

Rancang Bangun Generator Magnet Permanen Tipe Fluksi Aksial untuk Turbin Angin Sumbu Vertikal

Trihono Sewoyo, Ali Saifullah, Mulyono, MW Aksan, Dimas S

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Malang
Jl Raya Tlogomas 246 Malang 65144
e-mail: trihonosewoyo@gmail.com

Abstrak

Kelemahan utama generator komersial jika dipakai pada turbin angin sumbu vertikal adalah putaran operasionalnya yang tinggi, sehingga diperlukan sistem transmisi untuk menyesuaikan dengan putaran operasional sudu turbin yang pada umumnya rendah. Selain menurunkan efisiensi, sistem transmisi juga menurunkan kemampuan torsi sudu turbin. Generator magnet permanen fluksi aksial (AFPMG-Axial Flux Permanent Magnet Generator) mempunyai karakteristik yang sesuai untuk turbin angin sumbu vertikal (VAWT – Vertical Axis Wind Turbine). Putaran operasional generator dapat disesuaikan dengan putaran operasional sudu turbin sehingga tidak diperlukan sistem transmisi. Data masukan untuk merancang generator berupa voltase luaran yang diinginkan pada putaran tertentu. Dalam hal ini voltase yang diinginkan adalah 15 volt pada putaran 100 rpm. Konstruksi generator dirancang dengan pertimbangan kemudahan bongkar pasang, aman dan andal. Sistem rotor stator yang dipilih adalah satu stator dengan dua rotor yang berhadapan-hadapan. Stator berupa koil yang disusun secara radial dan dicor dengan resin. Sementara rotor berupa magnet permanen yang ditempel dan dicor resin pada plat baja. Pengujian dilakukan dengan menggabung generator ini dengan turbin angin dan diletakkan pada mobil yang sedang berjalan dengan kecepatan yang bervariasi. Hasil pengujian menunjukkan voltase 15 volt dicapai pada 70 rpm pada kondisi tanpa beban. Dalam kondisi pembebanan, voltase kesetimbangan 12.5V tercapai pada putaran 100 rpm. Dari pengujian terlihat beberapa kelemahan ataupun ketidaksesuaian dengan perancangan. Pertama, konstruksi yang dirancang tidak terlalu andal karena pada kecepatan angin di atas 10m/s terjadi gesekan antara rotor dan stator. Hal ini disebabkan desain tumpuan rotor yang berupa flens dan dilekatkan pada poros utama generator tidak terlalu kokoh dan terpengaruh oleh defleksi poros ini. Temuan lain adalah, putaran operasional yang dirancang lebih rendah dari putaran desain. Hal ini diduga karena data magnet yang dimasukkan pada persamaan kurang sesuai dengan nilai fluks magnet komersial yang digunakan. Dalam sisi lain, putaran operasional yang rendah dari generator ini dapat dianggap sebagai keuntungan, karena akan mengakibatkan kecepatan cut-in turbin angin menjadi rendah.

Kata Kunci: *Accu, Fluksi Aksial, Generator, Magnet Permanen, VAWT*

Pendahuluan

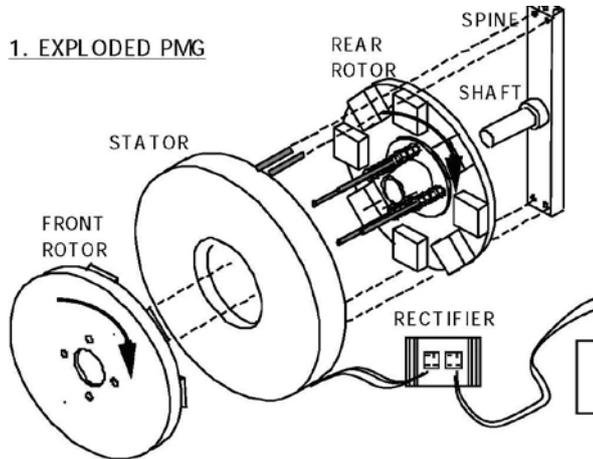
Dalam makalah ini akan diuraikan perancangan, pembuatan dan pengujian generator magnet permanen tipe fluksi aksial. Penggerak generator adalah turbin angin sumbu vertikal dan generator akan digunakan untuk mengisi battery/accu.

