

APLIKASI MAGNET PERMANEN $BaFe_{12}O_{19}$ DAN $NdFeB$ PADA GENERATOR MAGNET PERMANEN KECEPATAN RENDAH SKALA KECIL

Pudji Irasari¹ dan Novrita Idayanti²

¹Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronika (TELIMEK)-LIPI
Jl. Sangkuriang Komplek LIPI Gd. 20 Bandung

²Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET)-LIPI
Jl. Sangkuriang Komplek LIPI Gd. 20 Bandung

email : novrita@ppet.lip.go.id

ABSTRAK

APLIKASI MAGNET PERMANEN $BaFe_{12}O_{19}$ DAN $NdFeB$ PADA GENERATOR MAGNET PERMANEN KECEPATAN RENDAH SKALA KECIL. Telah dilakukan perancangan dan pembuatan Generator Magnet Permanen (GMP) kecepatan rendah untuk pembangkit listrik skala kecil. Dalam makalah ini dibandingkan karakteristik generator menggunakan magnet permanen barium ferit ($BaFe_{12}O_{19}$) dan *neodymium iron boron* ($NdFeB$). Struktur *rotor* dipilih tipe *surface mounted* karena semua fluks menghadap ke lilitan *stator* dan berperan dalam konversi energi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada putaran nominal, generator dengan magnet $BaFe_{12}O_{19}$ hanya mampu membangkitkan daya 8,87 W sedangkan generator dengan magnet $NdFeB$ mampu membangkitkan daya 1988,93 W.

Kata kunci : Magnet permanen, Barium Ferit, $NdFeB$, Generator kecepatan rendah

ABSTRACT

APPLICATION OF PERMANENT MAGNET $BaFe_{12}O_{19}$ AND $NdFeB$ ON SMALL SCALE LOW SPEED PERMANENT MAGNET GENERATOR. Designing and manufacturing of low speed permanent magnet generator (PMG) for small scale electric power plant have been conducted. In this paper, the characteristics of generator using permanent magnet of barium ferrite ($BaFe_{12}O_{19}$) and *neodymium iron boron* ($NdFeB$) were compared. Surface mounted type is selected as the rotor structure as all flux faces to stator winding and take a role in energy conversion. The experiment result demonstrates that at nominal speed, generator with $BaFe_{12}O_{19}$ magnet can only generate power of 8.87 W while generator with $NdFeB$ magnet can generate power of 1,988.93 W.

Key words : Permanent Magnet, Barium Ferrite, $NdFeB$, Low speed generator

PENDAHULUAN

Krisis energi yang melanda dunia khususnya di Indonesia, telah membuat berbagai pihak mencari solusi dan melakukan penelitian untuk mencari sumber energi alternatif yang dapat menghasilkan energi listrik. Telah diketahui bahwa saat ini sumber minyak bumi dan batu bara semakin menipis, untuk itu energi alternatif sangat dibutuhkan dunia.

Beberapa penelitian mulai memanfaatkan energi matahari, air dan angin untuk menghasilkan energi listrik baik dalam skala kecil maupun besar. Sumber energi lain dapat berupa energi dari magnet permanen. Energi yang dapat dihasilkan oleh magnet permanen sangat menguntungkan, karena energi yang dihasilkan cukup tinggi dan tanpa efek pencemaran lingkungan [1].

Magnet permanen tersebut dapat diaplikasikan pada generator yang digunakan pada kincir air maupun kincir angin untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik.

Generator yang banyak dijual di pasaran biasanya berjenis *high speed induction generator*, dimana generator jenis ini membutuhkan putaran tinggi dan juga membutuhkan energi listrik awal untuk membuat medan magnet sekelilingnya. Pada penggunaan kincir angin, dibutuhkan generator yang berjenis *low speed* dan tanpa energi listrik awal karena biasanya ditempatkan di daerah-daerah yang tidak memiliki aliran listrik [2].

Pada makalah ini akan didiskusikan penggunaan magnet barium ferit dan magnet $NdFeB$ pada Generator Magnet Permanen (GMP) kecepatan rendah.

TEORI

Magnet Barium Ferit ($BaFe_{12}O_{19}$)

Magnet barium ferit mulai dikembangkan pada awal tahun 1960, sebagai alternatif untuk menggantikan penggunaan magnet logam. Magnet ini termasuk klasifikasi material keramik magnet keras yang memiliki struktur heksagonal ($BaFe_{12}O_{19}$), sehingga dikenal juga dengan nama barium heksaferit. Struktur yang dimiliki adalah *magnetoplumbite/M-type* dan dengan rumus umum *magnetoplumbite* adalah $MFe_{12}O_{19}$ atau $MO.6Fe_2O_3$, dimana M dapat berupa barium (Ba), stronsium (Sr) atau timbal (Pb) [3].

Sifat magnet yang dimiliki oleh barium ferit adalah induksi remanen (B_r) = (2,12-4) kG, koersivitas (H_c) = (1,7-3,2) kOe, produk energi maksimum (BH_{max}) = (0,92-3,5) MGOe, densitas (ρ) = (4,6-4,9) g/cm³ [4]. Sifat fisik lainnya adalah memiliki kestabilan kimia yang baik, suhu *curie* tinggi dan tahan korosi, sehingga tidak perlu *dicoating* dilapis dalam penggunaannya.

