

DOI: doi.org/10.21009/SPEKTRA.011.03

PENGARUH WAKTU DRY MILLING TERHADAP KARAKTERISTIK DAN SIFAT MAGNET PERMANEN ND-FE-B

William^{1,a)}, Tua Raja Simbolon^{1,b)}, Herli Ginting¹, Prijo Sardjono², Muljadi^{2,c)}

¹Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara
Jalan Bioteknologi No.1 Kampus USU, Medan, 20155

²Pusat Penelitian Fisika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
Kompleks Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan, 15314

Email: ^{a)}william.fis2011@gmail.com, ^{b)}traja202@gmail.com, ^{c)}muljadi2002@yahoo.com

Abstrak

Telah dilakukan proses penghalusan serpihan NdFeB dengan menggunakan metode *dry milling* dalam atmosfer gas inert dengan menggunakan gas Nitrogen (N₂) dengan bahan awal yang digunakan berupa serpihan NdFeB dengan waktu *milling* yang divariasikan selama 8 jam, 16 jam, 24 jam dan 48 jam. Besaran magnetik yang diukur adalah koersivitas (H_c), induksi remanensi magnetik (Br) dan energi produk maksimum (BH_{maks}). Proses preparasi sampel dimulai dengan penghalusan serpihan dengan berbagai variasi waktu *milling*, dicetak dengan gaya 7 tonf selama 2 menit, dan dengan ditambahkan bahan perekat celuna sebanyak 3 wt%, hingga membentuk pelet dengan diameter ±1,6 cm. Selanjutnya sampel pelet di *heat treatment* selama 1 jam pada suhu 170°C dan setelah itu dilakukan *coating* pada sampel. Sampel pelet yang telah melalui proses *heat treatment*, dimagnetisasi dengan *impulse magnetizer* pada tegangan 1500V DC. Sampel pelet yang telah dimagnetisasi diukur *fluks density* menggunakan Gaussmeter. Dari nilai densitas fluks magnet sampel, diperoleh sampel terbaik yaitu sampel hasil *milling* selama 48 jam pada suhu *heat treatment* 170°C dan diperoleh fluks magnet sebesar 485,8 Gauss. Koersivitas pelet NdFeB yaitu 1,171 kOe dan BH_{maks} sebesar 0,62 MGOe.

Kata-kata kunci: NdFeB, heat treatment, dry milling, gas inert

Abstract

Particle refining process of flakes NdFeB by dry milling method within an inert gas atmosphere using Nitrogen gas (N₂) with based material was flakes NdFeB and with milling time parameters were variated for 8 hours, 16 hours, 24 hours and 48 hours had been done. The measured magnetic properties were coercivity (H_c), remanence (Br) and maximum energy product (BH_{max}). The preparation raw material process was started with particle refining with milling time variety, then it was pressed with 7 tonf force for 2 minutes and with added adhesive celuna as much as 3 wt% up to become pellets form with a diameter ±1.6 cm. Further the pellet samples were given heat treatment for 1 hour at temperature 170°C and after that all the samples were coated. Pellet samples that have been done heat treatment, were magnetized with the impulse magnetizer in 1500V DC voltage. Pellet sample that had been magnetized, its flux density was measured by using a Gaussmeter. From the magnetic flux density sample value, the best sample that obtained was the sample in milling time for 48 hours at heat treatment's temperature was 170°C and obtained magnetic flux density at 485.8 Gauss. The NdFeB pellet coercivity was 1.171 kOe and the BH_{max} was 0.62 MGOe.

Keywords: NdFeB, heat treatment, dry milling, inert gas

PENDAHULUAN

Bahan magnetik digunakan pada peralatan tradisional dan modern. Dalam mendesain peralatan magnetik, seperti *head* perekam pada *disk drive* komputer atau transformator dalam sistem tenaga, kita harus mengetahui besarnya eksitasi yang dibutuhkan untuk mendapatkan kekuatan medan magnet. [9]

Kebutuhan akan bahan magnet meningkat dengan pesat dalam beberapa dekade belakangan ini. Perkembangan yang dramatis di bidang magnet ini terjadi sejak ditemukannya bahan magnet permanen berbasis logam tanah jarang (*rare earth permanent magnets*) seperti NdFeB, RECo, dan REFeB. Saat ini bahan magnet permanen digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik atau sebaliknya. Tiga sifat penting yang menggambarkan kinerja magnet permanen adalah induksi magnetik remanens (B_r), koersivitas (H_c), dan produk energi maksimum (BH_{max}). Magnet permanen Neodymium-Iron-Boron (NdFeB) selalu menarik banyak perhatian sejak ditemukan pada 1980-an karena kinerjanya yang sangat baik.[5]

Perkembangan magnet permanen saat ini sangat difokuskan untuk magnet permanen energi tinggi. Salah satu bahan magnet permanen yang dapat menghasilkan energi tinggi tersebut adalah dari jenis (Re)-Fe-B (Re = Nd, Pr).