Kebanyakan turbin angin skala kecil (di bawah 50kW) menggunakan generator magnet permanen (GMP). Pada umumnya generator terhubung langsung (tanpa transmisi atau *gearbox*) dengan poros utama turbin yang digerakkan oleh baling-baling. GMP yang terhubung langsung ini mempunyai karakteristik perawatan yang mudah dan efisiensi yang tinggi[1]. Ada dua jenis GMP yaitu fluksi aksial dan fluksi radial. Generator fluksi radial

banyak terdapat di pasaran dan sering dipakai oleh konsumen untuk pemakaian umum. Magnet sebagai rotor ditempelkan pada poros sedangkan kumparan kawat sebagai stator terletak melingkari poros ini. Kelebihan generator ini adalah bentuknya yang kompak dengan harga yang relatif murah karena produknya standard. Rata-rata generator jenis ini mempunyai putaran tinggi untuk menghasilkan voltase *rated*-nya. Jika dipakai dalam turbin angin, generator ini memerlukan transmisi atau *gearbox* untuk memutarinya. Dengan demikian, walaupun generatornya sendiri tidak terlalu berat, penambahan gearbox akan menambah beban pada *tower*. Disisi lain, penggunaan transmisi akan menurunkan efisiensi keseluruhan dan mengurangi kemampuan torsi turbin. Oleh karena itu, generator jenis ini kurang sesuai untuk generator turbin angin sumbu

vertikal yang pada umumnya mempunyai efisiensi yang rendah.

Konstruksi generator magnet permanen fluksi aksial dengan satu stator dan dua rotor dapat dilihat pada Gambar 1. *Output* dari generator berupa listrik AC 3 fasa. Listrik ini kemudian diubah menjadi DC dengan menggunakan penyearah (*rectifier*)



Gambar 1. Generator Magnet Permanen Fluksi Aksial[1]

Dalam makalah ini akan diuraikan rancang bangun generator magnet permanen fluksi aksial dan juga data kinerjanya yang nantinya digunakan pada turbin angin sumbu vertikal.

Perancangan

Data masukan untuk memulai perancangan generator adalah voltase luaran pada putaran *rated*nya. Dalam hal ini voltase luaran yang diinginkan adalah 15 volt pada putaran 100 rpm. Voltase 15 volt ini adalah voltase untuk pengisian *battery/accu* 12 V. Sedangkan putaran 100 rpm terkait dengan desain turbin angin penggeraknya.

Prosedur perancangan dan pembuatan generator dapat dilihat pada ref [1,2,3,4]. Gaya Gerak Listrik yang diinduksikan ke stator[5] dapat dinyatakan oleh persamaan (1) berikut:

$$E_{rms} = \frac{E_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{N \cdot \phi_{max} \cdot p \cdot \omega}{\pi \cdot \sqrt{2}} \quad (1)$$

Dari persamaan (1) ini terlihat bahwa tegangan induksi efektif (E_{rms} - volt) berbanding lurus dengan jumlah lilitan per kumparan (N), fluksi magnet (Φ_{max} - W_b). Fluksi magnet ini merupakan perkalian antara kuat medan magnet (B) dalam tesla atau $\left(\frac{Weber}{m^2}\right)$ dengan luas permukaan yang dibentuk oleh lilitan $A(m^2)$, jumlah pasangan *pole* p , dan

putaran rotor generator $\omega \left(\frac{rad}{s}\right)$.

Jika E_{rms} yang diinginkan 15V pada $\omega_s = 100$ rpm (10.47 rad/s), jumlah pasangan pole (magnet) 12, magnet yang digunakan adalah dari jenis *ferrite magnet* dengan ukuran 3 x 5 cm dengan tebal 1.3 cm dan mempunyai *remanence flux* $B_r = 1.0 - 1.4$ tesla[6]. B dapat diasumsikan mempunyai besaran setengah dari B_r [7]. Maka akan diperoleh jumlah lilitan N untuk stator generator yaitu 518 lilitan.

