

**GENERATOR FLUKS AKSIAL MAGNET PERMANEN
DOUBLE SIDED SINGLE STATOR**

Poedji Oetomo
Program Studi Teknik Elektro FTI
Institut Sains dan Teknologi Nasional Jakarta 12640
E_mail : p_oetomo@istn.ac.id

Abstrak

Generator merupakan bagian dari peralatan pembangkit listrik yang berfungsi mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Pada pembahasan ini menyajikan hasil rancangan dan pengujian dari model generator fluks axial magnet permanen type disc. Flux medan magnet berasal dari magnet permanen yang ditempatkan pada disc sebagai rotor dan arahnya sejajar dengan poros. Kontruksi generator dirancang dengan sisi ganda atau double sided dan ditengahnya terdapat stator yang dibuat dari bahan resin . Pada stator terdapat kumparan-kumparan tembaga tanpa inti besi dengan bentuk persegi sama dengan bentuk magnet yang digunakan. Bila rotor berputar maka kumparan pada stator akan dikenai flux medan magnet yang berubah terhadap waktu sehingga akan timbul tegangan induksi pada kumparan. Bagaimana output dari generator maka perlu dilakukan pengujian dengan tanpa beban dan berbeban sehingga diketahui daya listrik yang dihasilkan.

Kata kunci : *Generator, Fluks Aksial, Double Side Single Stator*

Abstract

Generator is part of the power generation equipment that functions to convert mechanical energy into electrical energy. This discussion presents the results of the design and testing of a disc type permanent magnet axial flux generator model. The magnetic field flux originates from a permanent magnet which is placed on the disc as a rotor and its direction is parallel to the shaft. The generator construction is designed with double sides and in the middle there is a stator made of resin. In the stator there are copper coils without an iron core with a square shape similar to the shape of the magnet used. When the rotor rotates, the coil in the stator will be subjected to a magnetic field flux that changes with time so that an induced voltage will arise in the coil. What is the output of the generator, it is necessary to test it without load and load so that the generated electric power is known

Keywords : *Generator, Axial Flux, Double Sided Single Stator*

1. Pendahuluan

Semakin besarnya kebutuhan energi listrik telah mendorong berbagai pihak untuk mencari solusi dalam mengatasi masalah ini. Besarnya kebutuhan energi listrik yang diperlukan saat ini menunjukkan bahwa energi listrik sudah menjadi suatu kebutuhan pokok yang sangat penting, misalnya untuk keperluan rumah tangga sehari-hari

Belum meratanya distribusi tenaga listrik maka diperlukan alternatif untuk mendapatkan energi listrik. Banyak sekali penelitian yang telah dilakukan untuk mencari sumber energi alternatif selain minyak bumi dan batubara. Pemanfaatan energi matahari, angin dan air

sudah banyak dilakukan baik skala kecil maupun besar. Salah satunya adalah pemanfaatan air dan angin. Banyak berbagai pihak membuat kincir angin atau kincir air untuk mendapatkan energi gerak. Selanjutnya dengan generator energi gerak tersebut dikonversi menjadi energi listrik.

2. Tinjauan Pustaka**2.1. Generator ac**

Generator listrik adalah sebuah perangkat listrik untuk mengubah energi gerak menjadi energi listrik arus bolak balik. Generator memiliki dua bagian utama, yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian dari generator yang diam sedangkan rotor adalah bagian yang

berputar. Rotor dari generator akan diputar oleh penggerak mula, menghasilkan medan magnet putar di dalam mesin. Medan magnet putar menyebabkan medan magnet yang melingkupi kumparan stator berubah secara kontinu. Prinsip dasar generator arus bolak-balik menggunakan hukum Faraday yang menyatakan jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah-ubah, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik. Besarnya tegangan atau ggl yang timbul pada kumparan konduktor sebanding dengan besarnya perubahan fluks magnet yang terhadap waktu. Jumlah kutub magnet akan menentukan banyaknya putaran per menit rotor untuk menghasilkan frekuensi listrik yang diinginkan sesuai persamaan berikut :

$$f_e = \frac{n_m \cdot P}{120}$$

Dengan :

- f_e = frekuensi listrik (hertz)
- n_m = kecepatan mekanik rotor (rpm)
- P = jumlah kutub

