



## PEMBUATAN PADUAN NdFeB UNTUK APLIKASI BAHAN BAKU MAGNET PERMANEN

### *NdFeB ALLOYS MAKING FOR PERMANENT MAGNET RAW MATERIALS APPLICATIONS*

**Shinta Virhdian<sup>1</sup>, Djoko Hadi Prayitno<sup>2</sup>, Sina Jamilah<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Balai Besar Logam dan Mesin, Kementerian Perindustrian  
Jl. Sangkuriang No. 12 Bandung 40135

<sup>2</sup> Pusat Sains dan Teknologi Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional,  
Jalan Taman Sari No.7 Bandung - Jawa Barat  
Email: shinta\_va@yahoo.com

#### **Abstrak**

Penggunaan magnet NdFeB menjadi semakin luas seiring dengan makin tingginya kesadaran tentang pemanasan global. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan proses pembuatan paduan logam tanah jarang yang dapat digunakan sebagai bahan baku magnet permanen serta memperoleh serbuk paduan logam tanah jarang dengan sifat magnetik yang baik. Dalam penelitian ini dilakukan metode *casting-powder* metalurgi. Proses peleburan dengan menggunakan *Argon Arc Melting Furnace* dapat menghasilkan *ingot* yang cukup homogen, hanya saja faktor *loss* dari logam-logam yang dilebur harus diperhitungkan sehingga komposisi yang didapatkan sesuai dengan yang diinginkan. Persentase fasa magnetik dari paduan yang dihasilkan sudah mendekati paduan komersial (> 80 %). Proses *Annealing* dapat meningkatkan jumlah fasa magnetik dalam paduan NdFeB. Penambahan *zircon* dalam paduan NdFeB dapat meningkatkan kestabilan fasa  $Nd_2Fe_{14}B$  sehingga tidak diperlukan proses perlakuan panas untuk meningkatkan sifat magnetik. Sifat magnetik yang masih rendah harus ditingkatkan dengan memperbaiki kondisi operasi (vakum atau gas *inert*).

Kata kunci: logam tanah jarang, magnet permanen, NdFeB,

#### **Abstract**

*The used of NdFeB magnets become wider along with the higher awareness of global warming. This research aims to develop rare earth metal making process that can be used as raw material of permanent magnet, and obtain rare earth metal powder with good magnetic properties. This research was conducted casting-powder metallurgy method. Melting process using Argon Arc Melting Furnace can produce ingot fairly homogenous, but loss factor from melting metals have to be calculated so that the composition obtained in accordance with expected. Magnetic phrase percentage of the resulting alloy is approaching commercial alloys (> 80 %). Annealing process can increase magnetic phrase in NdFeB alloy. The addition of zircon in NdFeB alloy can improve  $Nd_2Fe_{14}B$  phase stability so it is not necessary to perform heat treatment process to improve magnetic properties. Magnetic properties that still low have to be improved by improve the operation conditions (vacuum or inert gas).*

Keywords: rare earth metal, permanent magnet, NdFeB

#### **PENDAHULUAN**

Logam Tanah Jarang (LTJ) atau dikenal dengan istilah *rare earth* merupakan salah satu sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui dan mineral langka yang banyak digunakan sebagai bahan dasar utama dalam industri elektronik

dan industri militer. Dalam sistem periodik unsur, kelompok logam tanah jarang merupakan kelompok lantanida yang memiliki anggota 14 unsur yaitu: La-Ce-Pr-Nd-Pm-Sm-Eu-Gd-Tb-Dy-Ho-Tr-Tm-Yb-Lu. Logam grup

lain yang sering berasosiasi dalam mineral yang sama adalah Sc-Y.

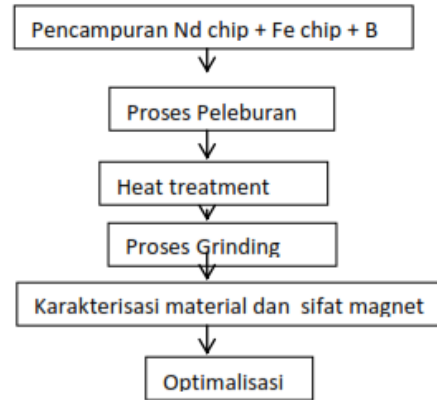
Pada saat ini, kendaraan listrik dan hibrid mendapatkan banyak perhatian berkaitan dengan pengurangan penggunaan bahan bakar fosil. Kedua jenis kendaraan ini menggunakan listrik yang memerlukan *permanent magnet* atau *generator*. Dibandingkan dengan magnet permanen konvensional, magnet permanen yang mengandung logam tanah jarang memiliki sifat magnet yang lebih baik yaitu koersiviti, *remanence*, dan nilai maksimum energi produk (Matsuura, 2006). *Neodymium* adalah unsur logam tanah jarang yang banyak digunakan untuk aplikasi magnet. *Neodymium* diprediksi akan mendominasi dalam industri magnet di masa depan. Dua alasan utama penggunaan *Neodymium* secara luas dalam industri magnet adalah ketersediaannya yang relatif banyak dan sifat magnetiknya yang superior. NdB, salah satu jenis magnet logam tanah jarang, digunakan secara luas dalam bidang motor industri.