Keunggulan lainnya adalah harga lebih murah bila dibandingkan dengan magnet permanen lainnya, sehingga menyebabkan magnet barium ferit sangat disukai untuk diaplikasikan sebagai magnet permanen. Sifat fisik dari magnet barium ferit dapat dilihat pada Tabel 1.

Dalam aplikasinya, barium ferit dapat dibuat berbagai macam bentuk seperti : *ring*, *toroid*, silinder, piringan, *ellips* dan bahkan bentuk persegi sesuai dengan kegunaannya.

Magnet Neodymium Iron Boron ($NdFeB$)

Pada tahun 1980 ditemukan magnet *Neodymium Iron Boron* ($NdFeB$) dengan kekuatan yang tinggi, dan mulai dikomersilkan sejak November 1984. $NdFeB$ adalah material magnetik jenis permanen *rare earth* (tanah jarang), karena terbentuk oleh 2 atom dari suatu unsur tanah jarang *neodymium* (Nd), 14 atom besi (Fe) dan 1 atom boron (B), sehingga rumus molekul yang terbentuk adalah $Nd_2Fe_{14}B$ [6].

Tabel 1. Sifat magnet barium ferit komersil [5]

Magnetic Properties	Isotropic	Anisotropic
Residual Induction, B_r	(G) 2200	3950
Coercive Force, H_c	(mT) 220	395
	(kOe) 1800	2400
	(kA/m) 190	
Intrinsic Coercive Force, H_{ci}	(kOe) 3000	2450
	(kA/m) 195	
Maximum Energy Product, BH_{max}	(MGOe) 1,05	3,6
	(kJ/m ³) 28,6	
Density	(lbs/in ³) 0,177	0,178
	(g/cm ³) 4,9	
Curie Temperature	°F 842	842
	°C 450	450
Maximum Operating Temperature	°F 480	480
	°C 250	250

Karakteristik magnet yang dimiliki $NdFeB$ lebih baik bila dibandingkan dengan magnet permanen lainnya, seperti Ferit, *Alnico* dan *Samarium Cobalt*. BH_{max} yang dimiliki dapat berkisar antara 30 MGOe sampai dengan 52 MGOe. Karena memiliki karakteristik magnet yang tinggi, maka dalam aplikasinya magnet $NdFeB$ memiliki dimensi dan volume yang kecil. Dalam beberapa aplikasi, magnet ini juga dapat menggantikan penggunaan magnet *Samarium Cobalt*, khususnya penggunaan pada suhu kurang dari 80 °C. Beberapa bahan magnet permanen dengan sifat karakteristik diperlihatkan pada Tabel 2.

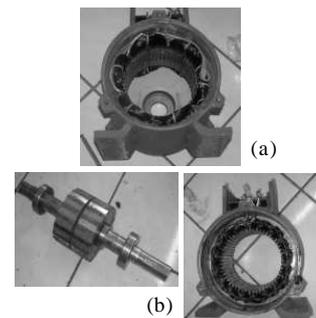
Aplikasi magnet $NdFeB$ cukup banyak, seperti pada peralatan elektronik, motor listrik/generator, sensor/transduser, industri otomotif, industri petrokimia dan produk peralatan kesehatan. Keunggulan lain yang dimiliki oleh magnet $NdFeB$ adalah memiliki harga yang lebih murah dibandingkan dengan magnet *Samarium Cobalt*. Tetapi kekurangannya adalah tidak dapat diaplikasikan pada suhu tinggi, yaitu hanya maksimum berkisar sampai 200 °C. Selain itu magnet ini cukup mahal dan mempunyai ketahanan korosi yang rendah, sehingga dalam aplikasinya diperlukan *surface treatment*, seperti dilapisi dengan nikel, seng atau emas.

Deskripsi Generator

Generator Magnet Permanen (GMP) yang akan dibandingkan karakteristiknya masing-masing memiliki spesifikasi sebagai berikut, 1 kW, 220V, 1 fasa, 500 rpm (12 kutub) dengan magnet $BaFe_{12}O_{19}$ dan 1 kW, 220V, 3 fasa, 300 rpm (18 kutub) dengan magnet

Tabel 2. Perbandingan karakteristik magnet permanen [7]

Material	Induksi remanen (B_r) (Tesla)	Koersifitas (H_c) (MA/m)	Energi produk (BH_{max}) (kJ/m ³)
Sr Ferit	0,43	0,20	34
Alnico 5	1,27	0,05	44
Alnico 9	1,05	0,12	84
SmCo ₅	0,95	1,30	176
Sm ₂ Co ₁₇	1,05	1,30	208
Nd ₂ Fe ₁₄ B	1,36	1,03	350



Gambar 1. Prototip generator yang diuji (a) GMP dengan magnet barium ferit (b) GMP dengan magnet $NdFeB$

Nd₂Fe₁₄B. Prototip GMP tersebut diperlihatkan pada Gambar 1(a) dan Gambar 1(b). Kedua generator menggunakan *stator* yang sama dengan jumlah alur 54, diameter luar 230 mm, diameter dalam 147,6 mm dan panjang laminasi 103 mm.