2.2. Generator Fluks Axial magnet permanen

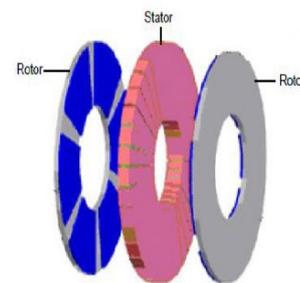
Umumnya arah fluks magnet pada generator konvensional adalah radial yaitu tegak lurus poros. Pada generator fluks axial type disc arah fluks medan sejajar dengan poros. Ada berbagai macam konstruksi generator flux axial, yang paling sederhana yaitu dengan menggunakan stator tanpa inti besi dan fluks medan dapat menggunakan magnet permanen yang dilekatkan pada rotor berupa disc. Konstruksi yang sederhana ini dapat diaplikasikan sebagai alternatif untuk memenuhi kebutuhan daya listrik pada rumah tinggal yang jauh dari pusat beban listrik. Dari segi konstruksi, dapat dibedakan menjadi beberapa tipe berdasarkan jumlah stator dan rotor yang digunakan.

1. Rotor dan Stator Tunggal

Generator ini terdiri dari sebuah rotor dan sebuah stator yang mempunyai 3 jenis stator yaitu slotted stator, slotless stator, dan saliant pole stator. Rotornya terdiri dari sebuah piringan besi kuat yang terdapat magnet di permukaannya.

2. Rotor Ganda dan Stator Tunggal

Pada tipe ini terdapat dua buah rotor yang mengapit sebuah stator, dapat dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan arah fluksnya yaitu tipe N-S dan tipe N-N. Perbedaannya terletak pada pergerakan fluks dan ukuran diameter statornya. Pada tipe N-S, arah fluks akan memotong kumparan secara lurus dari rotor satu ke kutub yang berlawanan pada rotor lainnya. Sedangkan pada tipe N-N arah fluksnya memotong kumparan dan akan kembali ke kutub yang berlawanan pada rotor yang sama.



Gambar 1: Rotor Ganda dan Stator Tunggal

3. Stator Ganda dan Rotor Tunggal

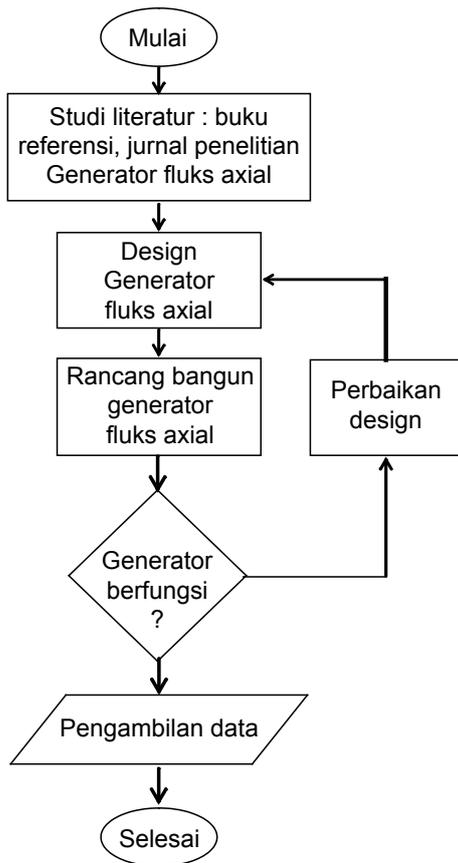
Pada generator axial tipe ini terdapat dua buah stator yang mengapit sebuah rotor. Pada tipe ini tidak ada variasi tipe N-N atau N-S pada rotornya, tetapi variasi terjadi pada bentuk konstruksi statornya

4. Rotor dan Stator banyak

Pada generator tipe ini terdapat lebih dari dua stator atau dua rotor. Tipe ini dibuat untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik yang lebih besar. Hanya saja kekurangan pada generator ini terletak pada torsi yang besar Generator ini juga memiliki dua tipe yaitu tipe N-N dan tipe N-S pada statornya

3. Perancangan generator fluks axial

Alur perancangan dan pembuatan generator fluks axial tampak seperti pada gambar 2. Dalam perancangan ini stator dan rotor adalah berupa disc. Rotor terdiri dari 2 buah plat besi dengan ketebalan plat 6 mm. Pada rotor dilekatkan sejumlah magnet permanen yang berfungsi sebagai sumber fluks medan magnet.