Jumlah pasangan pole untuk rotor 12, maka jumlah koil yang diperlukan untuk satu stator adalah 9. Jadi total magnet yang diperlukan untuk dua rotor generator adalah 24 buah.

Pemilihan pasangan magnet dan koil(kumparan) ini mengikuti Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Pasangan Koil - Magnet Generator 3 fasa[9]

Jumlah Koil	Jumlah Magnet	Jumlah Koil / Fasa
6	8	2
9	12	3
12	16	4
15	20	5
18	24	6

Dari Tabel 1 di atas, untuk mencapai putaran operasi yang rendah sebesar 100 rpm, diperlukan generator dengan 9 buah koil dengan jumlah lilitan 518 dan magnet 12 buah per satu rotor atau total 24 buah magnet.

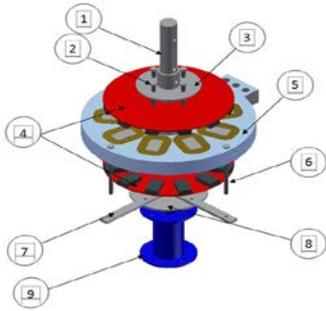
Pemilihan diameter kawat email mengikuti standard AWG (*American Wire Gauge*). Sebagian standard ini ditabelkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Diameter kawat email menurut AWG [12]

AWG gauge	Diameter Inches	Diameter mm	Ohms per 1000 ft	Ohms per km	Maximum amps for chassis wiring	Maximum amps for power transmission
0000	0.46	11.684	0.049	0.16072	380	302
000	0.4096	10.40384	0.0618	0.202704	328	239
00	0.3648	9.26592	0.0779	0.255512	283	190
0	0.3249	8.25246	0.0983	0.322424	245	150
1	0.2893	7.34822	0.1239	0.406392	211	119
2	0.2576	6.54304	0.1563	0.512664	181	94
20	0.032	0.8128	10.15	33.292	11	1.5
21	0.0285	0.7239	12.8	41.984	9	1.2
22	0.0254	0.64516	16.14	52.9392	7	0.92
23	0.0226	0.57404	20.36	66.7808	4.7	0.729

Accu yang dipilih adalah accu kering mempunyai spesifikasi 12V 7Ah. Pada saat accu kosong, arus pengisian yang diperlukan berkisar antara 3 – 5 A. Dari data ini, dipilih kawat email dengan nomor AWG 21 – 22 yang mampu menahan arus sampai 7 – 9 A. Kawat email yang tersedia dipasaran mempunyai diameter 0.7 mm. Kawat dengan ukuran ini yang dipilih sebagai bahan koil.

Konstruksi susunan generator dapat dilihat pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Susunan Generator Fluksi Aksial

Dari Gambar 2 terlihat bahwa generator akan diputar oleh turbin angin melalui poros (1). Poros turbin berupa pipa sehingga dapat dimasukkan ke poros generator dan kemudian dikunci dengan baut. Dua rotor (4) yang masing-masing membawa 12 magnet ditempelkan ke poros melalui flange (3) dan flange ini berfungsi pula menghubungkan kedua rotor melalui baut penghubung (2). Stator (5) dalam keadaan diam dan dipegang oleh pasak stator (6) yang selanjutnya dihubungkan dengan lengan (7) yang dibautkan ke flange/dudukan generator bagian bawah (9).

Pembuatan

Proses pembuatan prototipe generator fluksi aksial dapat diuraikan menjadi beberapa kegiatan berdasarkan komponen utamanya. Proses ini meliputi : pembuatan stator, pembuatan rotor, pembuatan poros generator, pembuatan flange stator dan rotor dan pembuatan dudukan poros generator.

Pembuatan stator dan rotor memerlukan *jig* dan *fixture* yang dibuat dan didesain khusus untuk keperluan ini. Gambar 3 merupakan contoh jig untuk menggulung kawat email.