Magnet permanen berjenis Re-Fe-B ini terbuat dari paduan logam tanah jarang berjenis Neodymium atau Praseodymium, logam Besi, dan Boron dengan fasa magnet $Nd_2Fe_{14}B$ atau $Pr_2Fe_{14}B$ yang memiliki struktur kristal tetragonal.[3]

Dalam memenuhi kebutuhan magnet permanen, pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan magnet permanen NdFeB dengan metode *dry milling* dalam keadaan gas inert (gas N_2) mengingat bahwa gas inert merupakan gas yang tidak reaktif atau tidak mudah bereaksi sehingga dapat mencegah terjadinya oksidasi dari lingkungan. NdFeB yang digunakan dalam bentuk *Raw Material* yang belum memiliki sifat magnetik. Proses *dry milling* dilakukan dengan memvariasikan waktu milling process untuk mendapatkan induksi magnetik (B) tertinggi.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan preparasi sampel bahan magnet *Neodymium Iron Boron* menggunakan bahan baku *flakes* NdFeB yang digiling dengan metoda *dry mechanical milling* dengan atmosfer gas inert N_2 untuk mencegah oksidasi. Proses penghalusan *flakes* NdFeB ini dilakukan dengan menggunakan *ballmill* dengan variasi waktu *milling* 8 jam, 16 jam, 24 jam dan 48 jam. Setelah itu serbuk hasil *milling* dicetak dengan gaya 7 tonf selama 2 menit, dan dengan ditambahkan bahan perekat celuna WE-518 sebanyak 3 wt%, hingga membentuk pelet dengan diameter $\pm 1,6$ cm. Selanjutnya sampel pelet di *heat treatment* selama 1 jam pada suhu $170^\circ C$. Sampel pelet kemudian *dicoating* dengan sirlak (*insulating material*).

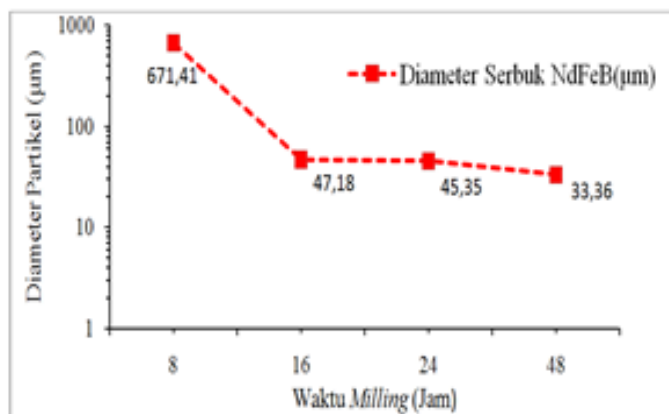
Untuk mengetahui distribusi ukuran serbuk hasil *milling* dilakukan dengan pengujian PSA dan karakterisasi fasa dari serbuk hasil setiap variasi waktu *dry milling* dilakukan dengan pengujian XRD, sedangkan untuk pengujian karakterisasi sifat magnetik sampel berupa uji gaussmeter dan uji Permagraph pada hasil sampel dengan densitas fluks magnet tertinggi dilakukan pada sampel setelah berbentuk pelet setelah proses *heat treatment* dan telah dimagnetisasi dengan *impulse magnetizer* pada tegangan 1500V DC.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui perubahan ukuran diameter partikel serbuk NdFeB hasil *Dry Milling* terhadap variasi waktu *milling*. Hasil pengukuran PSA untuk serbuk NdFeB yang telah *dimilling* dengan variasi waktu dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Table 1. Hasil Pengukuran PSA Serbuk NdFeB dengan metode Dry Milling.

