

Artikel Ilmiah (Hasil Riset)

PENINGKATAN DAYA OUTPUT GENERATOR LISTRIK TIPE AFPMG PADA PUTARAN RENDAH MENGGUNAKAN 3 ROTOR DAN 2 STATOR

Sagita Rochman¹, Akbar Sujiwa²
Universitas PGRI Adi Buana Surabaya
sagita@unipasby.ac.id

ABSTRAK

Axial Flux Permanent Generator Magnet (AFPMG) merupakan generator magnet permanen yang memiliki arah medan fluks sejajar dengan sumbu putar. Fluks tersebut merupakan hasil dari gaya tarik menarik antara dua buah magnet permanen yang memiliki kutub yang berbeda. Generator tipe ini cocok dipakai turbin angin dengan kecepatan angin kisaran 2-6 m/s atau putaran rendah yang sesuai karakter angin di Indonesia. Tujuan penelitian adalah merancang dan menganalisa generator AFPMG yang berputar menggunakan angin kecepatan rendah dan dapat menghasilkan tenaga listrik untuk keperluan rumah tangga. Untuk mendapatkan daya output yang optimal, metode yang digunakan adalah menggunakan 3 rotor dan 2 stator pada AFPMG. Hasil penelitian menunjukkan bahwa purwarupa turbin angin dapat menghasilkan tegangan 30,8 Volt pada kecepatan angin 3 m/s (200,4 rpm), dan menghasilkan tegangan 62,3 Volt pada kecepatan angin 6 m/s (401,2 rpm). Daya output generator yang dihasilkan pada beban dengan resistansi 23 ohm adalah 15,7 W pada 300 rpm dan 98,5 W pada 1.000 rpm. Nilai daya tersebut meningkat 62% dibanding penelitian sebelumnya menggunakan 1 stator dan 2 rotor.

Kata kunci: Generator Turbin Angin, Generator Magnet Permanen Fluks Aksial

ABSTRACT

Axial Flux Permanent Generator Magnet (AFPMG) is a permanent magnet generator that has the direction of the flux field parallel to the rotary axis. The flux is the result of the attraction between two permanent magnets that have different poles. This type of generator is suitable for use by wind turbines with a wind speed range of 2-6 m / s or low speed that matches the wind character in Indonesia. The aim of the study was to design and analyze AFPMG generators that rotate using low speed winds and can generate electricity for domestic use. To get the optimal output power, the method used is to use 3 rotors and 2 stators in AFPMG. The results showed that prototypes of wind turbines can produce a voltage of 30.8 volts at wind speeds of 3 m / s (200.4 rpm), and produce a voltage of 62.3 volts at wind speeds of 6 m / s (401.2 rpm). The output power of the generator produced at a load with 23 ohms resistance is 15.7 W at 300 rpm and 98.5 W at 1,000 rpm. The power value increased by 62% compared to previous studies using 1 stator and 2 rotors.

Keyword: Wind Turbine Generator, Axial Flux Permanent Magnet Generator (AFPMG)

PENDAHULUAN

Kincir angin merupakan salah satu alternatif potensial memenuhi kebutuhan tersebut, khususnya di daerah-daerah kepulauan dengan potensi angin yang tersedia terus-menerus. Kincir angin ini menggunakan tenaga angin yang

dikonversi menjadi energi listrik. Faktor utama yang mempengaruhi besarnya energi listrik yang dihasilkan berada pada ketersediaan dan kecepatan angin serta generator listrik pada kincir angin tersebut [1]

Dengan kondisi angin di Indonesia yang mempunyai kecepatan 2-6 m/s,

maka diperlukan generator yang sesuai untuk kondisi angin tersebut. Generator yang ideal adalah mempunyai karakter kerja putaran rendah. Yakni pada putaran poros rotor 300 –1000 rpm maka generator dapat bekerja mengeluarkan tegangan.

Di Indonesia masih cukup banyak masyarakat yang belum menikmati listrik. Ada beberapa wilayah telah menikmati listrik dengan menggunakan diesel/genset sebagai pembangkit. Dengan potensi angin yang dapat digunakan sebagai alternatif energi yang bersifat terbarukan tentu saja tidak semua wilayah.[2]

Kincir angin merupakan sebuah alat yang digunakan dalam sistem konversi energi angin (SKEA). Kincir angin berfungsi merubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Putaran poros tersebut kemudian digunakan untuk beberapa hal sesuai dengan kebutuhan seperti memutar dinamo atau generator untuk menghasilkan listrik atau menggerakkan pompa untuk pengairan.