Gambar 3. Jig untuk menggulung kawat email [10]

Setelah kawat email tergulung, gulungan ini

kemudian disusun secara radial dan ditempatkan pada wadah khusus sebagai cetakan untuk selanjutnya di cor dengan menggunakan campuran pembuat resin dengan perbandingan tertentu. Prosesnya dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Penuangan resin pada susunan koil [10]

Untuk menempatkan magnet, jig yang diperlukan adalah lembaran kayu tripleks yang dibentuk seperti Gambar 5.



Gambar 5. Jig untuk menempatkan magnet [10]

Susunan magnet tersebut dilemkan pada plat baja kemudian dicor resin dengan ketebalan yang tipis saja untuk memperkuat peletakan magnet, sehingga tidak terlepas saat berputar. Bagian rotor yang memuat 12 magnet dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Rotor dengan 12 magnet [10]

Hasil akhir pembuatan generator yang sudah dirakit terlihat pada Gambar 7.

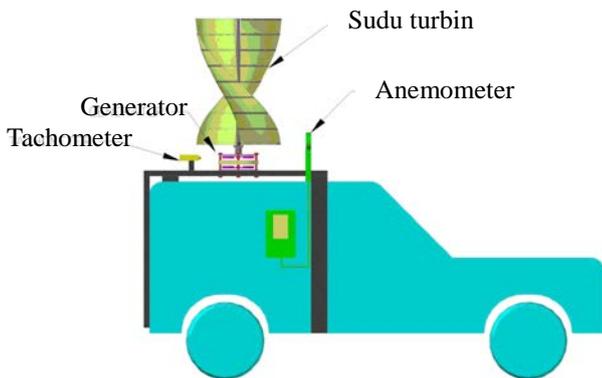


Gambar 7. Generator Magnet Permanen Fluksi Aksial [10]

Pengujian

Pengujian generator dimaksudkan untuk memperoleh data kinerja generator yang berupa grafik voltase vs putaran baik dengan beban maupun tanpa beban. Kinerja juga dapat dilihat pada grafik daya vs putaran pada besar beban tertentu. Pengujian dilakukan bersamaan dengan pengujian turbin. Pengujian dilakukan dengan memasang set-up pengujian di atas mobil. Secara skematik pengujian dapat dilihat pada Gambar 8.

Kecepatan angin diukur dengan menggunakan *anemometer*. Putaran poros diukur dengan menggunakan *laser tachometer*. Voltase dan arus keluaran generator diukur dengan menggunakan *AVometer* digital. Luaran generator diukur pada keadaan tanpa beban maupun ada pembebanan. Dalam hal ini beban berupa accu/battery kering 12V 7Ah dengan voltase awal 10.8 V dan resistor 11 ohm.



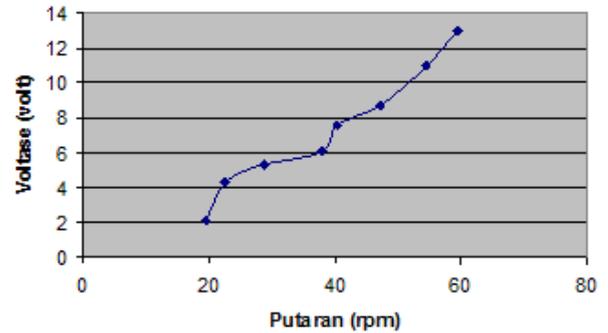
Gambar 8. Skema Pengujian Generator[8]

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian generator tanpa beban dapat dilihat pada Gambar 9 berikut.

Pengujian dilakukan di malam hari untuk memperoleh kondisi lingkungan dengan angin alami yang minimal. Dengan demikian angin yang memutar sudu turbin diharapkan murni dari pergerakan mobil. Grafik berupa voltase terhadap putaran.

