

PEMANFAATAN GENERATOR SINKRON AFWR SEBAGAI MOTOR SINKRON AFWR

Abdul Multi^{1*}, Budiyanto², Sugianto³

^{1,3} Program Studi Teknik Elektro, ISTN

Jl. Moh. Kahfi II, Jagakarsa Jakarta 12640

² Program Studi Teknik Elektro, UMJ

Jl. Cempaka Putih Tengah I No.1 Jakarta Pusat 10510

*amulti@istn.ac.id

ABSTRAK

Generator sinkron Axial Flux Wound Rotor (AFWR) tiga fasa yang telah selesai dirancang bangun dilakukan pengujiannya. Generator ini perlu juga dilakukan pengujian bila dioperasikan sebagai motor sinkron AFWR. Hal ini dilakukan agar dapat dilihat performanya baik sebagai generator maupun sebagai motor. Dengan demikian mesin ini dapat digunakan baik sebagai pembangkit listrik maupun sebagai penggerak mekanik. Pada mesin sinkron ini dilakukan pengujian berbeban. Untuk generator setelah diputar oleh penggerak mula dan diberikan beban listrik kemudian diperoleh hasil pengukurannya. Begitu pula, untuk motor setelah dihubungkan dengan suplai listrik dan diberikan beban mekanik kemudian diperoleh hasil pengukurannya. Pengujian dilakukan pada besaran nominal. Efisiensi generator sinkron AFWR dari hasil pengujian pada celah udara 0,5 mm diperoleh 61,61 % pada beban penuh dengan tegangan eksitasi 10,85 V. Sedangkan efisiensi motor sinkron AFWR dari hasil pengujian pada tegangan terminal 380 V dan tegangan eksitasi 9,53 V diperoleh 73,58 %.

Kata kunci: mesin sinkron, fluks aksial, rotor belitan, efisiensi, daya output.

ABSTRACT

Three phase Axial Flux Wound Rotor (AFWR) synchronous generator which has been designed and built is carried out the test. This generator should also be tested when it is operated as an AFWR synchronous motor. It is done so that the performance can be seen both as a generator or as a motor. Therefore this machine can be used both for generating electricity or as mechanical drive. At the synchronous machine, it is carried out the load testing. For the generator, after it is turned by the prime mover and connected to the electrical load, then the measurement results are obtained. Similarly, for the motor, after being connected to the electricity source and supplying mechanical load, then the measurement results are obtained. Tests are carried out on the rated load. The efficiency of AFWR synchronous generator from the test results in an air gap of 0.5 mm is obtained 61.61% at full load with an excitation voltage of 10.85 V. While the efficiency of AFWR synchronous motor from the test results on the terminal voltage of 380 V and excitation voltage of 9.53 V is obtained 73.58%.

Keywords : *synchronous machine, axial flux, wound rotor, efficiency, output power.*

PENDAHULUAN

Motor listrik berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Sedangkan generator mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Motor dan generator dapat diwujudkan pada mesin yang sama, tetapi dalam dua proses yang terbalik. Mesin listrik yang secara fisik sama dapat dioperasikan baik sebagai generator ataupun

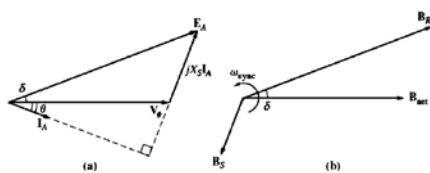
motor tergantung pada arah aliran daya yang melaluinya. Mesin listrik biasanya terdiri dari kumparan pada stator dan rotor yang diletakkan didalam medan magnet. Ketika arus listrik mengalir melewati kumparan rotor pada motor listrik, maka akan dihasilkan torsi pada rotor dan rotor berputar. Kerja generator merupakan kebalikan dari motor. Sumber energi mekanik eksternal (aliran air, angin, mesin) digunakan

untuk memutar rotor. Dengan demikian akan terdapat medan magnet putar rotor yang melalui kumparan stator. Sehingga tegangan diinduksikan pada kumparan stator dan akan menyuplai tegangan ke beban.