Gambar 2 : Diagram Alir perancangan dan pembuatan generator fluks axial

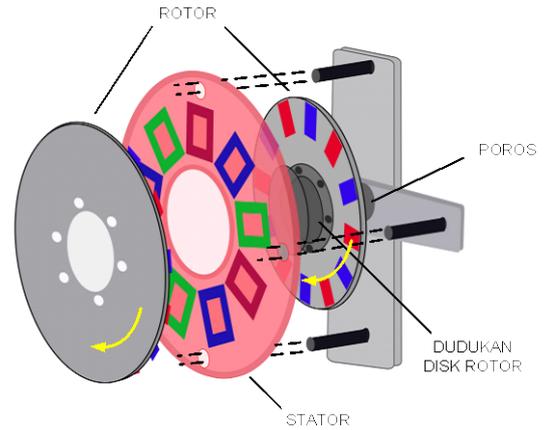
Diantara kedua rotor terdapat stator. Stator dibuat dari cetakan resin yang didalamnya terdapat sejumlah kumparan. Kumparan ini akan dilalui fluks medan magnet yang besarnya berubah seiring dengan perputaran rotor. Jumlah gulungan menentukan besarnya tegangan yang dihasilkan. Besarnya tegangan per fasa yang dihasilkan dapat menggunakan persamaan :

$$E_f = \pi\sqrt{2}fN_1k_{w1}\Phi_f$$

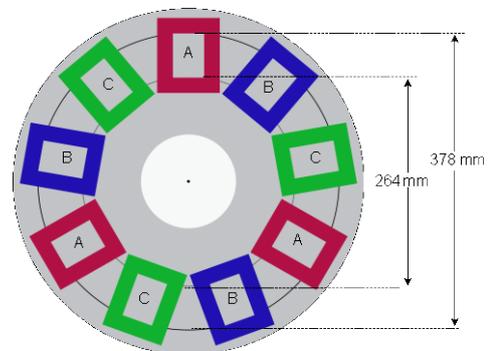
Dengan :

- f = frekuensi (Hz)
- N1 = jumlah lilitan per fasa
- Kw1 = faktor belitan
- ΦF = fluks magnet rata-rata (Wb)

Konstruksi sederhana rancangan generator fluks axial terdapat pada Gambar.3.



Gambar 3 : Kontruksi rancangan generator fluks aksial



Gambar 4 : Rancangan susunan kumparan pada stator

Faktor belitan $k_{w1} = k_{d1} \cdot k_{p1}$ dimana k_{d1} adalah faktor distribusi dan k_{p1} adalah pitch factor besarnya adalah

Faktor distribusi k_{d1}

$$k_{d1} = \frac{\sin(\pi / 2m_1)}{q_1 \sin[\pi / (2m_1q_1)]}$$

Dengan :

- m_1 = jumlah fasa
- q_1 = Jumlah slot per magnet per fasa

dan

$$k_{p1} = \sin(\beta \frac{\pi}{2})$$

Dengan

$$\beta = \frac{w_c(r)}{\tau_c(r)}$$

Dengan

w_c = jarak coil
 τ_c = jarak magnet

Jumlah slot per magnet per fasa q_1

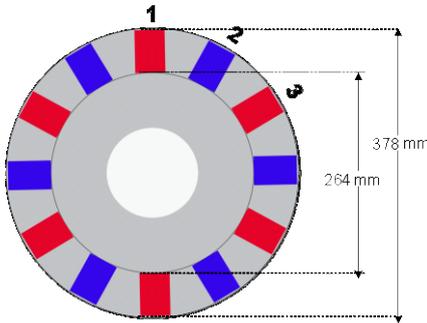
$$q_1 = \frac{s_1}{2pm_1}$$

s_1 = slot pada stator
 $2p$ = pasang magnet

jumlah coil per fasa n_c

$$n_c = \frac{s_1}{m_1}$$

s_1 = slot pada stator
 m_1 = jumlah fasa



Gambar 5 : Rancangan susunan magnet pada disc rotor

Untuk menentukan besar fluks rata-rata ditengah antara 2 rotor dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\phi_f = B_{mg} \frac{\pi}{8p} D_{out}^2 (1 - k_d^2)$$

Dengan :