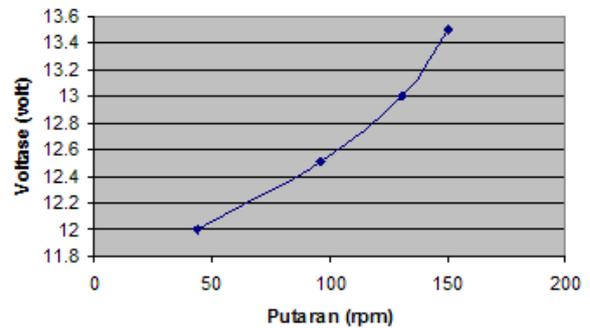
Generator Tanpa Beban



Gambar 9. Voltase vs Putaran Generator Tanpa Beban

Dari Gambar 9, jika diekstrapolasi akan diperoleh voltase luaran 15 V tercapai pada putaran sekitar 70 rpm. Putaran ini masih dibawah putaran desain yang besarnya 100 rpm. Fakta ini cukup baik mengingat jumlah lilitan dapat diturunkan untuk memperoleh putaran desain, sehingga dapat mengurangi dimensi stator dan juga biaya, mengingat harga kawat email tembaga cukup mahal.

Generator: Beban Accu

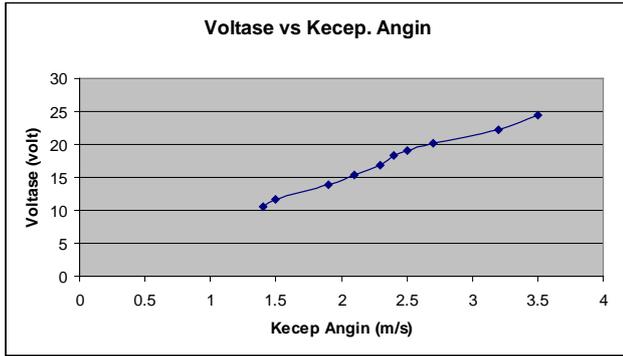


Gambar 10. Voltase vs Putaran Generator dengan Beban Accu

Dalam keadaan terbebani, voltase terukur merupakan voltase kesetimbangan antara accu dan generator. Dari Gambar 10, terlihat bahwa di atas voltase kesetimbangan 13V, grafik cenderung menjadi tidak linear. Perlu diingat bahwa voltase pengisian accu yang terlalu tinggi dapat merusakkan accu. Terlihat pula pada putaran 100 rpm, voltase kesetimbangan berkisar di angka 12.5V. Kenyataan ini menunjukkan kinerja generator yang didesain sudah cukup baik, mengingat pada putaran yang cukup rendah, generator sudah menghasilkan voltase kesetimbangan di atas 12 V.

Disisi lain, pada kecepatan angin sekitar 3.5 m/s saja, generator menghasilkan voltase luaran sekitar 24V (Gambar 11). Hal ini dianggap terlalu tinggi karena kebutuhan voltase pada kecepatan angin desain 5 m/s hanya 15V. Dengan demikian rancangan pada jumlah

kumparan pada koil stator harus dilakukan ulang.



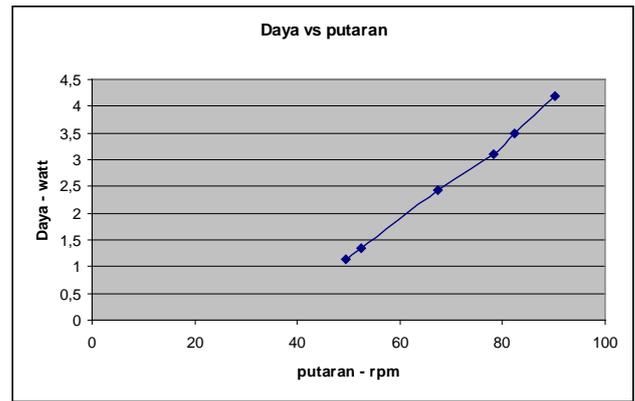
Gambar 11. Voltase vs Kecepatan Angin

Hal lain yang perlu dicermati adalah arus yang dihasilkan saat uji pembebanan. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 3. Dari Tabel 3 ini terlihat bahwa arus yang terjadi saat kecepatan angin 5 m/s hanya sebesar 0.36A. Hal ini juga perlu menjadi pertimbangan pada perbaikan desain generator selanjutnya.