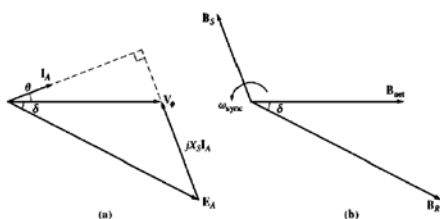
Mesin yang sama berlaku baik sebagai generator maupun motor. Perbedaan diantara keduanya hanyalah apakah gaya eksternal yang diterapkan dalam arah gerakan (generator) atau berlawanan terhadap arah gerakan (motor). Secara listrik, bila tegangan induksi lebih besar dari tegangan terminal, maka mesin berlaku sebagai generator, atau bila tegangan induksi lebih kecil dari tegangan terminal, maka mesin berlaku sebagai motor.

Pada saat mesin listrik sebagai generator atau motor, maka keduanya gaya induksi (kerja motor) and tegangan induksi (kerja generator) ada pada setiap saat. Hal ini umumnya terdapat pada semua mesin dimana kedua kerja tersebut ada dan hanya arah gaya eksternal relatif yang berkaitan dengan arah gerakan yang menentukan apakah suatu mesin berlaku sebagai generator atau motor.

Perbedaan dasar antara kerja generator dan motor pada mesin sinkron dapat dilihat baik pada diagram medan magnet atau pada diagram fasor pada Gambar 1 dan 2. Pada generator, E_A terletak didepan V_ϕ dan B_R terletak didepan B_{net} . Sedangkan pada motor, E_A terletak dibelakang V_ϕ dan B_R terletak dibelakang B_{net} . Pada motor, torsi induksi searah dengan arah gerakan. Sedangkan pada generator torsi induksi merupakan torsi yang berlawanan dengan arah gerakan.



Gambar 1. (a) Diagram fasor generator sinkron yang bekerja pada faktor daya lagging. (b) Diagram medan magnet yang terkait



Gambar 2. (a) Diagram fasor motor sinkron. (b) Diagram medan magnet yang terkait

METODE

Setelah generator sinkron AFWR selesai dirancang bangun, maka dilakukan pengujian dengan melakukan pengukuran-pengukuran menggunakan alat-alat ukur di laboratorium. Pada awalnya pengujian dilakukan oleh para teknisi di GMF (Garuda Maintenance Facility) untuk memeriksa konstruksi generator, kumparan dan hasil keluaran. Pengujian berikutnya dilakukan oleh asisten laboratorium Universitas Muhammadiyah Jakarta untuk memeriksa putaran generator menggunakan inverter ABB 2,2 kW. Pada akhirnya untuk pengujian final dilakukan di laboratorium Teknik Mesin ISTN Jakarta untuk mengukur secara lengkap unjuk kerja generator AFWR.

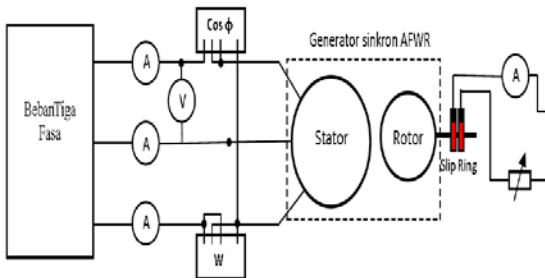
Adapun pengujian yang dilakukan terhadap generator AFWR meliputi:

1. Pengujian beban nol
2. Pengujian berbeban
3. Pengujian putaran tidak konstan
4. Pengujian perubahan celah udara
5. Pengujian hubung singkat
6. Pengujian kenaikan temperatur
- 7.

Untuk melakukan pengujian pada generator AFWR digunakan motor induksi sebagai penggerak utama yang putarannya diatur dengan inverter dan alat-alat ukur baik listrik maupun mekanik. Alat-alat ukur listrik terdiri dari amper meter dan voltmeter dc, amper meter dan voltmeter ac, clamp on high tester dan tang amper. Sedangkan alat ukur mekanik terdiri dari tachometer, jangka sorong dan filler gauge. Rangkaian pengujian dan peralatan-peralatan yang digunakan pada pengujian generator AFWR ditunjukkan masing-masing pada Gambar 3 dan 4.