B_{mg} = B maksimum ditengah antara 2 rotor,
 k_d = perbandingan radius dalam magnet dengan radius luar magnet

$$= \frac{R_{in}}{R_{out}} = \frac{D_{in}}{D_{out}}$$

P = jumlah magnet

Distribusi komponen B normal diruang antara 2 rotor dapat ditentukan dengan persamaan

$$B_z(x, z) = B_{m0} \sin(\beta x) \frac{1}{\cosh(\beta t / 2)} \cosh(\beta z)$$

Dengan :

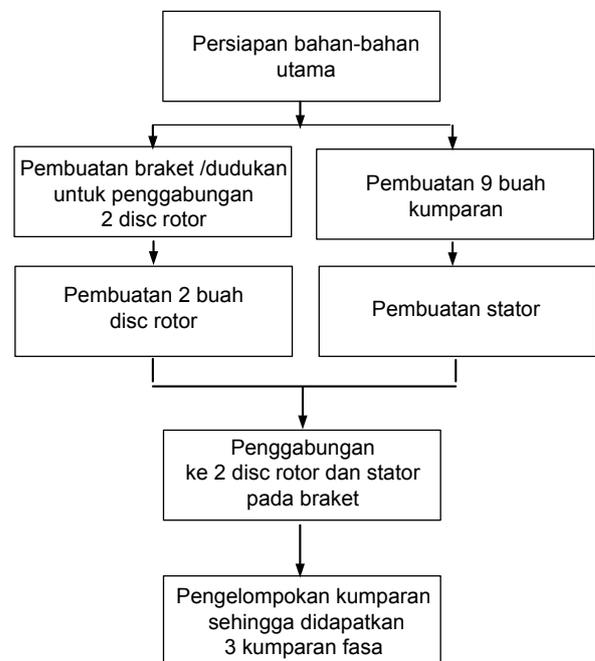
B_{m0} = B maksimum di permukaan magnet
 β = $2 \pi / la$
 la = panjang 1 gelombang
 x = posisi
 t = jarak antar pole
 z = jarak antara pole ke titik tengah

B_{maks} di permukaan magnet :

$$B_{mo} = B_r [1 - \exp(-\beta h_m)] \frac{\sin(\pi / n_M)}{\pi / n_M}$$

Dengan

B_r = remanent magnet
 h_m = tebal magnet
 n_M = jumlah vector magnetisasi per gelombang



Gambar 6 : Blok diagram pembuatan generator fluks axial

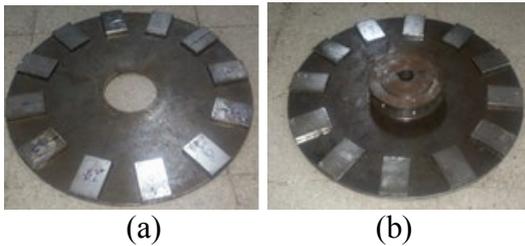


Gambar 7 : a) 9 kumparan stator .b) 9 kumparan disusun untuk membangkitkan tegangan 3 fasa yang tercetak dalam resin.

Jarak antar magnet (mm)	:	69,11
Celah udara (mm)	:	31

Stator

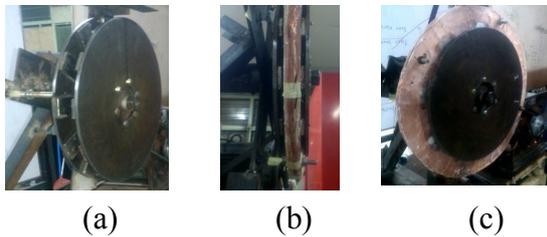
Tebal stator (mm)	:	27
Jumlah kumparan per fasa	:	3
Lebar kumparan (mm)	:	85
Jumlah lilitan per kumparan	:	460
Diameter kawat email (mm)	:	0,8



Gambar 8 : a) Disc plat besi 1 dengan 12 magnet .b) Disc ke 2 dengan bracket untuk menggabungkan ke dua disc dengan posisi magnet U dan S saling berhadapan



Gambar 10 : Untuk pengujian energi gerak rotor bersumber dari putaran motor listrik



Gambar 9 : Generator hasil rancangan : a) stator belum terpasang. b) Tampak samping setelah stator terpasang di tengah antara 2 rotor c) tampak depan generator fluks axial

4. Pengujian

Spesifikasi rancangan generator fluks axial double side single stator yang akan diuji seperti terlihat pada gambar 10 adalah sebagai berikut :

