

Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Kutub dan Jarak Celah Magnet Rotor Terhadap Performan Generator Sinkron Fluks Radial

Anizar Indriani

Jurusan Teknik Elektro Universitas Bengkulu
Jl. W. R. Supratman Kandang Limun Bengkulu 38371
aniz_raimin@yahoo.com

Intisari---Generator ditemukan secara luas dalam kehidupan sehari-hari, terutama dalam industri kelistrikan. Generator yang sering ditemukan adalah jenis generator aksial dan radial. Komponen utama dari generator adalah rotor, stator dan penggerak utama. Komponen utama dari generator ini memiliki unsur-unsur pendukung seperti kumparan, magnet dan banyak lagi. Fungsi rotor dan stator adalah untuk menghasilkan induksi medan magnet karena gerakan yang terjadi antara rotor dan stator. Penempatan stator dan komponen rotor tergantung pada jenis generator yang digunakan, ada stator yang didalam rotor dan ada yang di luar rotor. Kondisi pemasangan dan penempatan stator dan rotor, jumlah lilitan kumparan dan magnet dapat mempengaruhi kinerja generator. Seperti pada generator sinkron fluks radial memiliki rotor sebagai magnet (magnet rotor) yang berada di luar lilitan kumparan stator. Beberapa studi telah meneliti tentang pengaruh jumlah lilitan kumparan, magnet dan jarak celah udara dalam generator fluks aksial dan radial terhadap kinerja generator seperti adanya distorsi harmonik dan lain-lain. Dalam tulisan ini kita akan fokus pada pengaruh magnet rotor dengan variasi jumlah kutub dan jarak celah udara lilitan kumparan stator terhadap kinerja generator sinkron fluks radial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin kecil jarak celah udara magnet rotor dan stator coil maka tegangan yang dihasilkan lebih besar. Untuk jarak celah udara magnet rotor dan lilitan kumparan stator 1mm dan 2mm pada putaran rendah 200 rpm diperoleh tegangan 43,5 volt dan 39,2 volt untuk pengujian tanpa beban. Pada pengujian berbeban diperoleh tegangan 30 volt dan 26,8 volt dengan jarak celah udara (gap) yang sama dan besarnya arus yang dihasilkan 0,21 mA.

Kata Kunci---Generator sinkron fluks radial, jarak celah udara, variasi jumlah kutub, Tegangan, Arus.

Abstract---Generators are found widely in everyday life, especially in the electricity industry. Generators that are often found are the type of axial and radial generator. The main component of the generator are rotor, stator and the prime mover. The main components of this generator has support elements such as coils, magnets and more. The function of the rotor and stator is to generate a magnetic field induction due to motion that occurs between the rotor and stator. Placement of stator and rotor component depending on the type of generator used, there is a stator in the rotor and some are outside the rotor. Conditions of installation and placement of the stator and rotor, the number of coil windings and magnets can affect the performance of the generator. As in the radial flux of synchronous generator has the rotor as magnet (magnet rotor) which are beyond the stator winding coils. Several studies have examined the influence of the number of winding coils, magnets and distance of air gap in the axial and radial generator to performance of the generator such as harmonic distortion and others. In this paper we will focus on the study of the influence of the magnetic pole variation and air gap distance rotor and stator coil windings to the performance of a synchronous generator. The results show that the smaller the air gap distance magnet rotor and the stator coil winding voltage generated greater. For the distance of air gap and coil magnet motor stator coil 1mm and 2mm at low rpm to 200 rpm are obtained a voltage of 43.5 volts and 39.2 volts for no-load testing and for testing by using load are obtained voltage of 30 volts and 26.8 volts with the gap distance equal and a current of 0.21 mA.

Keywords--- Radial flux of synchronous Generator , Distance of air gap , magnetic pole variation, Voltage, Current

I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan generator dapat dilihat pada berbagai bidang seperti pembangkit listrik, sistem penggerak dan lainnya. Generator memiliki beberapa komponen utama yaitu rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang bergerak (berputar) pada generator dan didalamnya terdapat magnet atau dikenal dengan magnet rotor. Stator merupakan bagian yang diam terdiri atas lilitan kumparan kawat.

Performan generator tergantung pada diameter kumparan, jumlah lilitan kumparan, jumlah magnet dan lainnya. Selain itu performan generator juga dapat dipengaruhi oleh kondisi pemasangan magnet rotor dan lilitan kumparan stator seperti kemiringan magnet pada generator fluks radial^[1], jarak celah udara atau gap dan dimensi kawat pada generator fluks aksial dan radial^{[2][3]}.