Nilai parameter-parameter mesin yang diperoleh dari hasil perhitungan dengan MATLAB digunakan untuk menganalisis kinerja mesin yang berpatokan pada daya output. Rugi besi diasumsikan 5% dan rugi gesekan dan angin 7% dari daya output. Pokok masalahnya diarahkan pada daya output dan efisiensi. Daya output telah ditetapkan tertentu besarnya, sedangkan efisiensi dicari nilai yang tertinggi. Dengan mengubah-ubah suatu

parameter, maka daya output dan efisiensi akan berubah.



Gambar 3 Rangkaian pengujian generator AFWR



Gambar 4. Peralatan pengujian generator AFWR

Efisiensi dicari pada nilai yang optimal tetapi dengan daya output yang tetap. Efisiensi yang optimal dapat diperoleh dengan mengubah parameter optimisasi yang terdiri dari celah udara, tegangan eksitasi, diameter konduktor dan jumlah lilitan stator. Spesifikasi kerja mesin yang diperlukan ditunjukkan pada Tabel 1.

Hasil perhitungan menunjukkan kinerja mesin pada daya output 1 kW dan efisiensi 85% ditunjukkan pada Tabel 2. Dengan mengubah parameter optimisasi, maka parameter-parameter mesin lainnya juga berubah. Pada perhitungan efisiensi, parameter optimisasi direntangkan sedangkan efisiensi dan daya output diperiksa dan dipilih. Dari hasil perhitungan diperoleh pula dimensi alur-alur

stator dan rotor. Alur-alur stator dan rotor yang belum dililit diperlihatkan pada Gambar 5.

Tabel 1. Spesifikasi kerja mesin yang diperlukan

Daya output (W)	1.000
Tegangan terminal (V)	380
Jumlah kutub	8
Frekuensi (Hz)	50
Faktor daya	0,83

Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa pada celah udara 0,5 mm, tegangan eksitasi 10 V, diameter konduktor stator 0,5 mm dan jumlah lilitan stator per fasa 440 lilitan memberikan solusi terbaik. Pengaruh perubahan celah udara, tegangan eksitasi, jumlah lilitan dan diameter konduktor stator terhadap efisiensi ditunjukkan masing-masing pada Gambar 7, 8, 9 dan 10.

Table 2. Parameter optimisasi pada efisiensi 85% dan daya output 1kW.

Celah udara (mm)	0,5
Tegangan eksitasi (V)	10
Jumlah lilitan stator per fasa	440
Diameter konduktor (mm)	0,5

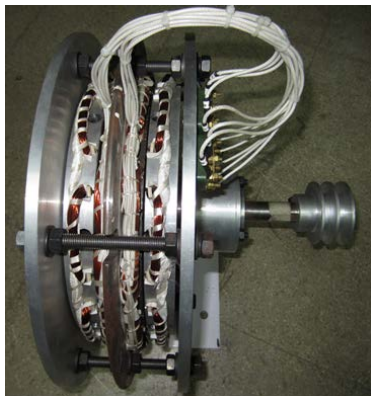
Dimensi stator dan rotor termasuk alur-alurnya dipertahankan tetap dalam perhitungan optimisasi. Sehingga perubahan jumlah lilitan dan diameter konduktor stator harus diperiksa apakah masih memenuhi syarat atau tidak untuk dimensi alur tersebut.



Gambar 5. stator tunggal alur ganda terletak

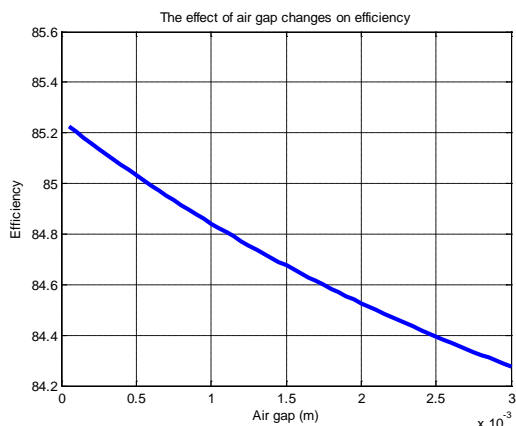
diantara dua rotor yang belum dililit.