Rotor

Jenis magnet	:	NdFeB
Jumlah magnet per disk rotor	:	12
Kerapatan fluks magnet (Tesla)	:	1,2
Diameter dalam magnet (mm)	:	264
Diameter luar magnet (mm)	:	378



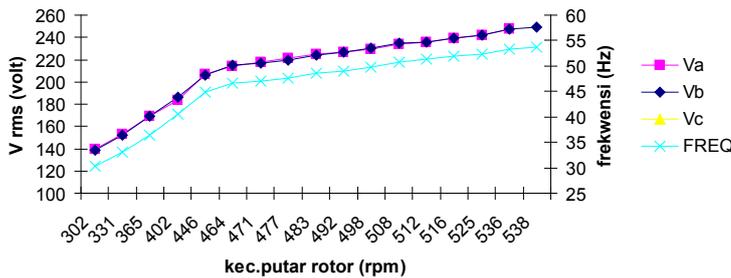
Gambar 11: terminal ujung kumparan-kumparan fasa

4.1. Pengujian tanpa beban

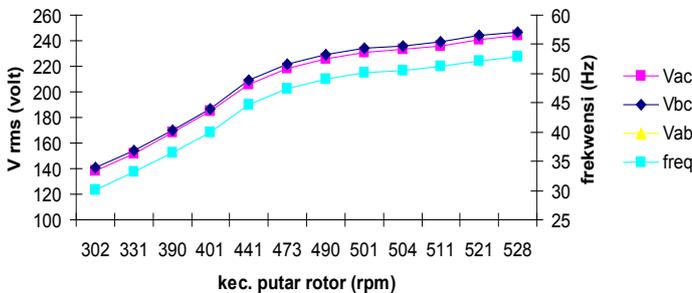
Pengujian pertama yang dilakukan adalah mengukur output tegangan dan frekwensi tanpa beban dengan variabel kecepatan putar rotor. Grafik hasil outputnya tampak pada gambar 12 dan gambar 13.

Tabel 1 Data hasil pengukuran tegangan keluaran hubung star

RPM	Frekwensi (Hz)	Va (volt)	Vb (volt)	Vc (volt)
402	40,5	184	186	186
446	44,9	207	206	205
464	46,6	214	215	215
471	47	218	217	218
477	47,7	221	220	220
483	48,5	225	224	224
492	49	227	227	227
498	49,8	229	230	231
508	50,8	234	235	234



Gambar 12 : Grafik hasil pengukuran tegangan Va, Vb dan Vc serta frekwensi dari keluaran generator hubung star



Gambar 13 : Grafik hasil pengukuran tegangan V_{LL} dan frekwensi dari keluaran generator hubung delta

Dari gambar 12 dan 13 hasil data pengujian didapatkan bahwa semakin cepat putaran rotor semakin meningkat pula tegangan dan frekwensi. Tetapi kenaikan tegangan tidak linier ketika putaran rotor sekitar 450 rpm. Jika fluks rata-rata Φ_f besarnya tetap karena sumber fluks adalah magnet permanen maka terjadinya ketidak linier mungkin disebabkan putaran rotor tidak stabil pada sekitar 450 rpm.

4.2. Pengujian beban hubung star

Beban yang digunakan adalah beberapa lampu pijar dengan spesifikasi 220V/60W dan 220V/100W. Tegangan keluaran generator disesuaikan dengan tegangan nominal lampu pijar 220 volt. Jumlah konfigurasi lampu bertambah dari 60 watt hingga 220 watt per fasa. Hasil pengukuran tercantum pada tabel 2 dan tabel 3.

Tabel 2: Hasil pengukuran tegangan, arus dan faktor daya per fasa

Beban per fasa (watt)	Fasa a			Fasa b			Fasa c		
	Va (volt)	Ia (A)	cos phi	Vb (volt)	Ib (A)	cos phi	Vc (volt)	Ic (A)	cos phi
60	220,6	0,26	0,996	220,1	0,26	0,996	220,3	0,26	0,996
(60+60)	220,5	0,52	0,998	220,7	0,52	0,999	220,4	0,52	0,998
(60+100)	220,8	0,69	0,999	220,6	0,68	0,999	220,8	0,68	0,999
(100+100)	220,6	0,87	0,999	220	0,85	0,999	220,8	0,84	0,999
(60+60+100)	220	0,95	0,999	220	0,94	0,999	220,5	0,94	0,999

Tabel 3 : Hasil pengukuran daya 3 fasa

Beban per fasa (watt)	Fasa a		Fasa b		Fasa c		JML	
	P (watt)	S (VA)						
60	57	57	57	57	57	57	171	171
(60+60)	115	115	115	115	115	115	345	345
(60+100)	152	152	150	150	150	150	452	452
(100+100)	194	192	189	189	184	186	567	567
(60+60+100)	208	208	206	206	207	207	621	621

Pada pengujian besar beban bertambah dengan tegangan per fasa diatur tetap sebesar 220 volt dan arus per fasa 0,94 A faktor daya relatif tetap yaitu 0,99 mampu memberikan daya sebesar 621 watt.