Daya (Power) Kincir angin menggunakan persamaan:

$$P = 1/2 C_p \rho A v^3$$

dengan :

P = Power output (W)

C_p = Maximum power coefficient (0.25 - 0.45)

ρ = Air density (kg/m³)

A = Rotor swept area (m²)

v = Wind speed (m/s)

Untuk mengoptimalkan kerja kincir angin maka peletakan pada jarak ketinggian akan memberikan pengaruh

Tip speed ratio (rasio kecepatan ujung) adalah rasio ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. Untuk kecepatan angin nominal yang tertentu, *tip speed ratio* akan berpengaruh pada kecepatan rotor. Kincir angin tipe lift akan memiliki speed ratio yang lebih besar

dibandingkan dengan turbin tipe drag. Besarnya tip speed ratio dapat dihitung dengan persamaan :

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60 v}$$

dengan:

λ = Tip Speed Ratio

D = Diameter rotor (m)

n = Putaran rotor (m/s)

v = kecepatan angin (m/s)

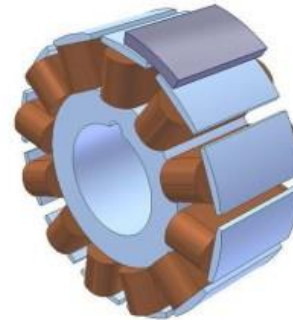
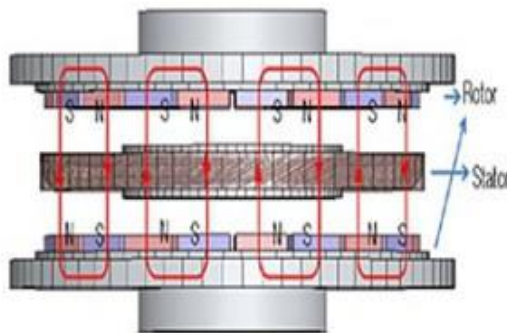
Generator magnet pemanen merupakan generator sinkron yang medan eksitasi dihasilkan oleh magnet permanen bukan gulungan sehingga fluks magnetik dihasilkan oleh medan magnet permanen sehingga tidak memerlukan arus eksitasi DC. Dalam struktur aliran fluksnya, generator magnet permanen memiliki 2 tipe , yaitu tipe aksial (*Axial Fluks Permanent Magnet Generator*) dan tipe radial (*Radial Fluks Permanent Magnet Generator*).

Axial Fluks Permanent Generator Magnet (AFPMG) merupakan generator magnet permanen yang memiliki arah medan fluks sejajar dengan sumbu putar. Fluks tersebut merupakan hasil dari gaya tarik menarik antara dua buah magnet permanen yang memiliki kutub yang berbeda.

Penggunaan dua buah magnet yang terletak diantara dua buah slot disk rotor sehingga bahan stator merupakan bahan non-magnetik. *Axial Fluks Permanent Magnet Generator* memiliki sejumlah keunggulan yang berbeda dari *radial-fluks*, yaitu dapat dirancang untuk memiliki rasio daya tinggi, berkurangnya rasio bahan inti stator, mudah disesuaikan dengan kondisi udara, berkurangnya kebisingan dan tingkat getaran. Selain itu, arah jalan fluks di celah udara dapat bervariasi, sehingga mengurangi topologi tambahan. [2]

Radial Fluks Permanent Magnet Generator (RFPMG) merupakan generator magnet permanen yang memiliki arah fluks radial terhadap sumbu putar sehingga arah fluks searah dengan arah putaran rotor, hal ini dikarenakan fluks dihasilkan oleh magnet magnetik *inner-rotor* yang letaknya melingkari lilitan

bagian luar, sedangkan lilitan terdapat inti dalam yang terhubung pusat rotor. Radial Fluks Permanent Magnet Generator (*RFPMG*) ini memiliki keunggulan yaitu mudah dalam pemasangan magnet permanen ke *inner-rotor* [2]