Pemeriksaan persyaratan didasarkan pada faktor pengisian alur (*slot fill factor*). Untuk jumlah lilitan stator N_1 440 lilitan, jumlah konduktor per alur 220 dan diameter konduktor d_a 0,5 mm, maka berdasarkan perhitungan diperoleh faktor pengisian alur k_{fs} sebesar 0,3629. Alur-alur stator dan rotor yang sudah dililit diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Stator dan rotor yang telah dililit

Faktor pengisian alur untuk mesin tegangan rendah dengan konduktor persegi diasumsikan 0,6. Sedangkan faktor pengisian alur untuk mesin tegangan rendah dengan konduktor bulat sekitar 0,4. Pada standar mesin, konduktor tembaga menempati hanya setengah dari ruang kumparan alur, sehingga faktor pengisian alur sebesar 0,5.

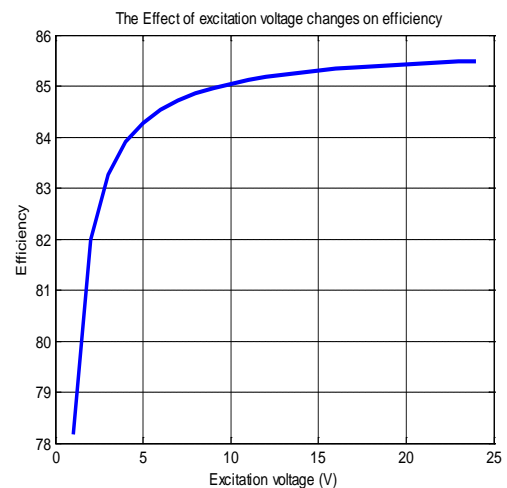


Gambar 7. Pengaruh perubahan celah udara pada efisiensi

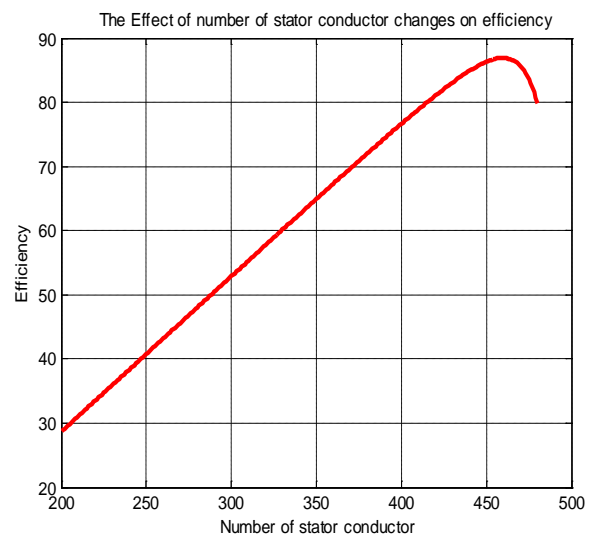
Pada Gambar 7 diperlihatkan hubungan antara celah udara dengan efisiensi dari hasil perhitungan pada generator AFWR. Lebar celah

udara pada mesin fluks aksial berbeda-beda dari 0,3 mm sampai 6 mm seperti pada mesin AFPM jenis torus. Sedangkan pada perhitungan ini lebar celah udara dibatasi sampai 3 mm (3×10^{-3} m).

Dari perhitungan diperoleh bahwa mesin sinkron tiga fasa AFWR mempunyai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan motor induksi (rotor tembaga), motor asinkron (*single layer*) dan motor asinkron (kumparan 3 fasa sinusoida) dengan daya output yang hampir sama. Efisiensi yang lebih tinggi tersebut diperoleh dengan memanfaatkan parameter optimisasi yang telah dihitung sebelumnya. Perbandingan efisiensi pada beberapa mesin ditunjukkan pada Tabel 2.