Dalam tulisan ini dikaji tentang pengaruh jarak celah udara antara lilitan kumparan rotor dengan magnet rotor terhadap performan dari generator sinkron. Dimana dalam kajian ini tegangan yang dihasilkan dijadikan indikator untuk tingkat performan generator dengan memvariasikan jumlah kutub dan jarak celah udara magnet rotor.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa penelitian tentang generator banyak dititikberatkan pada kajian tentang performan generator fluks aksial dan radial baik secara numerik maupun eksperimental^{[1][2][3]}. Dimana variasi yang dilakukan adalah pada dimensi kawat kumparan, posisi pemasangan magnet rotor dan lainnya. Dari hasil penelitian itu diperoleh fenomena dan karakteristik performan generator dilihat dari pengaruh kondisi tersebut. Misalnya pengaruh dimensi kawat dan jarak celah udara fluks sangat berpengaruh terhadap keluaran dari generator tersebut. Atau posisi kemiringan

magnet rotor yang dapat menimbulkan distorsi harmonis dan bentuk gelombang keluaran tegangan yang berbeda.

Pada penelitian ini dititikberatkan pada generator sinkron magnet permanen yang akan digunakan untuk sistem pembangkit listrik dengan putaran rendah (PLTMH dan PLTA)^{[4][5]}. Generator yang digunakan adalah generator satu Phasa tipe fluks radial dari magnet permanen dan stator motor. Generator ini terdiri atas komponen kumparan stator dan magnet rotor dimana magnet rotor terletak pada bagian luar stator (posisi magnet mengelilingi stator).

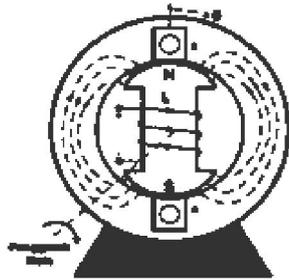
A. Generator

Generator adalah suatu alat atau mesin yang merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Dimana energi mekanik didapatkan dari energi potensial dan kinetik yang akan menggerakkan rotor melalui poros penghubung pada generator. Untuk PLTMH dan pembangkit listrik tenaga angin (PLTA)^{[4][5]}, energi potensial diperoleh dari sumber daya air dan angin. Energi potensial akan mendorong sudu atau impeler pada turbin sehingga timbul energi kinetik. Energi ini diubah oleh generator menjadi energi listrik melalui lilitan kumparan stator dan magnet rotor. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator dapat berbentuk arus bolak balik (AC) dan arus searah (DC)^[6]. Generator AC keluarannya dapat menghasilkan tegangan langsung sementara generator DC harus diolah dulu menggunakan komutator untuk menyearahkan *output* generator. Perbedaan generator DC dengan generator AC terletak pada kumparan jangkar dan kumparan statornya.

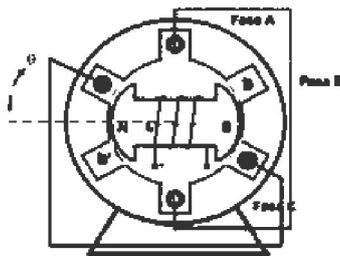
Generator dikelompokkan menjadi generaor sinkron dan unsinkron dimana generator sinkron bekerja pada kecepatan dan frekuensi konstan. Keluaran dari generator sinkron adalah arus bolak-balik (AC)^[6]. Generator arus bolak-balik terdiri atas:

- a. Generator arus AC 1 Phasa
- b. Generator arus AC 3 Phasa

Gambar 1 menunjukkan generator arus AC 1 dan 3 Phasa.



a. Generator AC Satu Phasa Dua Kutub

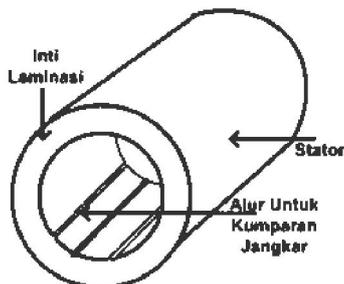


b. Generator AC Tiga Phasa Dua Kutub

Gbr. 1 Generator AC [6]