METODE PERCOBAAN

Percobaan dilakukan dengan cara memutar generator menggunakan motor induksi melalui transmisi *pulley belt*. *Set-up* pengujian diperlihatkan pada Gambar 2.

Generator diputar pada putaran nominal, yaitu 500 rpm untuk generator 12 kutub dan 300 rpm untuk generator 18 kutub. Selanjutnya secara bertahap generator dibebani hingga diperoleh daya maksimumnya. Beban yang digunakan adalah lampu pijar. Pada setiap pembebanan dicatat besarnya arus dan tegangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil percobaan, diperoleh data keluaran GMP seperti ditampilkan dalam Tabel 3.

Tegangan GMP dengan magnet Barium Ferit tidak dapat mencapai tegangan desain 220V sedangkan GMP dengan magnet NdFeB membangkitkan daya di atas 220V untuk semua beban yang diberikan.

Kecilnya tegangan yang dibangkitkan oleh magnet Barium Ferit disebabkan oleh rendahnya kerapatan fluks remanensi magnet B_r yang dimiliki, yaitu



Gambar 2. *Set-up* uji GMP

Tabel 3. Perbandingan karakteristik GMP pada putaran nominal.

Arus (A)		Tegangan (V)		Daya (W)	
Barium Ferit	NdFeB	Barium Ferit	NdFeB	Barium Ferit	NdFeB
0,02337	0,95	33,60	365,40	0,79	1038,65
0,05680	1,25	33,30	350,50	1,89	1317,53
0,10060	1,50	33,00	337,50	3,32	1523,00
0,15450	2,00	32,60	306,00	5,04	1838,85
0,20800	2,25	32,50	286,99	6,76	1938,20
0,22600	2,50	32,00	265,00	7,23	1988,93
0,28600	2,67	31,00	244,00	8,87	1951,51
0,33000	2,72	26,00	236,00	8,58	1923,42

600 Gauss sedangkan kerapatan fluks NdFeB adalah 10.000 Gauss.

Tegangan fasa keluaran generator dinyatakan dengan persamaan di bawah ini [8].

$$E_{ph} = 4,44 N_{ph} f \phi k_w \dots\dots\dots (1)$$

$$\phi = B_m A_m \dots\dots\dots (2)$$

$$k_w = k_d k_p k_s \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

- N_{ph} = Jumlah lilitan/fasa,
- f = Frekuensi (Hz),
- ϕ = Kerapatan fluks (Weber),
- k_w = Faktor belitan,
- B_m = Kerapatan fluks magnet (Tesla),
- A_m = Luas penampang magnet (m²),
- k_d = Faktor distribusi,
- k_p = Faktor kisar,
- k_s = Faktor kemiringan.

Parameter desain untuk kedua generator adalah $E_{ph} = 220V$, $f = 50$ Hz, $k_w = 1$ (kisar lilitan penuh, $k_d = 1$, $k_p = 1$ dan posisi magnet lurus tanpa kemiringan $k_s = 1$), sedangkan daya maksimum GMP BaFe₁₂O₁₉ pada putaran nominal adalah 8,87 W sedangkan GMP NdFeB 1.988,93 W.

KESIMPULAN

Perbandingan karakteristik generator menggunakan magnet BaFe₁₂O₁₉ dan NdFeB telah dilakukan dalam penelitian ini. Hasil percobaan menunjukkan bahwa generator dengan magnet NdFeB mampu memberikan daya keluaran yang jauh lebih besar dibanding generator dengan magnet BaFe₁₂O₁₉.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai melalui proyek Tematik 2005 dan Kompetitif LIPI tahun anggaran 2008. Pada kesempatan ini para penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Pusat Penelitian Telimek - LIPI, yang telah memberi kesempatan untuk melakukan penelitian ini.

DAFTAR ACUAN

- [1]. <http://www.freeenergynews.com/Directory/MagneticMotors>
- [2]. <http://bebaspolusi.wordpress.com/2008/02/20/generator-putaran-rendah-part-1/>
- [3]. D. BAHADUR, *J. Chemical Science*, **118** (1) (2006) 5-21
- [4]. BRINKER C. JEFFREY, *Sol Gel Science*, Academic press limited, London, (1990)
- [5]. <http://www.duramag.com/magnetic-materials/ceramic/default.asp>

- [6]. http://www.cy-magnetics.com/Mag_Info_NdFeB.htm
- [7]. http://www.duramag.com/magnetic_materials/Neodymium/Default.asp
- [8]. BRINKER C. JEFFREY, *Sol Gel Science*, Academic press limited, London, (1990)
- [9]. <http://www.duramag.com/magnet-materials/ceramic/default.asp>
- [10]. G. MAHALINGAM, A. KEYHANI, *Design of 42V/3000W Permanent Magnet Synchronous Generator*, Ohio State University, (2000) 181-191