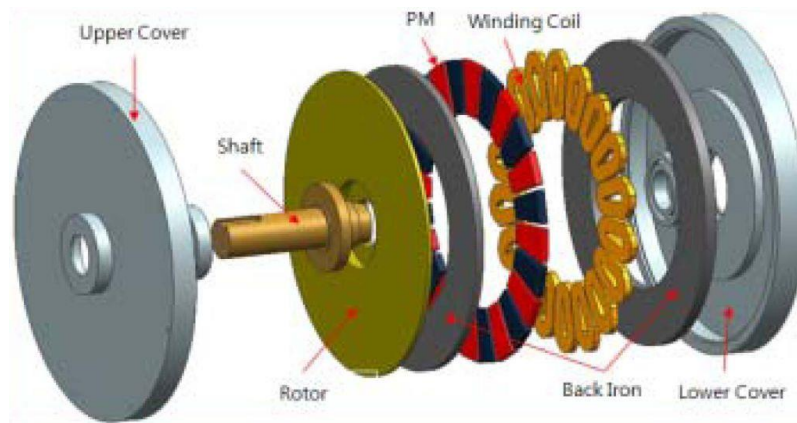
a) Aksial Fluks

b) Radial Fluks

Gambar 1. Tipe generator magnet permanen[2]

Konfigurasi tipe AFPMG, dengan piringan jenis geometri lebih mudah untuk mengintegrasikan ke dalam turbin angin yang dirancang untuk aplikasi kecepatan rendah, dibandingkan dengan tipe fluks radial. Sebuah generator AFPMG menggunakan kekuatan magnet permanen untuk menciptakan medan magnet pada rotor. Karena tidak ada arus listrik yang mengalir ke rotor, maka tidak ada kebutuhan untuk sikat, sehingga dapat meningkatkan kehandalan. Selain itu, AFPMG dapat beroperasi pada kecepatan putaran yang berbeda, sehingga produsen dapat merancang sistem transmisi turbin angin di sekitar topologi yang mereka inginkan, mungkin menggunakan satu atau dua tahap

gearboks untuk kecepatan menengah, atau bahkan menghapus gearboks sama sekali untuk lebih meningkatkan kehandalan. Konsep elektromagnetik dari AFPMG tanpa inti besi stator adalah mirip dengan generator fluks radial, tetapi kurangnya inti besi menghilangkan gaya tarik menarik antara rotor dan stator. Tidak adanya kekuatan-kekuatan ini mengurangi beban struktural pada generator, sehingga penghematan berat material dapat direalisasikan, bahkan pada tingkat daya generator yang lebih tinggi. Dengan menghilangkan kerugian pada inti besi stator, maka AFPMG tanpa inti stator dapat beroperasi pada efisiensi yang lebih tinggi daripada mesin konvensional [5].



Gambar 2. Contoh struktur dasar AFPMG tanpa inti stator [3]

Fluks magnetik mengalir tegak lurus melewati celah udara antara stator dan rotor. Fluks total yang melewati area permukaan magnet yang sama tidak berubah dan kerapatan fluks di celah udara adalah konstan pada arah radial.

Fluks magnet yang dibangkitkan oleh magnet permanen per kutub [4] adalah:

$$\begin{aligned} \Phi_f &= \int_{R_i}^{R_o} \alpha_i B_{mg} \frac{2\pi}{2p} r dr = \alpha_i B_{mg} \frac{\pi}{2p} (R_o^2 - R_i^2) \\ &= \alpha_i B_{mg} \frac{\pi}{8p} D_o^2 (1 - k_d^2) \end{aligned}$$

dengan:

Φ_f : fluks magnetik (Wb)

α_i : rasio densitas fluks rata-rata B_{avg} ke nilai puncak B_{mg} pada celah udara

p : jumlah pasang kutub

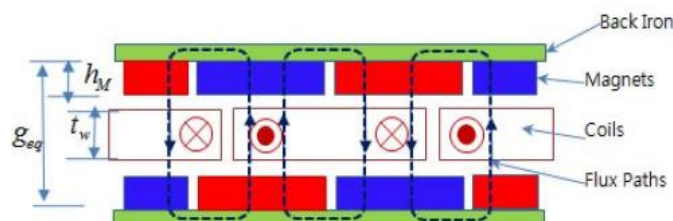
$R_i = 0,5D_i$: jari-jari dalam magnet permanen (m)

$R_o = 0,5D_o$: jari-jari luar magnet permanen (m)