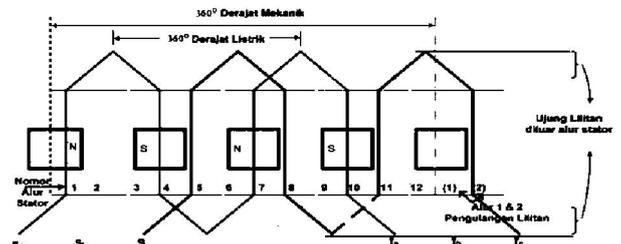
B. Konstruksi Generator Sinkron

Generator sinkron terdiri atas komponen stator (rangka, inti, slot dan gigi, kumparan), rotor (slip ring, kumparan, poros) dan prime mover. Stator berfungsi sebagai penerima induksi magnet dari rotor dimana arus AC disalurkan melalui armature ke beban [7]. Stator berbentuk rangka silinder dengan jumlah lilitan kawat konduktor yang banyak Stator terbuat dari bahan ferromagnetik dan dilaminasi untuk mengurangi rugi-rugi arus pusar. Kualitas inti ferromagnetik yang baik akan memiliki permeabilitas dan resistivitas bahan tinggi. Bentuk stator dapat dilihat pada Gambar 2.

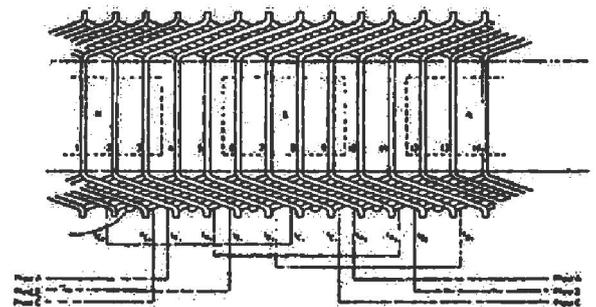


Gbr. 2 Stator [7]

Stator pada generator sinkron tiga Phasa terdiri atas beberapa lapis belitan yaitu belitan satu lapis (*Single Layer Winding*) dan ganda (*Double Layer Winding*) [6]. Bentuk belitan dapat dilihat pada Gambar 3. Dimana pada Gambar 3 a menunjukkan belitan satu lapis dan terlihat adanya hubungan antara kutub S dan F.



a. Belitan Satu Lapis

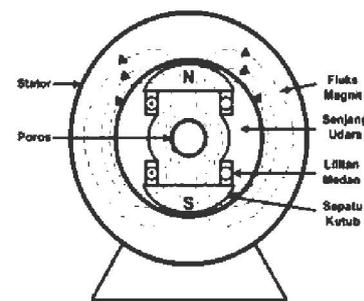


b. Belitan Lapis Ganda

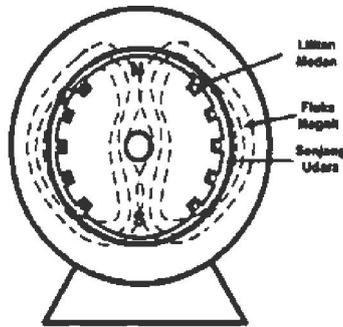
Gbr. 3 Generator Sinkron Tiga Phasa [6]

Pada Gambar 3b. menunjukkan belitan lapis ganda dimana pada tiap kutub memiliki satu lilitan per Phasa.

Rotor berfungsi untuk menghasilkan tegangan yang dibangkitkan oleh medan magnet dan diinduksikan ke stator. Bentuk rotor pada generator ada yang berbentuk kutub sepatu (*salient pole*) dan silindris (celah udara yang sama jaraknya). Bentuk rotor pada generator sinkron ditunjukkan oleh Gambar 4.



(a) Rotor kutub menonjol



(b) Rotor Silinder

Gbr. 4 Bentuk Rotor^[7]

C. Prinsip Kerja Generator Sinkron

Prinsip kerja generator sinkron adalah medan magnet yang bersifat bolak balik akan timbul pada kumparan rotor jika diputar oleh prime mover dimana medan magnet akan memotong kumparan stator sehingga menghasilkan gaya gerak listrik pada bagian ujung kumparan stator dengan gerak bolak balik yang sama dengan kecepatan putar rotor dimana frekuensi listriknya juga sama. Besarnya frekuensi elektrik pada stator dapat adalah:

$$f = \frac{NrP}{120} \quad (1)$$

Dimana:

f = frekuensi listrik (Hz)