Penggunaan magnet NdFeB menjadi semakin luas seiring dengan semakin tingginya kesadaran tentang pemanasan global. Di masa mendatang penggunaan NdFeB semakin meluas ke peralatan seperti mesin cuci, pendingin dan lain-lain yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi energi dan konservasi energi. *Market* yang paling potensial adalah untuk aplikasi otomotif sehingga dapat mengurangi berat, keselamatan dan kenyamanan.

Kegiatan ini bertujuan untuk mengembangkan proses pembuatan paduan logam tanah jarang untuk bahan baku magnet permanen dan memperoleh serbuk paduan logam tanah jarang dengan sifat magnetik yang baik. Dengan demikian, diharapkan dapat meningkatkan nilai tambah sumber daya alam mineral yang terdapat di Indonesia. Penguasaan teknologi pemrosesan logam tanah jarang diharapkan juga dapat menjadi pendukung pengembangan teknologi maju di Indonesia.

### METODOLOGI

Pada penelitian ini dilakukan proses peleburan dan pemaduan logam tanah jarang untuk aplikasi permanen magnet. Proses pembuatan paduan menggunakan metode *casting* diikuti *powder* metalurgi. Diagram alir dari percobaan dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Diagram alir pembuatan serbuk NdFeB dengan metode powder metalurgi

Dalam kegiatan ini dilakukan peleburan untuk berbagai komposisi. Ke dalam paduan NdFeB juga ditambahkan *zircon* sebagai paduan untuk memodifikasi struktur mikro dan sifat magnetik. Komposisi nominal dari paduan beserta analisis yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 1 Komposisi nominal paduan NdFeB beserta analisis yang dilakukan. Perlakuan panas dilakukan pada kondisi *argon* 1000 °C. Proses *quenching* dilakukan dalam media air dan waktu tahan untuk proses *annealing* 4 jam.

Tabel 1. Komposisi nominal paduan NdFeB beserta analisa yang dilakukan

No	Komposisi
1	Nd <sub>14</sub> Fe <sub>78</sub> B <sub>8</sub>
2	Nd <sub>14</sub> Fe <sub>76</sub> B <sub>8</sub> Zr <sub>2</sub>
3	As Strip (China)

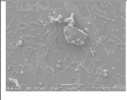
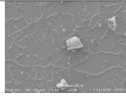
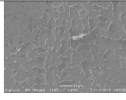
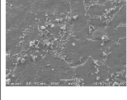
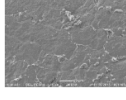
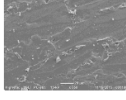
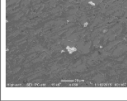
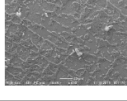
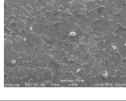
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis SEM

Ingot Nd-Fe-B hasil solidifikasi pada proses peleburan dengan *arc melting furnace* diamati dengan SEM untuk melihat morfologi fasa utama dan fasa kedua. Analisis kuantitatif fasa-fasa yang ada dilakukan dengan *back scattered imaged* maupun EDX. Pada Tabel 2 dibandingkan hasil observasi struktur mikro dengan SEM untuk komposisi  $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{78}\text{B}_8$ ,  $\text{Nd}_{12}\text{Fe}_{78}\text{B}_8\text{Zr}_2$  dan *strip casting* dalam kondisi *as cast*, *as quench* dan *anneal*. Hasil pengamatan SEM menunjukkan bahwa semua memiliki fasa utama  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ . *Annealing* membuat struktur menjadi lebih halus untuk paduan  $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{78}\text{B}_8$  dan *strip casting*, sedangkan untuk paduan  $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{76}\text{B}_8\text{Zr}_2$  mengalami pertumbuhan butir menjadi lebih besar. Hasil EDS *element mapping* menunjukkan elemen *zircon* banyak terdistribusi di batas butir mensubstitusi sebagian Nd, kemungkinan fasa yang tersebut adalah  $\text{Zr}_3\text{Fe}$ . Sedangkan untuk paduan  $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{78}\text{B}_8$ , di daerah batas butir terlihat daerah kaya Nd seperti yang terlihat pada EDS *mapping* paduan  $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{78}\text{B}_8$  (Tabel 4) yang menunjukkan warna putih pada batas butir. Hasil *quenching* tidak menunjukkan perubahan yang *significant* dari hasil *as cast* sehingga dapat dikatakan tidak ada peningkatan stuktur yang berarti. Pada paduan NdFeB biasanya muncul fasa kedua berupa *alpha Ferrite* ataupun  $\text{Zr}_3\text{F}$  untuk penambahan Zr.