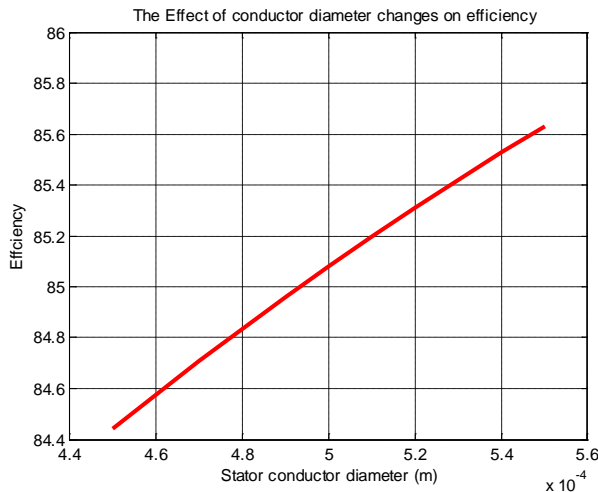


Gambar 8. Pengaruh perubahan tegangan eksitasi pada efisiensi



Gambar 9. Pengaruh perubahan jumlah

lilitan pada efisiensi



Gambar 10. Pengaruh perubahan diameter konduktor pada efisiensi

Tabel 2 Perbandingan efisiensi pada beberapa mesin arus bolak balik

Type of Machine	Rated Power (W)	Losses (W)	Efficiency (%)
Induction Motor (copper rotor)	1.100	229,2	82,8
Asynchronous Motor (single layer)	1.008	402	71,5
Asynchronous Motor (sinusoida 3 phase winding)	1.103	337	76,6
AFWR Synchronous Machine	1.000	184.6	85

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memperoleh efisiensi generator AFWR berdasarkan hasil pengujian, maka diperlukan data hasil pengujian yang meliputi daya output (beban), arus beban penuh, rugi tembaga, rugi besi, rugi mekanik, rugi sikat dan rugi lain-lain (*stray load losses*). Dari hasil pengujian-pengujian diperoleh daya output, arus stator, hambatan kumparan stator, hambatan kumparan rotor, dan arus rotor. Arus stator dan hambatan stator diperlukan untuk memperoleh rugi tembaga stator, arus rotor dan hambatan rotor diperlukan untuk memperoleh rugi tembaga rotor dan rugi pada sikat.

Dari hasil pengukuran hambatan, diperoleh ketiga hambatan kumparan pada dua sisi stator yang terhubung bintang masing-masing sebesar 25,950 Ω, 26,465 Ω, 26,085 Ω, sehingga besar hambatan stator rata-rata yang terhubung paralel sebesar 13,085 Ω. Sedangkan

hambatan kumparan pada dua sisi rotor yang terhubung paralel diperoleh sebesar 0,396 Ω. Sehingga rugi tembaga stator dan rotor dapat dihitung menggunakan masing-masing persamaan 1 dan 2.

$$\Delta P_{lw} = m_1 I_a^2 R_1 \quad (1)$$

$$\Delta P_{rw} = I_f^2 R_f \quad (2)$$

Dengan arus armatur pada beban penuh 1,60 A, maka diperoleh rugi tembaga pada stator 100,49 W dan arus yang mengalir pada kumparan medan 21,43 A, maka rugi tembaga pada rotor 181,84 W.

Rugi besi yang terdiri dari rugi arus eddy dan rugi histerisis diperoleh menggunakan persamaan (3)

$$P_{core} = 0,05 P_{out} \quad (3)$$

Dengan daya keluaran 1000 W, maka diperoleh Rugi besi 50 W.

Rugi mekanik yang terdiri dari rugi gesekan dan angin diperoleh menggunakan persamaan (4)

$$P_{f\&w} = 0,01 P_{out} \quad (4)$$

Dengan daya keluaran 1000 W, maka diperoleh 10 W.

Rugi listrik pada sikat diperoleh dengan menggunakan persamaan (5)

$$P_{bcl} = 2 \Delta V_b I_f \quad (5)$$

Dengan drop tegangan pada setiap sikat ΔV_b 0,5 V (kurang dari 1 volt), maka diperoleh 21,43 W.