Nr = kecepatan putar rotor (rpm)

P = jumlah kutub magnet

Pengujian performan generator sinkron dapat dilakukan dengan cara tanpa beban dan menggunakan beban. Untuk generator tanpa beban pengujiannya dilakukan dengan memutar generator serempak dengan rotor yang diberi arus sehingga akan dihasilkan tegangan dimana disini tidak terdapat pengaruh dari jangkar. Besarnya tegangan yang dihasilkan adalah:

$$E_0 = c.n.\Phi \quad (2)$$

Dimana:

c = konstanta mesin

n = putaran sinkron

Φ = fluks yang dihasilkan oleh I_f

Generator sinkron berbeban meliputi arus I_a , hambatan R_a tegangan E_0 , tegangan Z_L dimana jika diberi beban yang bervariasi maka tegangan terminal V_ϕ akan mengalami perubahan. Hal ini disebabkan oleh adanya jatuh tegangan karena resistansi jangkar (R_a), reaktansi bocor jangkar (X_L) dan reaksi Jangkar

D. Parameter Generator Sinkron

Tahanan jangkar (R_a) dan reaktansi sinkron (X_s) merupakan parameter yang dibutuhkan untuk mengetahui performan generator sinkron. Nilai (R_a) diperoleh dengan pengujian dimana kumparan jangkar dihubungkan pada sumber tegangan arus searah (DC) pada saat mesin diam. Besarnya tahanan jangkar adalah

$$R_a = \frac{V_{dc}}{I_{dc}} \quad (3)$$

Dimana nilai (X_s) diperoleh dari percobaan tanpa beban dan hubung singkat.

$$\sqrt{R_a^2 + X_s^2} = \frac{E_a}{I_a} \quad (4)$$

E. Gaya Gerak Listrik (GGL)

Bentuk gaya gerak listrik dapat dilihat pada Gambar 5 dimana gaya gerak listrik timbul disebabkan oleh perubahan jumlah garis-garis gaya magnet. Besar GGL induksi pada generator fluks radial adalah^[2]:

$$E_{ph} = 4,44 f N_{ph} k_w k_s \Phi_{max} \quad (5)$$

Dimana :

E_{ph} = Tegangan induksi yang dibangkitkan

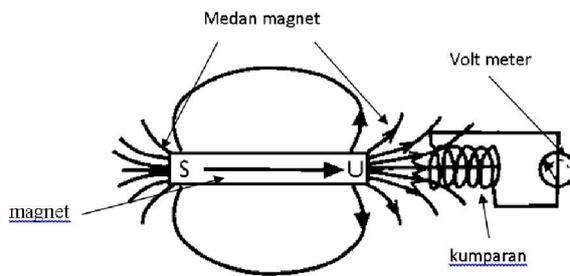
f = frekuensi

Φ_{max} = fluks magnet

N_{ph} = Jumlah belitan kumparan

K_w = faktor lilit (1)

K_s = faktor kemiringan (0,984)



Gbr. 5 Gaya gerak listrik [8]

Faktor-faktor yang mempengaruhi besar GGL induksi adalah [8]:

1. Kecepatan perubahan medan magnet
2. Banyaknya lilitan
3. Kekuatan magnet

Besarnya kekuatan medan magnet yang dihasilkan dengan nilai celah udara adalah [2]:

$$B_{\max} = Br \frac{lm}{lm + \delta} \quad (6)$$

Dimana :

Br = Kerapatan fluks

lm = Tinggi magnet

δ = Lebar celah udara

B_{\max} = Fluks magnet maksimal

Luasan magnet adalah [2]:

$$\frac{\pi}{\quad} \quad (7)$$

Dimana:

A_{magn} = luasan magnet (m^2)

r_o = radius luar magnet (m)

r_i = radius dalam magnet (m)

N_m = jumlah magnet

τ_f = jarak antar magnet (m)

Fluks maksimum yang dihasilkan adalah [1]:

$$\Phi_{\max} = A_{\text{magn}} \times B_{\max} \quad (8)$$

Dimana :

A_{magn} = luasan magnet (m^2)