Pengamatan SEM juga dilakukan pada paduan dengan komposisi  $\text{Fe}_{82}\text{Nd}_{11}\text{B}_6\text{Zr}_1$ ,  $\text{Fe}_{82}\text{Nd}_{10}\text{B}_6\text{Zr}_2$ ,  $\text{Fe}_{82}\text{Nd}_9\text{B}_6\text{Zr}_3$ , yang memiliki kandungan Nd yang lebih kecil daripada komposisi sebelumnya. Hasil pengamatan SEM menunjukkan perbedaan yang jelas antara fasa utama  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  dengan fasa kedua yaitu  $\text{Zr}_3\text{Fe}$ . Pada Tabel 3 fasa utama  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  ditunjukkan dengan warna terang dan fasa alpha Fe dengan warna gelap. Dalam paduan Nd-Fe-B, jumlah alpha Fe harus dikurangi karena dapat menurunkan sifat magnetik. Penambahan Zr menyebabkan semakin berkurangnya fasa magnetik  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  dan bertambahnya fasa ke dua  $\text{Zr}_3\text{Fe}$ .

Tabel 2. Sampel yang mengalami perlakuan panas

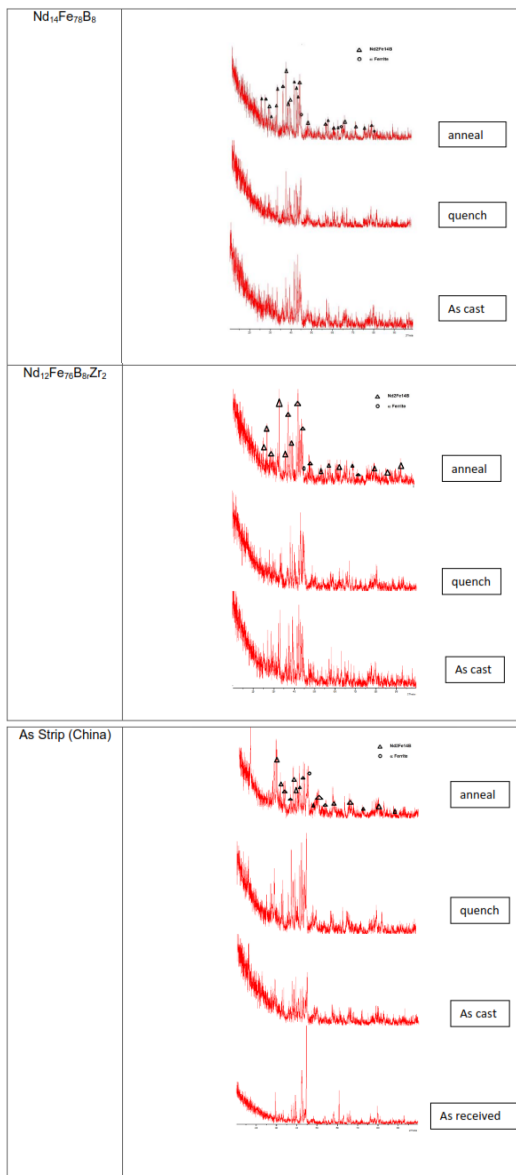
	As Cast	As Quench	As Anneal
$\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{78}\text{B}_8$			
$\text{Nd}_{12}\text{Fe}_{78}\text{B}_8\text{Zr}_2$			
As Strip (China)			

### Analisis Struktur Kristal XRD

Identifikasi fasa-fasa yang terbentuk pada ingot hasil peleburan dilakukan dengan XRD menggunakan radiasi  $\text{Cu K}\alpha$  ( $\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$ ) yang beroperasi pada tegangan 40 KV dan arus generator 55 mA. Celah pemancar dan penerima yang digunakan masing masing adalah  $1^\circ$  dan  $0.1^\circ$ . Parameter XRD ini menghasilkan pola difraksi sinar x yang bertujuan untuk mengidentifikasi fasa. Identifikasi dilakukan dengan membandingkan pola difraksi sinar x yang dihasilkan dengan pola difraksi fasa  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ .

Pada Tabel 3 ditampilkan pola difraksi sinar –X untuk paduan komposisi  $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{78}\text{B}_8$ ,  $\text{Nd}_{12}\text{Fe}_{78}\text{B}_8\text{Zr}_2$  dan *strip casting* dalam kondisi *as cast*, *as quench* dan *anneal*. Puncak-puncak difraksi diidentifikasi sebagai puncak-puncak fasa  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  serta adanya puncak-puncak tambahan dari alpha ferrite (pada sudut  $2\theta = 44.58$ ) dan fasa  $\text{Zr}_3\text{F}$ . Sampel Strip menunjukkan *peak* apha Fe yang cukup tinggi. Hal ini disebabkan karena pendinginan yang cepat pada waktu pembuatan paduan. Pada kondisi *annealing* dan *quenching* dapat terlihat bahwa puncak difraksi alpha Fe pada sampel *strip casting* berkurang. Ringkasan hasil analisis *quantitative* dari analisis XRD dapat dilihat pada Tabel 6 dan diilustrasikan pada Gambar 3. Paduan  $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{78}\text{B}_8$  hasil peleburan (*as cast*) memiliki kandungan fasa utama  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  sebanyak 75 persen. Setelah di-*annealing* fasa magnetik yang dihasilnya bertambah menjadi 80 persen sehingga dapat disimpulkan bahwa *annealing* dapat memperbaiki sifat magnetik dari paduan  $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{78}\text{B}_8$ .

Tabel 3. Hasil analisa XRD



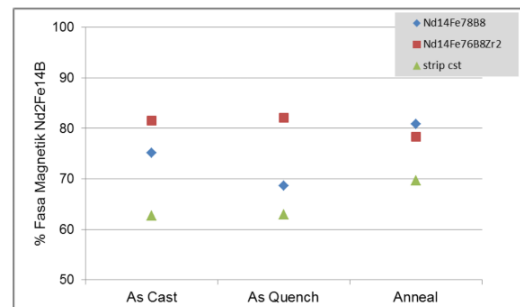
Untuk paduan dengan penambahan *zircon* ( $Nd_{14}Fe_{78}B_8Zr_2$ ) memiliki fasa magnetik yang cukup tinggi (>80 % pada kondisi *as cast*). Proses perlakuan panas yang dilakukan tidak mengubah jumlah fasa magnetik secara *significant*, sehingga dapat dikatakan bahwa *zircon* membuat fasa utama menjadi lebih stabil. Untuk sampel *strip casting* sendiri menunjukkan perbaikan sifat magnetik dengan perlakuan panas yang diberikan dengan bertambahnya secara *significant* fasa magnetik setelah proses *annealing*.

Dalam perhitungan *quantitative* fasa dilakukan dengan menggunakan software X powder. Karena cukup kompleksnya puncak difraksi dari

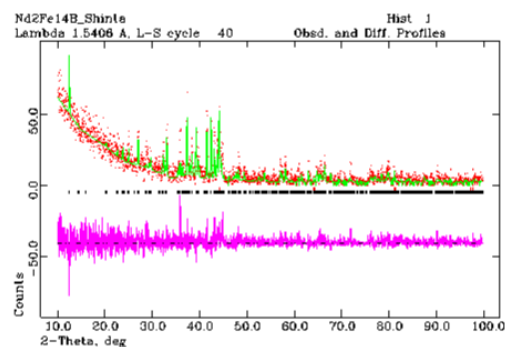
fasa-fasa dalam paduan Nd-Fe-B maka dilakukan perbandingan perhitungan dengan menggunakan *software Match* dan dilakukan proses *refining* data *software* *gsas*. Untuk paduan  $Nd_{14}Fe_{78}B_8$  hasil perhitungan menggunakan *software Match* menunjukkan fasa magnetik 95.5 % dan fasa kedua 4.5 %.