No.	Waktu Milling (Jam)	Diameter serbuk NdFeB (μm)
1.	8	671,41
2.	16	47,18
3.	24	45,35
4.	48	33,36



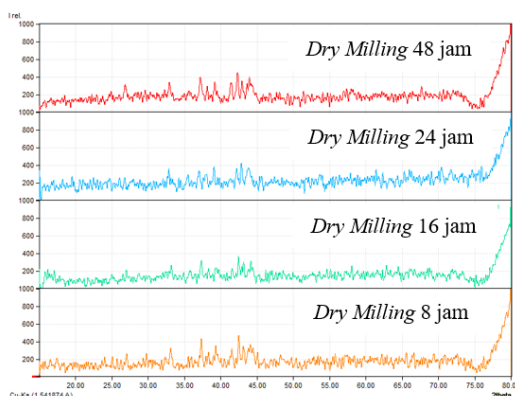
Gambar 1. Grafik hasil pengukuran PSA pada serbuk NdFeB hasil Dry Milling sebagai fungsi waktu.

Pada tabel 1 dan gambar 1 dapat diketahui bahwa semakin lama proses *milling* yang dilakukan, diameter partikel pada serbuk juga akan semakin kecil. Pada waktu *milling* selama 48 jam ukuran diameter partikel yang terbentuk menjadi paling kecil dibandingkan dengan ukuran diameter partikel lainnya.

Distribusi ukuran partikel terkecil dari serbuk NdFeB yaitu dengan waktu *milling* 48 jam, dengan rata – rata dari ukuran partikel serbuk NdFeB yang dimilling selama 48 jam yaitu sebesar 33,36 μm . Hal ini menunjukkan bahwa adanya kesebandingan linier antara waktu *milling* yang berbanding lurus dengan ukuran diameter partikel serbuk NdFeB.

Waktu *milling* yang lebih lama akan menyebabkan penurunan ukuran rata – rata serbuk secara progresif sampai dengan batas terkecil yang mampu diukur oleh alat.[1]

Teknik difraksi sinar-X merupakan teknik yang dipakai untuk mengetahui karakteristik kristalografi suatu material melalui puncak – puncak intensitas yang muncul.[11] Hasil pengujian XRD berupa fasa kristalin diperlihatkan dengan pola difraksi sinar-X dari serbuk NdFeB hasil dry milling pada gambar 2.



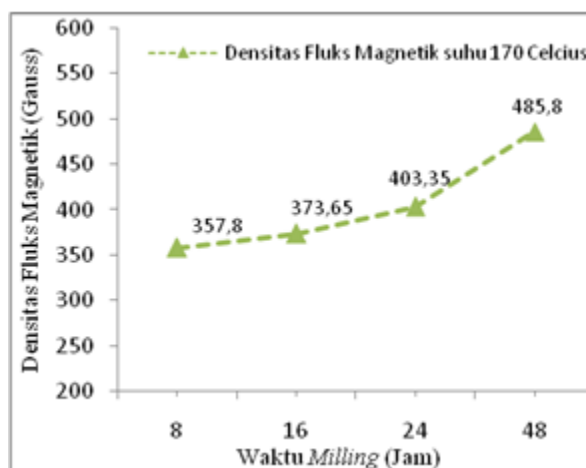
Gambar 2. Pola difraksi serbuk NdFeB hasil Dry Milling selama t = 8 jam, 16 jam, 24 jam dan 48 jam berturut – turut dari bawah ke atas.

Proses *milling* yang dilakukan dengan variasi waktu, pertumbuhan fasa sudah terjadi dari hasil *Dry Milling* selama 8 jam. Semakin lama waktu proses cenderung hanya mengakibatkan sedikit perubahan fasa.[12] Hal ini diperjelas pada gambar 2 yang menunjukkan perubahan fasa yang relatif kecil dan cenderung tidak terlalu banyak berubah pada setiap variasi waktu *milling*. Hasil ini berbeda dengan proses sejenis pada serbuk magnet berbasis ferit [5] dimana proses *ball mill* cenderung merusak fasa kristalin dan semakin meningkat dengan semakin lamanya waktu proses *milling* sehingga perlu proses *heat treatment* untuk merekristalin bahan. Fasa yang dihasilkan dari masing-masing variasi waktu *dry milling* yaitu fasa Nd₂Fe₁₄B dan fasa Nd₂Fe₁₄B cenderung mempunyai fasa struktur amorf.[4]

Proses *dry milling* pada setiap variasi waktu *milling* tidak hanya mempengaruhi ukuran dan fasa yang dihasilkan, akan tetapi hal ini juga berpengaruh pada sifat magnetik NdFeB itu sendiri. Hal ini ditunjukkan pada hasil pengujian densitas fluks magnet NdFeB dengan variasi waktu *milling* dapat dilihat pada tabel 2 dan gambar 3 berikut.