Tabel 3. Pengujian Lapangan SKEA dengan generator dengan beban accu (Sewoyo T et al, 2011)

Arus (Amper)	Voltase (Volt)	Kecep. Angin (m/s)	Putaran (rpm)
0	11.9	2.1	40
0.01	12.04	2.6	46.2
0.10	12.30	3.0	49.3
0.14	12.45	3.0	59.3
0.24	12.72	4.0	62.3
0.36	13.45	5.0	72.0
0.63	15.57	6.0	98.8
0.63	15.98	7.0	109.3

Pengujian dengan beban resistor 11 ohm, menghasilkan grafik daya vs rpm seperti pada Gambar 12 berikut,



Gambar 12. Daya vs putaran, beban resistor 11 ohm

Dari segi konstruksi, ada kelemahan desain perletakan rotor pada porosnya. Pada kecepatan di atas 10 m/s, beban momen yang terjadi pada poros generator akibat defleksi pada poros sudu turbin, mengakibatkan gesekan antara rotor dengan stator. Hal ini menunjukkan bahwa perlu perbaikan desain pada dudukan rotor pada poros.

Kesimpulan

Dari keseluruhan kegiatan dapat disimpulkan hal-hal berikut:

Generator magnet permanent fluksi aksial hasil rancang bangun mempunyai spesifikasi jumlah magnet per sisi 12 buah, koil 9 buah dengan jumlah lilitan 518. Magnet terbuat dari Ferrite sinter dengan dimensi 1 x 2 x 5 cm dan koil dari gulungan kawat email tembaga dengan diameter 0.7 mm.

Generator tanpa beban menghasilkan voltase 15 volt pada putaran sekitar 70 rpm, sedangkan generator dengan beban accu 12V 7 Ah menghasilkan voltase kesetimbangan 12.5V pada putaran sekitar 100 rpm.

Diperlukan perbaikan lebih lanjut dari prototipe generator ini baik dari segi rancangan konstruksi maupun dari sisi rancangan elektriknya agar dapat dipakai oleh masyarakat.

Ucapan Terima kasih

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian utama yang berjudul “ Rancang Bangun Sistem Konversi Energi Hibrid (SKEH) untuk Lampu Penerangan Jalan” yang dibiayai oleh Ditjen Dikti Kemendiknas dengan nomor kontrak E.5.c/478/DPP-UMM/L/IV/2011 Tanggal 21 April 2011.

Referensi

1. Piggot H, "*The Permanent Magnet Generator (PMG): A Manual for Manufacturers and Developers*" Scoraige Wind Electric, 2001
2. Sugeng, Herman" *Perancangan, Pembuatan, dan Pengujian Generator Fluksi Aksial*" Tugas Akhir, Teknik Mesin UMM 2009
3. Price et al" *Design and Testing of a Permanent Magnet Axial Flux Wind Power Generator*" Proceedings of The 2008 IAJC-IJME International Conference
4. Fernandes BG" *Generators for wind power conversion*", Department of Electrical Engineering, IIT, Bombay 2004
5. Parviainen, "*Modelling of Axial Flux Permanent Magnet Machines*", IEEE Transactions on Industry Applications, 2004
6. Wikipedia, The free encyclopedia "Magnet"
7. Piggot H, "*Wind Turbine Recipe Book*", Metric Edition 2008
8. Sewoyo T, Wardhana FA, "*Perancangan Turbin Angin dengan sudu tipe Helix untuk pengisian battery*" Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin 2010, Teknik Mesin UNRAM, Mataram 2010
9. Steven Fahey, "*Basic Principles Of The Homemade Axial Flux Alternator*", 2006
10. Aksan MW, Dimas S "*Perancangan, Pembuatan dan Pengujian Generator Magnet Permanen untuk Turbin Angin Sumbu Vertikal*", Skripsi Tugas Sarjana T Mesin UMM, 2011
11. Sewoyo T, Saifullah A, "*Rancang Bangun Sistem Konversi Energi Hibrid (SKEH) untuk Lampu Penerangan Jalan*", Laporan Penelitian Hibah Bersaing Bidang Rekayasa, 2011
12. Steven Fahey, "*Performance Testing a Homebrew Axial Flux Generator*", 2007