Tabel 4. Analisis kuantitatif menggunakan XRD

Komposisi	Kondisi	alpha Ferrite (% wt)	$Nd_2Fe_{14}B$ (% wt)	$Zr_2Fe$ (% wt)
$Nd_{14}Fe_{78}B_8$	As Cast	24.9	75.1	
	As Quench	31.4	68.6	
	Anneal	19.1	80.9	
$Nd_{14}Fe_{78}B_8Zr_2$	As Cast	13	81.5	5.5
	As Quench	11.9	82.1	6
	Anneal	17	78.3	4.7
strip cast	As Cast	37.3	62.7	
	As Quench	37.1	62.9	
	Anneal	30.4	69.6	
	As Received	60.7	39.3	



Gambar 2. Hasil analisis quantitative fasa magnetik (software Xpowder)



Gambar 3. Hasil quantitative fasa magnetik (software match) + refining GSAS (Fasa Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B 95.5% + alpha Ferrite 4.5%)

### Sifat Magnetik

Tabel 5 sampai Tabel 7 menunjukkan hasil pengujian sifat magnetik dari ketiga jenis sampel. Hasil pengujian menunjukkan nilai yang cukup rendah tetapi sudah bisa dikatakan memiliki sifat magnet permanen untuk kondisi *as cast* ( $> 200$  Oe). Tetapi nilai ini masih sangat jauh dari standar magnet NdFeB yaitu sekitar 9600 Oe (9.6 kOe). Rendahnya sifat magnetik disebabkan oleh oksidasi selama proses penyimpanan dan produksi. Untuk meningkatkan sifat magnetiknya diperlukan *handling* yang lebih baik.

Tabel 5. Analisis sifat magnetik untuk paduan FeNdB Strip casting (China)

	Br (kG)	(BH) max	Hci (kOe)
As Received	1.15	< 1 MGOe	0.124
As Cast	1.32	< 1 MGOe	0.221
As Quench	1.72	< 1 MGOe	0.114
As Anneal	1.38	< 1 MGOe	0.103

Tabel 6. Analisis Sifat Magnetik untuk paduan Nd<sub>14</sub>Fe<sub>78</sub>B<sub>8</sub>

	Br (kG)	(BH) max	Hci (kOe)
As Cast	1.12	< 1 MGOe	0.246
As Quench	1.72	< 1 MGOe	0.114
As Anneal	1.10	< 1 MGOe	0.152

Tabel 7. Analisis Sifat Magnetik untuk paduan Nd<sub>14</sub>Fe<sub>76</sub>B<sub>8</sub>Zr<sub>2</sub>

	Br (kG)	(BH) max	Hci (kOe)
As Cast	1.14	< 1 MGOe	0.114
As Quench	1.06	< 1 MGOe	0.149
As Anneal	1.09	< 1 MGOe	0.103

### KESIMPULAN

Dari penelitian ini didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Proses peleburan dengan menggunakan *Argon Arc Melting Furnace* dapat menghasilkan *ingot* yang cukup homogen, hanya saja faktor *loss* dari logam-logam yang dilebur harus diperhitungkan sehingga komposisi yang didapatkan sesuai dengan yang diinginkan.
2. Presentase fasa magnetik dari paduan yang dihasilkan sudah mendekati paduan komersial ( $> 80$  %).
3. Proses *Annealing* dapat meningkatkan jumlah fasa magnetik dalam paduan NdFeB.

4. Penambahan *zircon* dalam paduan NdFeB dapat meningkatkan kestabilan fasa Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B sehingga tidak diperlukan proses perlakuan panas untuk meningkatkan sifat magnetik.
5. Sifat magnetik yang masih rendah harus ditingkatkan dengan memperbaiki kondisi operasi (vakum atau gas *inert*).