B_{\max} = Fluks magnet maksimal

Φ_{\max} = Fluks maksimum

III. METODE PENELITIAN

A. Prosedur Penelitian

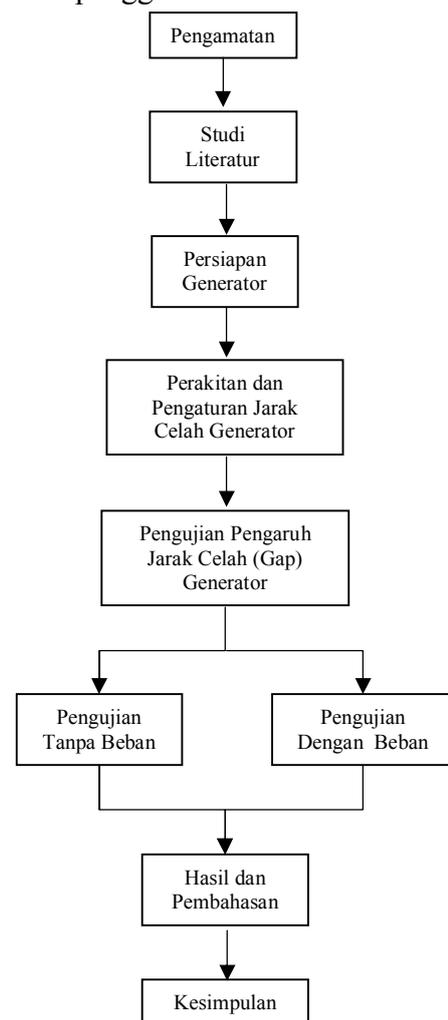
Prosedur penelitian dapat dilihat pada Gambar 6 yang meliputi persiapan, perakitan

dan pengujian alat dengan beban dan tanpa beban.

B. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam tulisan ini adalah:

1. Magnet motor
2. Stator motor
3. Kawat tembaga
4. Selongsong kawat
5. Multimeter
6. Kabel penghubung
7. Motor penggerak 3 Phasa



Gbr. 6 Prosedur Penelitian

C. Generator Fluks Radial Satu Phasa

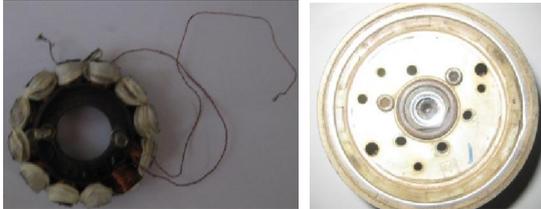
Komponen generator fluks radial satu Phasa adalah stator dan rotor. Stator yang digunakan adalah stator motor seperti terlihat pada Gambar 7. Dimana stator yang digunakan terdiri atas 8 dan 12 kumparan dengan jumlah 4000 belitan pada kawat 0,35

mm. Belitan stator terhubung seri dengan tegangan keluaran satu Phasa.



Gbr. 7 Stator 6 Kumparan

Lilitan kumparan pada stator generator fluks radial dapat dilihat pada Gambar 8.



a. Stator b. Magnet Rotor

Gbr. 8 Stator dan Lilitan 12 Kumparan

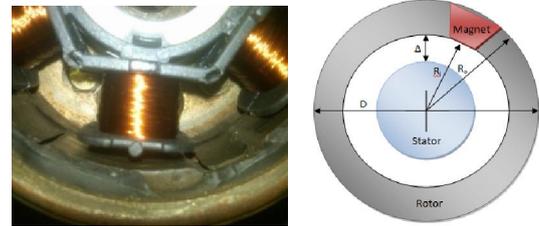
Spesifikasi stator dan rotor generator fluks radial dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2. Gambar rancangan rotor dengan variasi jarak celah udara (gap) dapat dilihat pada Gambar 9.

Tabel 1 Spesifikasi Stator Generator Fluks Radial

Parameter	Lambang	Nilai
Jumlah kumparan	Nm	8, 12
Jumlah lilitan kawat 0,35	Ns	4000
Jumlah Phasa	Nph	1

Tabel 2. Spesifikasi Rotor Generator Fluks Radial

Parameter	Lambang	Nilai
Kerapatan fluks	Br	1,2 T
Jumlah magnet	Nm	8, 12
Radius dalam magnet	R_i	4,3 cm
Radius luar magnet	R_o	3,2 cm
Jarak antar magnet	Tf	1 cm
Celah udara	Δ	1, 2 dan 3 mm
Diameter rotor	D	11,1 cm