Table 2. Hasil Pengukuran PSA Serbuk NdFeB dengan metode Dry Milling.

No.	Waktu <i>milling</i> (Jam)	Fluks Magnetik (Gauss)
1.	8	357,80
2.	16	373,65
3.	24	403,35
4.	48	485,80



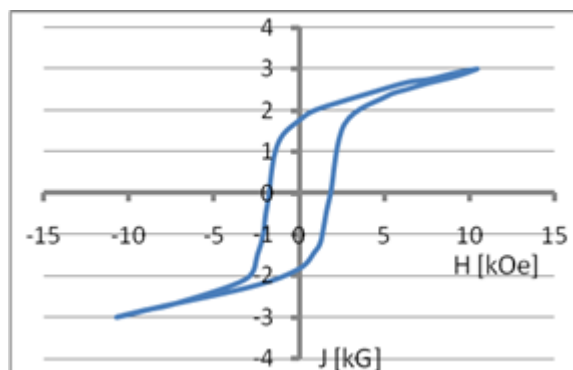
Gambar 3. Grafik hasil pengukuran densitas fluks magnet pada sampel NdFeB sebagai fungsi waktu.

Dari tabel 2 dan gambar 3, dapat dilihat terjadi peningkatan secara konstan pada nilai densitas fluks magnetik pada pelet magnet NdFeB setelah dimagnetisasi. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama *flakes* dimilling maka densitas fluks magnetik pelet NdFeB akan semakin baik. Hal ini disebabkan karena semakin kecil ukuran butir yang dihasilkan dari proses *milling* maka akan dihasilkan serbuk dengan domain tunggal yang lebih banyak sehingga medan magnet dalam bahan akan semakin kuat. [8] Besar fluks magnetik dapat dipengaruhi oleh suhu, semakin tinggi suhu maka semakin besar juga nilai Br dan kuat medan dari pelet magnet tersebut.[10]

Pada pengukuran sifat magnet intrinsik bahan magnet permanen, pengujian dengan menggunakan Permagraph dapat juga dilakukan untuk mendapatkan hasil karakterisasi berupa induksi remanensi (Br), koersivitas intrinsik (Hc), dan energi produk magnet (BHmax). Karakterisasi sifat magnet intrinsik ini dilakukan pada sampel magnet NdFeB hasil *milling* 48 jam. Hal ini dilakukan berdasarkan nilai kuat medan magnet sampel maksimum yang dihasilkan dari pengukuran densitas fluks magnetik tertinggi sehingga pengujian menggunakan Permagraph untuk waktu *milling* 8 jam, 16 jam dan 24 jam tidak dilakukan lagi. Hasil pengujian dan kurva histerisis dari sampel magnet ditunjukkan pada tabel 3 dan gambar 4 berikut.

Table 3. *Tabel Hasil Pengujian Permagraph Sampel Pelet NdFeB dry milling 48 jam*

No.	Tabel Hasil Permagraph	
1.	Br (kG)	1,68 (0,168 T)
2.	Hcj (kOe)	1,698 (134,991 kA/m)
3.	(BH)max (MGOe)	0,62 (4,9321 kJ/ m ³)



Gambar 1. Kurva histeresis sampel pelet NdFeB dry milling selama 48 jam dengan Permagraph.

Bahan magnet keras (magnet permanen) ditandai dengan nilai koersivitas H_c di atas 10 kA/m, dimana H_c ini menyatakan besar medan magnet balik yang dibutuhkan untuk meniadakan kemagnetan suatu bahan. Sedangkan untuk kekuatan magnet (*magnetic field*) ditentukan oleh besarnya B_r dari suatu bahan, yaitu remanansi magnet yang tersisa di dalam bahan setelah pengaruh medan magnet diadakan. Kedua besaran ini secara langsung dapat dilihat dari kurva histeresis hasil pengukuran menggunakan *Magnet-Physic Dr. Steingroever GmbH Permagraph C*. Energi produk maksimum (BH)max dari magnet tersebut dihasilkan dari nilai maksimal hasil perkalian antara B dan H pada kuadran kedua kurva histeresis. Semakin tinggi nilai remanansinya, maka gaya koersif dan loop semakin besar pula produk energinya [6]

Dari gambar 4, dapat dilihat bahwa semakin besar nilai koersivitas maka semakin besar pula sifat kemagnetan yang dimiliki oleh suatu sampel. Bahan dengan koersivitas tinggi berarti tidak mudah hilang kemagnetannya.[2]

Data Pengujian hasil Permagraph magnet NdFeB hasil *milling* 48 jam yang diperoleh, pengujian Permagraph dilakukan pada sampel pelet magnet NdFeB yang *dimilling* selama 48 jam yang telah dimagnetisasi menghasilkan koersivitas (H_{cj}) sebesar 1,698 kOe , induksi remanensi (B_r) sebesar 1,68 kG dan Energi Produk (BH)max sebesar 0,62 MGOe menjelaskan bahwa magnet NdFeB yang dihasilkan bersifat permanen.