Rugi lain-lain (*stray load loss*) diperoleh menggunakan persamaan (6)

$$\Delta P_{stray} = 0,2 \Delta P_{lw} \quad (6)$$

Dengan rugi tembaga stator 100,49 W, maka diperoleh rugi lain-lain 20,1 W.

Dengan menjumlahkan semua rugi-rugi, maka diperoleh rugi total 383,86 W sehingga efisiensi generator AFWR pada celah udara 0,5 mm diperoleh 61,61 %.

Untuk mendapatkan efisiensi generator AFWR pada celah udara 0,7 mm, maka digunakan cara yang sama seperti pada celah udara 0,5 mm diatas, sehingga efisiensi generator AFWR pada celah udara 0,7 mm diperoleh 43,07 %. Perbandingan efisiensinya antara kedua celah tersebut diperlihatkan pada Tabel 3.

Efisiensi generator AFWR hasil perhitungan perancangan yang terdapat pada bagian metoda diatas diperoleh sebesar 85%, sedangkan efisiensi yang diperoleh dari hasil

pengujian pada celah udara 0,5 mm sebesar 61,61 %. Dari kedua hasil tersebut tampak perbedaan efisiensi sebesar sebesar 23,38 %. Perbedaan tersebut ditimbulkan oleh faktor-faktor elektrik, magnetik dan mekanik antara lain celah udara yang tidak rata, arus eksitasi yang tidak murni sebagai arus searah, ketidaklurusan (*alignment*) poros, ketidakseimbangan piringan rotor, penggulungan laminasi inti besi yang kurang baik dan tekanan pada bearing yang tidak merata.

Tabel 3. Efisiensi mesin pada celah udara 0,7 mm dan 0,5 mm

Rugi/Efisiensi	Celah Udara	
	0,7 mm	0,5 mm
Rugi tembaga stator (W)	100,49	100,49
Rugi tembaga Rotor (W)	356,40	181,84
Rugi besi (W)	50	50
Rugi mekanik (W)	10	10
Rugi sikat (W)	30	21,43
Rugi lain-lain (W)	20,10	20,10
Efisiensi (%)	43,30	61,61

Untuk memperoleh efisiensi motor AFWR berdasarkan hasil pengujian, maka diperlukan data yang meliputi daya output, arus beban penuh, rugi tembaga, rugi besi, rugi mekanik, rugi sikat dan rugi lain-lain (*stray load losses*). Dari hasil pengujian-pengujian diperoleh daya output, arus stator, resistans kumparan stator, resistans kumparan rotor, dan arus rotor. Arus stator dan resistans stator diperlukan untuk memperoleh rugi tembaga stator, arus rotor dan hambatan rotor diperlukan untuk memperoleh rugi tembaga rotor dan rugi pada sikat.

Dari hasil pengujian tersebut diperoleh ketiga resistans kumparan pada dua sisi stator yang terhubung bintang dan terhubung paralel sebesar 13,085 Ω . Sedangkan hambatan kumparan pada dua sisi rotor yang terhubung paralel diperoleh sebesar 0,396 Ω . Sehingga

rugi tembaga stator dan rotor dapat dihitung menggunakan masing-masing persamaan (7) dan (8) berikut ini

$$P_{scl} = 3 I_1^2 R_1 \quad (7)$$

$$P_{rc1} = 3 I_f^2 R_f \quad (8)$$

Dengan arus armatur pada beban penuh 1,60 A, maka diperoleh rugi tembaga pada stator 100,49 W dan arus yang mengalir pada kumparan medan 20 A, maka rugi tembaga pada rotor 158,40 W.

Rugi besi yang terdiri dari rugi arus eddy dan rugi histerisis diperoleh menggunakan persamaan (3). Dengan daya keluaran 1.000 W, maka diperoleh Rugi besi 50 W.

Rugi mekanik yang terdiri dari rugi gesekan dan angin diperoleh menggunakan persamaan (4). Dengan daya keluaran 1.000 W, maka diperoleh rugi mekanik 10 W.