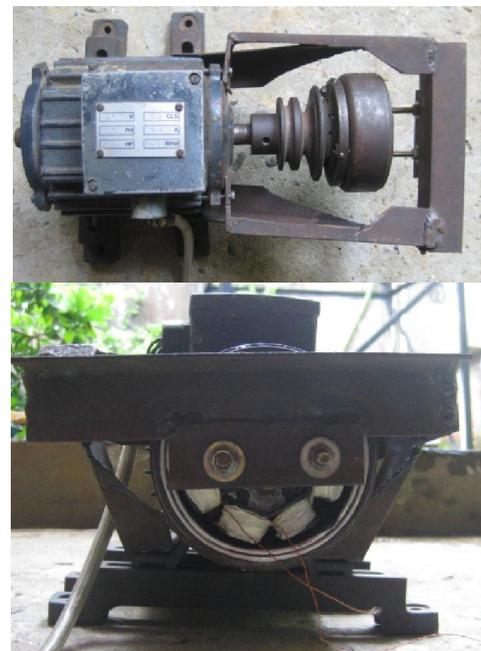
Gbr. 9 Rancangan Rotor dengan Variasi Jarak Celah Udara (Gap)

Rotor generator fluks radial terdiri atas 8 dan 12 magnet permanen jenis ferrit yang disusun secara radial dengan jarak celah divariasikan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 10.



Gbr. 10 Rotor Generator Fluks Radial Satu Phasa

Generator fluks radial satu Phasa kemudian dihubungkan dengan motor penggerak mula 3 Phasa dan diukur tegangan yang dihasilkan oleh generator tersebut dalam keadaan tidak berbeban dan berbeban seperti terlihat pada Gambar 11.



Gbr. 11 Generator fluks radial satu Phasa yang diputar dengan motor AC

D. Pengujian Tegangan Keluaran Generator

Pengujian tegangan keluaran generator fluks radial dilakukan dalam dua tahap yaitu pengujian tanpa beban dan pengujian dengan menggunakan beban.

Pengujian tanpa beban dilakukan dengan cara mengatur jarak celah antara 1 mm hingga 3 mm untuk magnet rotor 8 dan 12 kutub. Dimana untuk magnet rotor 8 kutub diatur jarak celah sebesar 1 mm dan 3 mm. Untuk magnet rotor 12 kutub, pengaturan jarak celah dilakukan dengan jarak 1 mm dan 2 mm. Setelah jarak celah diatur dilakukan pengujian dengan memutar mesin penggerak AC 3 Phasa pada putaran 200 rpm hingga 1400 rpm. Setelah putaran diberikan dan ukur tegangan yang dihasilkan dengan menggunakan multimeter. Peralatan pengujian dapat dilihat pada Gambar 11, dimana terlihat komponen alat uji adalah motor AC 3 Phasa, generetor sinkron yang terdiri atas magnet motor dan lilitan kumparan 8 dan 12 kutub. Pada saat pengujian juga digunakan multi meter dan tachometer untuk mengukur tegangan dan putaran motor AC.

Pengujian generator dengan menggunakan beban dilakukan dengan cara yang sama seperti pada pengujian tanpa beban tetapi disini pada saat pengujian diberikan beban dari lampu pijar 5 Watt. Setelah semua peralatan disusun dan diset seperti pada pengujian tanpa beban kemudian ditambahkan satu buah bola lampu 5 Watt, generator dijalankan dengan menggunakan putaran dari 200 rpm hingga 1400 rpm. Selanjutnya tegangan yang dihasilkan oleh generator sinkron dengan beban bola lampu diukur menggunakan multi meter.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Pengaruh Jarak Celah Terhadap Performan Generator Sinkron dengan Tanpa Beban

Hasil Pengujian pengaruh jarak celah terhadap performan generator sinkron dengan tanpa beban untuk jumlah kutub magnet rotor 8 dan 12 dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4. Pada Tabel 3 terlihat bahwa tegangan yang dihasilkan oleh generator sinkron dengan jarak celah 1 mm untuk putaran 200 rpm adalah 43,5 V dan mengalami penurunan jika jarak celah dinaikan menjadi 2 dan 3 mm sebesar 7 Volt dan 11,5 Volt. Untuk putaran yang lebih tinggi yaitu pada 1400 rpm terlihat bahwa tegangan yang dihasilkan oleh generator sinkron adalah sebesar 261,3 V dengan jarak celah 1mm dan memiliki hal yang sama pada jarak celah 2 mm dan 3 mm yaitu terjadi penurunan sebesar 2,8 Volt dan 7,3 Volt. Hal ini menunjukkan bahwa jarak celah yang semakin kecil akan menghasilkan tegangan yang lebih besar pada generator sinkron.