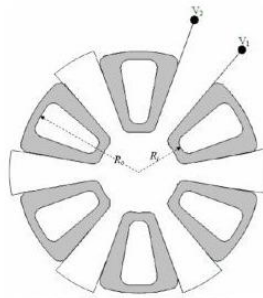
$k_d = R_i/R_o = D_i/D_o$: rasio diameter masing-masing magnet permanen

D_i : diameter dalam pada rotor (m)

D_o : diameter luar pada rotor (m)



Gambar 3. Geometris dan alur fluks pada celah udara [3]



Gambar 4. Koil stator model trapezoidal [3]

Ekivalensi celah udara dari AFPMG tanpa inti stator pada Gambar 3, dinyatakan dengan persamaan [4]

$$g_{eq} = 2 \left(g + 0.5t_w + \frac{h_M}{\mu_{rec}} \right)$$

dengan:

g_{eq} : kerapatan celah udara (m)

t_w : ketebalan aksial koil stator (m)

h_M : tinggi aksial magnet permanen (m)

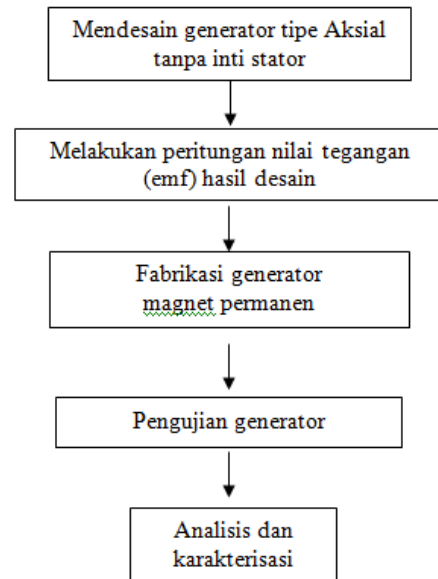
μ_{rec} : *relative recoil permeability* magnet permanen

METODE

Penelitian yang dilakukan adalah penelitian pengembangan yang bertujuan untuk menemukan dan mengembangkan prototype baru atau sudah ada dalam rangka penyempurnaan dan pengembangan sehingga diperoleh hasil yang lebih produktif, praktis, efektif dan efisien [6]

Desain generator menggunakan perangkat lunak Magnet, kemudian dilakukan fabrikasi dan pengujian serta pengambilan data yang selanjutnya

dianalisis.



Gambar 5..Skema Tahapan Penelitian

Desain generator yang akan dibuat adalah tipe AFPMG dengan stator tanpa inti. Rancangan desain terlebih dahulu digambar diperangkat lunak Magnet. Kemudian disimulasikan untuk mengetahui karakteristik generator yang dihasilkan.

Parameter dari generator yang dibuat adalah:

Items	Parameter	Unit	Nilai
Stator	Celah udara	mm	1,0
	Jumlah gulungan	buah	18
	Diameter luar	mm	350
	Diameter dalam	mm	250
	Koil pada tiap gulungan	lilit	120
Rotor	Jumlah magnet	buah	72
	Diameter luar	mm	300
	Diameter dalam	mm	275
	Kecepatan rotor	rpm	300
Umum	Tegangan	V	12-80

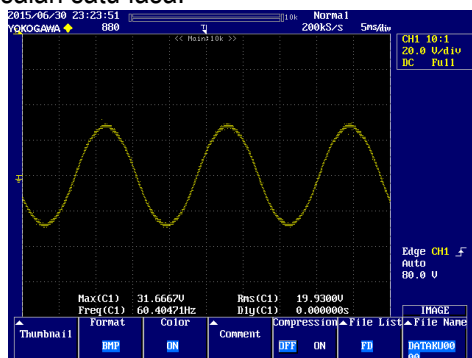
Frekuensi	Hz	120
Fasa	-	3
Daya output	W	400
Area kecepatan	rpm	150-800

HASIL

Tipe generator yang telah dibuat adalah output tegangannya berupa tegangan AC 3 fasa. Dari output ini kemudian dilakukan penggabungan fasa dengan model Star lalu dilakukan perubahan menjadi tegangan DC dengan menggunakan sistem penyearah gelombang penuh melalui 6 dioda. Output tegangan DC ini yang nantinya akan masuk ke rangkaian kontrol untuk proses pengisian baterai pada saat generator ini dipakai sebagai generator turbin angin.