Rugi listrik pada sikat diperoleh dengan menggunakan persamaan (5). Dengan drop tegangan pada setiap sikat ΔV_b 0,5 V (kurang dari 1 volt), maka diperoleh 20 W.

Rugi lain-lain (*stray load loss*) diperoleh menggunakan persamaan (6). Dengan rugi tembaga stator 100,49 W, maka diperoleh rugi lain-lain 20,1 W.

Dengan menjumlahkan semua rugi-rugi, maka diperoleh rugi total 358,99 W sehingga efisiensi generator AFWR pada celah udara 1,5 mm diperoleh 73,58 %.

Torsi pada motor diperoleh sebesar 12,73 Nm dari daya output 1.000 W dan kecepatan putaran poros 750 rpm atau 78,54 rad/det.

SIMPULAN DAN SARAN

Pada pengujian beban penuh generator sinkron AFWR dengan lebar celah udara disetel pada 0,5 mm, tegangan eksitasi yang dibutuhkan 10,85 V dan putaran poros 750 rpm, maka diperoleh tegangan terminal 380 V dan frekuensi 50 Hz. Pada pengujian perubahan celah udara diperoleh bahwa semakin besar celah udara, maka semakin besar tegangan eksitasi yang dibutuhkan, untuk menghasilkan tegangan terminal 380 V pada celah udara 0,3 mm, 0,5 mm dan 0,7 mm diperlukan tegangan eksitasi masing-masing 5,5 V, 5,61 V dan 6,94 V. Efisiensi generator sinkron AFWR dari hasil pengujian pada celah udara 0,5 mm diperoleh 61,61 %. Efisiensi yang rendah tersebut disebabkan oleh tiga faktor: hambatan kumparan stator dan arus eksitasi yang tinggi,

laminasi inti besi yang tidak terisolasi dengan cukup baik dan ketidakrataan celah udara.

Sedangkan pada pengujian beban nol motor sinkron AFWR, tegangan eksitasi yang dibutuhkan 9,53 V dan tegangan terminal 380 V pada frekuensi 50 Hz, maka diperoleh putaran poros 750 rpm. Pada pengujian perubahan arus medan motor diperoleh bahwa semakin besar arus medan, maka semakin besar faktor daya yang dihasilkan. Untuk menghasilkan faktor daya 0,9409 lagging, maka diperlukan arus medan sebesar 20 A. Efisiensi motor sinkron AFWR dari hasil pengujian pada tegangan terminal 380 V dan tegangan eksitasi 9,53 V diperoleh 73,58 %. Sedangkan torsi pada motor sinkron diperoleh sebesar 12,73 Nm dari daya output 1.000 W dan kecepatan putaran poros 750 rpm atau 78,54 rad/det.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Perguruan Tinggi yang telah memberikan dukungan dana dengan nomor kontrak 0263/E5/2014.