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai dari DIPA Pulitbang TIKI Kementerian Perindustrian 2015. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Puslitbang Teknologi Industri dan Kekayaan Intelektual Kementerian Perindustrian Republik Indonesia atas terlaksananya penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Ayudin, M. (n.d.). Brushless Permanent Magnet Servomotors. *Cdn.Intechopen.Com*. Retrieved from [http://cdn.intechopen.com/pdfs/34404/InTech-Brushless\\_permanent\\_magnet\\_servomotors.pdf](http://cdn.intechopen.com/pdfs/34404/InTech-Brushless_permanent_magnet_servomotors.pdf)
- Bae, K., Kim, T., Lee, S., Namkung, S., & Jang, T.-S. (2013). Magnetic and Microstructural Characteristics of a DyF Dip-Coated Nd-Fe-B Sintered Magnet. *IEEE Transactions on Magnetics*, 49(7), 3251–3254. <http://doi.org/10.1109/TMAG.2013.2247574>
- Ceglarek, A., Plusa, D., & Pawlik, P. (2012). Structural and magnetic properties of the as-cast Nd 10 Fe 83 Zr 1 B 6 ribbons, studied by X-ray diffraction and Mössbauer spectroscopy, 58(October), 105–108.
- Chae, H. J., & Kim, T. (n.d.). Extraction of Neodymium from Nd-Fe-B magnet scraps using molten Mg, 55(1984), 2083.
- Choi, M., Kim, D., Yu, J., & Kim, Y. (2011). IMPROVEMENT OF THE MAGNETIC PROPERTIES OF Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B POWDERS BY DYSPROSIUM DIFFUSION. *Reviews on Advanced Materials Science*, 28, 134–140.
- Guruswamy, S., McCarter, M. K., Shield, J. E., & Panchanathan, V. (1996). Explosive compaction of Magnequench Nd-Fe-B magnetic powders. *Journal of Applied Physics*, 79(8), 4851. <http://doi.org/10.1063/1.361631>
- José, J., & González, J. (2010). Microstructure and Coercivity Correlation in Soft

- Magnetic Nanocrystalline Alloys, 1620–1629.
- Kelley, B. J. (n.d.). Permanent Magnet Materials.
- Liu, Z. W., Chen, C., Zheng, Z. G., Tan, B. H., & Ramanujan, R. V. (2011). Phase transitions and hard magnetic properties for rapidly solidified MnAl alloys doped with C, B, and rare earth elements. *Journal of Materials Science*, 47(5), 2333–2338. <http://doi.org/10.1007/s10853-011-6049-8>
- Lupu, N., Grigora, M., Lostun, M., & Chiriac, H. (1993). Spark Plasma Sintered NdFeB-based Nanocomposite Hard Magnets with Enhanced Magnetic Properties, 3(i).
- Magnetism, J. O. F., & Materials, M. (2011). ナノ構造制御機能材料研究部, 23–26.
- Manaf, A. (n.d.). Perpustakaan Universitas Indonesia >> UI - Laporan Penelitian Karakterisasi dan Pembuatan Magnet Permanen Nd-Fe-B dengan Teknologi Powder Metallurgy dan Rapid Solidification, 650.
- Miura, K., Masuda, M., Itoh, M., Horikawa, T., & Machida, K. (2006). Microwave absorption properties of the nanocomposite powders recovered from Nd-Fe-B bonded magnet scraps. *Journal of Alloys and Compounds*, 408-412(2006), 1391–1395. <http://doi.org/10.1016/j.jallcom.2005.04.025>
- Sepehri-Amin, H., Ohkubo, T., Nishiuchi, T., Hirosawa, S., & Hono, K. (2010). Coercivity enhancement of hydrogenation-disproportionation-desorption-recombination processed Nd-Fe-B powders by the diffusion of Nd-Cu eutectic alloys. *Scripta Materialia*, 63(11), 1124–1127. <http://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2010.08.021>
- Session, S. (n.d.). THE RARE EARTH ELEMENTS INDUSTRY IN CANADA – SUMMARY OF EVIDENCE Standing Committee on Natural Resources, (June 2014).
- Shafi, K. V. P. M., Felner, I., Mastai, Y., & Gedanken, A. (1999). Olympic ring formation from newly prepared barium hexaferrite nanoparticle suspension. *Journal of Physical Chemistry B*, 103(17), 3358–3360. <http://doi.org/10.1021/JP984691L>
- Shindo, D., Park, Y. G., Murakami, Y., Gao, Y., Kanekiyo, H., & Hirosawa, S. (2003). Electron holography of Nd-Fe-B nanocomposite magnets. *Scripta Materialia*, 48(7), 851–856. [http://doi.org/10.1016/S1359-6462\(02\)00601-2](http://doi.org/10.1016/S1359-6462(02)00601-2)
- Straumal, B. B., Kucheev, Y. O., Yatskovskaya, I. L., Mogilnikova, I. V., Schütz, G., Nekrasov, a. N., & Baretzky, B. (2012). Grain boundary wetting in the NdFeB-based hard magnetic alloys. *Journal of Materials Science*, 47(24), 8352–8359. <http://doi.org/10.1007/s10853-012-6618-5>
- Trout, S. R. (1990). Permanent magnets based on the lanthanides. *Proceedings of the International Symposium on Magnetism*, 79–90.