Model rotor yang telah dibuat pada rancang bangun generator tipe AFPMG, terdiri dari susunan magnet permanen berjumlah 24 buah. Magnet permanen yang dipakai ialah jenis magnet Neodymium grade N35 yang mempunyai kekuatan induksi magnetik maksimum 12.500 Gauss.

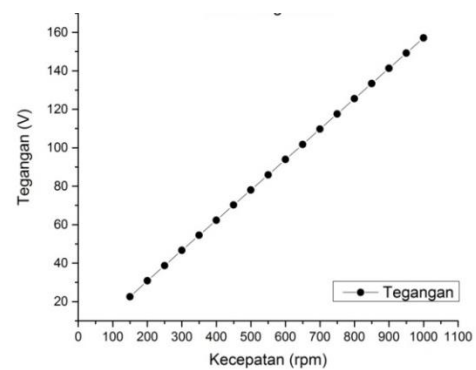
Bentuk gelombang tegangan output generator ditunjukkan pada Gambar 9 yang berbentuk sinusoidal. Data ini diambil pada kondisi *open circuit* saat kecepatan generator 150 rpm pada salah satu fasa.



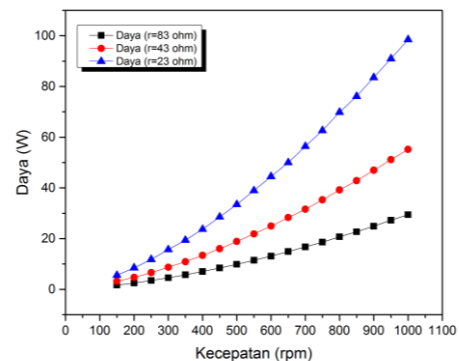
Gambar 6. Tegangan AC satu fasa output generator

Tahapan pengujian generator yang telah dilakukan ialah pengujian generator pada rangkaian terbuka (*open circuit*), dan pengujian generator dengan pembebanan (*close circuit*).

Pengukuran daya output dilakukan dengan pembebanan pada output tegangan generator dengan menggunakan 3 variasi nilai resistansi beban.



Gambar 7. Hasil pengukuran tegangan pada rangkaian terbuka



Gambar 8. Hasil pengukuran daya output dengan variasi beban

Hasil yang didapat dari pengujian generator diperoleh tegangan pada rentang kecepatan angin 3 m/s (200,4 rpm) menghasilkan tegangan 30,8 Volt, dan pada kecepatan 6 m/s (401,2 rpm) menghasilkan tegangan 62,3 Volt.

Daya output generator yang dihasilkan pada beban dengan resistansi 23 ohm adalah 15,7 W pada 300 rpm dan 98,5 W pada 1.000 rpm. Nilai ini diukur dari output generator secara langsung tanpa melalui rangkaian kontrol.

SIMPULAN

Terdapat perbedaan nilai output tegangan dengan selisih 5,2 volt lebih tinggi dibandingkan penelitian yang telah dilakukan penulis sebelumnya, yang berbeda pada jumlah rotor dan statornya yakni 2 rotor dan 1 stator. Namun nilai arus mengalami peningkatan sejumlah 65,2% dibanding penelitian sebelumnya. Sehingga daya output meningkat karena peningkatan nilai tegangan dan arusnya.

Dengan menambahkan jumlah rotor dan stator maka daya output bisa meningkat karena ada peningkatan arus yang signifikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis haturkan terimakasih kepada universitas PGRI Adi Buana yang telah mendanai penelitian ini. Tak lupa juga kami ucapkan terima kasih kepada para dosen senior teknik elektro yang telah memberi arahan ataupun bimbingan guna mendapatkan penelitian yang bagus.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Dipl. Kulturwirt, Gunnar Braun. The Potential of Wind Power as a Renewable
- [2] Dalimi, "Energy Outlook & Statistics", 2001. Universitas Indonesia
- [3] Dae-Won Chung, Yong-Min You, 2014. Design and Performance Analysis of Coreless Axial-Flux Permanent-Magnet Generator for Vol. 19(3), pp. 273-281
- [4] Erich Hau, 2005, Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics 2nd edition. Springer.
- [5] F. J. Gieras, R. J. Wang, and M. J. Kamper, 2008. Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machines, Springer, 2nd edition, 304
- [6] Kurniawan, Benny, 2012. Metodologi Penelitian, Jelajah Nusa, Tangerang