4.3. Pengujian beban hubung delta

Beban yang digunakan adalah lampu pijar yg digunakan pada pengujian hubung star sebelumnya tetapi hubung delta. Jadi Sumber keluaran tegangan generator dan beban sama-sama terhubung delta.

Tabel 4 : Hasil pengukuran tegangan, arus dan faktor daya pada hubung delta

Beban per fasa (watt)	line c			line b		
	Vac (volt)	Iac (A)	cos phi	Vab (volt)	Iab (A)	cos phi
60	220,5	0,47	0,887	215	0,45	0,891
(60+60)	220,5	0,92	0,876	214,5	0,89	0,853
(60+100)	220,4	1,21	0,878	214,5	1,18	0,859
(100+100)	220,7	1,5	0,877	214,9	1,47	0,863
(60+60+100)	220,1	1,67	0,874	215	1,61	0,86

Tabel 5 : Hasil pengukuran daya 3 fasa pada hubung delta

Beban per fasa (watt)	line c		line b		JML P (watt)	JML S (VA)
	P (watt)	S (VA)	P (watt)	S (VA)		
60	91	103	81	97	172	200
(60+60)	178	202	163	190	341	392
(60+100)	235	268	218	253	453	521
(100+100)	289	331	272	313	561	644
(60+60+100)	322	368	299	348	621	716

5. Simpulan

Hasil perancangan generator fluks axial dapat disimpulkan , bahwa :

1. Tegangan dan frekwensi keluaran generator pada hubung star ataupun delta akan meningkat seiring dengan kenaikan kecepatan putar rotor pada hubung star ataupun delta.
2. Daya 3 fasa yang dihasilkan generator dengan beban lampu pijar yang terpasang mampu memberikan daya sebesar 621 watt pada tegangan 220 volt dengan faktor daya 0,99. Pada hubung star arus fasa 0,94 A dan hubung delta arus line 1,61 hingga 1,67 A.

Daftar Pustaka

[1] Dae-Won Chung and Yong-Min You “ Design and Performance Analysis of Coreless Axial-Flux Permanent-Magnet Generator for Small Wind Turbines” Journal of Magnetics 19(3), 273-281 (2014)

[2] Francois Gerhardus Rossouw “Analysis and Design of Axial Flux Permanent Magnet Wind Generator System for Direct Battery Charging Applications

[3] Garrison F. Price, Todd D. Batzel, Mihai Comanescu, and Bruce A. Muller “ Design and Testing of a Permanent Magnet Axial Flux Wind Power Generator ” Proceedings of The 2008 IAJC-IJME International Conference, Paper 190, ENT 202

[4] Lubna Nasrin “ Improved Version of Energy Efficient Motor for Shell Eco Marathon ” Royal Institute of Technology, Department of Electrical Engineering, Stockholm, October 2011

[5] Jacek F Gieras, Rong – Jie Wang, Marteen J Kamper “Axial Flux

Permanent Magnet Brushless Machines ” Second Edition, Springer, New York 2008

[6] J. R. Bumby, N. Stannard and R. Martin “ A Permanent Magnet Generator for Small Scale Wind ”

[7] M. Aydin, S. Huang and T. A. Lipo “AXIAL FLUX PERMANENT MAGNET DISC MACHINES : A REVIEW ” University of Wisconsin-Madison, College of Engineering Wisconsin, Power Electronics Research Center, 2004

[8] Maarten J .Kamper, Member,IEEE, Rong-Jie Wang, and Francois G. Rossouw “Analysis and Performance of Axial Flux Permanent-Magnet Machine With Air-Cored Nonoverlapping Concentrated Stator Windings

[9] Staven Fahay, Journal “ Basic Principles of the Homemade Axial Flux Alternator ” New York, 2006