Namun seperti telah dianalisis di atas, harga induksi magnetik remanen yang diperoleh dari bahan *flakes* masih relatif kecil apabila dibandingkan dengan kebanyakan penggunaan bahan awal yang berbentuk serbuk. Ketika proses *milling*, serbuk mengalami tumbukan dan gesekan yang menimbulkan panas, dimana diyakini mempengaruhi struktur akhir serbuk setelah *dimilling*.[7]

SIMPULAN

Proses *dry milling* dengan variasi waktu *milling* dan variasi suhu *heat treatment* telah dilakukan pada serbuk magnet hasil *milling* berbasis NdFeB. Hasil proses menunjukkan perubahan yang cukup signifikan terhadap ukuran serta karakteristik dan sifat magnetik serbuk hasil *milling flakes* NdFeB. Variasi waktu *milling flakes* NdFeB berpengaruh terhadap sifat magnetiknya. Pada penelitian ini waktu *milling flakes* optimal adalah 48 jam. Untuk mengetahui kondisi yang lebih optimal perlu dilakukan studi lanjutan dengan menggunakan media yang berbeda dengan memvariasikan berbagai parameter proses secara sistematis.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada para pembimbing akademis maupun lapangan yang telah mendukung dan membimbing penulis dalam kelancaran penelitian ini serta kepada P2F LIPI Serpong sebagai sarana penyedia penelitian ini.

DAFTAR ACUAN

- [1] Fiandimas, A. dan Manaf, A., Pembuatan Magnet Permanen Barium Heksaferit Berbahan Baku Mill Scale dengan Teknik Metalurgi Serbuk, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 5 (2003), pp. 45-50.
- [2] Idayanti dan Dedi, Pembuatan Magnet Permanen Ferit untuk Flow Meter. *Jurnal Fisika HFI*, A5. No 0528(2005), pp. 1-4.
- [3] Kurniawan, C, Inovasi Teknologi Pembuatan Magnet Permanen Untuk Motor Listrik Dalam Upaya Mendukung Program Mobil Listrik Nasional, 201 (2013), pp. 1-4.
- [4] Mujamillah, Bambang S., Evy Y., M.Refai M., Setyo P., dan Ridwan, Sifat Magnetik Bahan Komposit Berbasis Serbuk Magnet NdFeB Hasil Milling dan Polimer Termoplastik LLDPE, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 3 (2002), pp. 6-9.
- [5] Mujamillah, dkk, Penghalusan Serbuk dan Efeknya Pada Fasa dan Sifat Magnetik Sistem Magnet Permanen Berbasis Nd₂Fe₁₄B, *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 7 (2005), pp. 21-24.
- [6] Ray, Zailany, Hubungan Antara Ukuran Partikel Pada Pembuatan Bonded Permanen Magnet Nd-Fe-B Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Magnet, *Jurnal Fisika*,(2014), pp.44-47.
- [7] R.N Faria, A. R. M. Castro, N.B. Lima, Relation Between Grain Alignment and Magnetic Properties of Pr-Fe-B Sintered Magnets, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 238 (2002), pp.38-46.
- [8] Sardjono, P. dan Muljadi, Analisis Struktur Kristal dan Mikrostruktur Serbuk Nd₂Fe₁₄B Hasil Proses Mechanical Alloying, Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng & DIY , Solo (2013), pp.29-34.
- [9] Shen, L.C., J. Au Kong. *Aplikasi Elektromagnetik*. Jakarta, Erlangga (2001), pp.118-119.
- [10] Tony K., Nanang S., dan Widhaya B., Pembuatan dan Karakterisasi Magnet Bonded NdFeB dengan Teknik Green Compact, *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 9 (2013), pp. 9-11.
- [11] Wahyuni, M.S., Erna H, Karakterisasi Cangkang Kerang Menggunakan XRD dan X-Ray Physics Basic Unit, *Jurnal Neutrino*, 3 (2010), pp. 34-38.