbst, W.B Yelon., “Preferential Site Occupation and Magnetic Structure of $Nd_2 (CO_xFe_{1-x})_{14}B$ Systems”. *Journal Applied Physics.* Vol. 60, p4224, 1986. DOI :<https://doi.org/10.1063/1.337511>.
- [7] P. Sardjono, W.A Adi, P. Sebayang, M. Muljadi., “Analisis Fasa dan Sifat Magnetik pada Komposit $BaFe_{12}O_{19}/Nd_2Fe_{14}B$ Hasil Mechanical Milling”., *Indonesian Journal of Materials Science.* Vol 13. No. 2., 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.17146/jsmi.2012.13.2.4721>.
- [8] S. Puneet. R.A. Rocha, S.N de Modeiros, A. Paesano, B. Hallauche., “Structural Mossbauer and Magnetic

- Studied on Mn substituted Barium Hexaferites Prepared by High Energy Ball Milling”. *Proceedings of the 10th Latin American Conference on the Application of Mossbauer Effect (2008)*., Brazil: LACAME. p77-84., 2006.
DOI: 10.1007/978-3-540-85559-0_12.
- [9] Kusharjanto., “Perlakuan Panas dan Metalografi”., *Laboratoria Metalurgi, Penerbit Universitas Jendral Ahmad Yani.*, Bandung ,1998.
- [10] C. R. Hammond., “The Elements in Handbook of Chemistry and Physics”., *81st edition*. Boca Raton : CRC press. p4.1 – 4.34., 2000.
- [11] K.T Rim, K.H Koo, J.S Park., “Toxicological Evaluations of Rare Earth and Their Health Impacts to Workers”., *Safe Health Work Journal*. Vol 4. No. 1. p12-26., 2013.
- [12] W. Callister, D. Rethwisch., “Materials Science and Engineering: An Introduction. 6th ed”., Department of Metallurgical Engineering. University of Utah : *Published by John Wiley & Sons Inc.* p312-320., 2017.
- [13] O. R. Adetunji, P. O. Aiyedun, S. O. Ismaila., and M. J. Alao., “Effect of Normalizing and Hardening on Mechanical Properties of Spring”., *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering.*, Vol. 11. Published August 2012., p832-835., 2012.
- [14] Michael Weickhmann., “Nd₂Fe₁₄B Magnets Properties and Application”., KG Hanau., Germany Revised, *Vacuum Schmelze GmbH & Co.*, 13-03-2009.
- [15] F. Vial., F. Joly., E. Nevalainen., M. Sagawa., K. Hiraga., K.T. Park., “Improvement of Coercivity of Sintered NdFeB Permanent Magnets by Heat Treatment”. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. Vol 242-245. Part 2. P1329-1334., 2002.
DOI : [https://doi.org/10.1016/S0304-8853\(01\)00967-2](https://doi.org/10.1016/S0304-8853(01)00967-2)