DAFTAR PUSTAKA

- Stephen J. Chapman. 2005. *Electric Machinery Fundamentals*. 4th Edition, McGraw-Hill, Inc, Singapore.
- Jacek F. Gieras, Rong-Jie Wang, Maarten J. Kamper, 2004, *Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machines*, Kluwer Academic Publishers, London,
- M. Sadeghierad, H. Lesani, H. Monsef, A. Darabi, 2009, *Detail Modeling of High Speed Axial Flux Pm Generator*, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(2): 1467-1475.
- Nick Bannon, Jimmy Davis, Erin Clement, 2013, *Axial Flux Permanent Magnet Generator*, University of Washington.
- W. Fei, P.C.K. Luk, K. Jinupun, 2010, *Design and analysis of high-speed coreless axial flux permanent magnet generator with circular magnets and coils*, *Electric Power Applications*, IET Volume 4, Issue 9.
- M. Aydin, S. Huang and T. A. Lipo, 2004, *Axial Flux Permanent Magnet Disc Machines: A Review*”, *Wisconsin Electric Machines & Power Electronics Consortium*, University of Wisconsin-Madison, Madison, WI 53706-1691, p. 1.
- Funda Sahin, *Design And Development Of A High-Speed Axial-Flux Permanent-Magnet Machine*, 2001, Technische Universiteit Eindhoven.
- A. Parviainen, J. Pyrhönen, M. Niemelä, 2001, *Axial Flux Interior Permanent Magnet Synchronous Motor With Sinusoidally Shaped Magnets*, *International Symposium on Electromagnetic Fields in Electrical Engineering Cracow, Poland*, September 20-22.
- Y.P. Yang, C.H. Cheung, S.W. Wu, J.P. Wang, *Optimal Design And Control Of Axial-Flux Brushless Dc Wheel Motor For Electrical Vehicles*.
- N. A. El – Sonbaty, 2003, *A novel AC excited axial flux synchronous motor for electric vehicles*, *Alexandria Engineering Journal*, Vol. 42 (2003), No. 2, 209-217.
- Sunil Kumar Challa, 2006, *Comparative Study Of Axial Flux Permanent Magnet Brushless Dc Motor Operating With The Winding Connected In single-Phase And Two-Phase System*, B.Tech, J.N.T.U, August.
- D.A. Howey, 2009, *Axial Flux Permanent Magnet Generators For Pico-Hydropower*, *Electrical Engineering Department, Imperial College, Exhibition Road, South Kensington*.
- A.K. Sawhney, 2005, *A Course in Electrical Machine Design*, Dhanpat Ray & Co. (P) Ltd, Delhi,
- Anyuan Chen, Robert Nilssen, and Arne Nysveen, 2010, *Performance Comparisons Among Radial-Flux, Multistage Axial-Flux, and Three-Phase Transverse-Flux PM Machines for Downhole Applications*, *IEEE Transactions On Industry Applications*, Vol. 46, No. 2, March/April, p. 780.
- Juha Pyrhönen, Tapani Jokinen, Valeria Hrabovcova, 2008, *Design Of Rotating Electrical Machines*, John Wiley & Sons, New Delhi,
- J. Bukšnaitis, 2010, *Power Indexes Of Induction Motors And Electromagnetic Efficiency Their Windings*’, *Electronics And Electrical Engineering*, Lithuania.
- Mikko Valtonen, “*Performance Characteristics Of An Axial-Flux Solid-Rotor-Core Induction Motor*”, 2007, *Disertasi*, Acta Universitatis, Digipaino,.

- Janne Kinnunen, 2007, Direct-On-Line Axial Flux Permanent Magnet Synchronous Generator Static And Dynamic Performance, Disertasi, Digipaino, Lappeenranta University Of Technology.
- Won-Young Jo, In-Jae Lee, Yun-Hyun Cho, Dae-Hyun Koo and Yon-Do Chun, 2007, "Design and Analysis of Axial Flux Permanent Magnet Synchronous Machine", Journal of Electrical Engineering & Technology, Vol. 2, No. 1, pp. 61~67, p. 62.
- S. Asghar Gholamian, M. Ardebili , K. Abbaszadeh and Seyyed Akbar Gholamian, 2011, Optimum Design of Slotted Axial Flux Internal Stator Motor Using Genetic Algorithm for Electric Vehicle, International Journal of Software Engineering & Applications (IJSEA), Vol.2, No.3, July, p. 87.
- Brushes For Electrical Machines Technical Guide, Iso 9001: 2000, Iso 14001, Carbone Lorraine, Applications Électriques, 10 Rue Roger Dumoulin, F-80084 Amiens Cedex, 2 – France.
- Maarten Holland, 2001, AC DC Kilns: Industrial Solutions And Services Of Siemens AG, IEEE-IAS / PCA Cement Industry Technical Conference' Vancouver.
- Current-Carrying Capacities And Other Technical Tables, 2012 www.miccomcables.com.
- A. Mahmoudi, N. A. Rahim, and H. W. Ping, 2011, Genetic Algorithm And Finite Element Analysis For Optimum Design Of Slotted Torus Axial-Flux Permanent-Magnet Brushless Dc Motor, Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 33, 383-407, p. 396.