Untuk magnet rotor dengan 12 kutub fenomena tegangan yang dihasilkan generator sinkron hampir sama fenomenanya dengan magnet rotor 8 kutub yaitu tegangan yang dihasilkan pada jarak celah 1 mm lebih tinggi dibanding dengan jarak celah 2 mm seperti terlihat pada Tabel 4. Untuk jarak celah 1 mm terlihat bahwa nilai tegangan yang dihasilkan adalah sebesar 72 Volt dan 71 Volt untuk jarak celah 2 mm dengan perbedaan sebesar 1 Volt. Untuk putaran yang semakin tinggi yaitu pada 1400 rpm, besarnya perbedaan tegangan antara jarak celah 1 mm dan 2 mm adalah 64.5 Volt. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil jarak celah magnet rotor dengan kumparan stator maka tegangan yang dihasilkan akan semakin besar.

Tabel 3. Hasil Pengujian Pengaruh Jarak Celah terhadap Keluaran Generator Sinkron dengan Magnet Rotor 8 Kutub Tanpa Beban

No.	Putaran (Rpm)	Tegangan (V)		
		Jarak Celah 1mm	Jarak Celah 2mm	Jarak Celah 3mm
1.	200	43.5	39	32
2.	450	54.8	50.2	83
3.	650	137.7	104	114
4.	800	150.4	149.2	148
5.	1050	185.3	178.4	193
6.	1200	223.6	219	214
7.	1400	261.3	258.5	254

Tabel 4. Hasil Pengujian Pengaruh Jarak Celah terhadap Keluaran Generator Sinkron dengan Magnet Rotor 12 Kutub Tanpa Beban

No.	Putaran (Rpm)	Tegangan (V)	
		Jarak Celah 1mm	Jarak Celah 2mm
1.	200	72	71
2.	450	170.4	124
3.	650	269.3	230
4.	800	301	280
5.	1050	368.2	321
6.	1200	427.3	398
7.	1400	518.5	454

B. Hasil Pengujian Pengaruh Jarak Celah Terhadap Performan Generator dengan Menggunakan Beban Lampu Pijar 15w

Untuk pengujian performan generator sinkron menggunakan beban dengan jumlah kutub magnet rotor 8 dan 12 dapat dilihat pada Tabel 5 dan 6. Pada Tabel 5 terlihat bahwa nilai tegangan yang dihasilkan generator untuk jarak celah 1 mm pada putaran 200 rpm adalah sebesar 30 Volt dan mengalami penurunan tegangan sebesar 3,2 Volt pada jarak celah 2 mm. Dari arus yang dihasilkan terlihat bahwa nilainya sama sebesar 0,021 A pada jarak celah 1 mm. Untuk putaran yang lebih tinggi yaitu pada putaran 1400 rpm besarnya tegangan yang dihasilkan untuk jarak celah 1 mm adalah 235 Volt dan menurun sebesar 225

Volt pada jarak celah 2 mm, tetapi nilai arus yang dihasilkan sama yaitu 0,08 A. Pada pengujian ini terlihat bahwa untuk magnet rotor 8 kutub nilai arusnya tidak jauh berbeda untuk jarak celah 1 mm dan 2 mm.

Tabel 5. Hasil Pengujian Pengaruh Jarak Celah terhadap Keluaran Generator Sinkron dengan Magnet Rotor 8 Kutub dengan Menggunakan Beban Lampu Pijar 15 W

No.	Putaran (Rpm)	Jarak Celah 1mm		Jarak Celah 2mm	
		Teg (V)	Arus (A)	Teg (V)	Arus (A)
1.	200	30	0.21	26.8	0.21
2.	450	58.6	0.36	54	0.33
3.	650	98.7	0.47	91	0.44
4.	800	132.7	0.58	123.7	0.54
5.	1050	165.3	0.65	161.9	0.63
6.	1200	202.3	0.73	190.2	0.72
7.	1400	235	0.8	225	0.8

Untuk pengujian dengan menggunakan magnet motor 12 kutub menggunakan beban lampu pijar 15 Watt terlihat tegangan yang dihasilkan oleh generator sinkron sebesar 66,12 Volt untuk jarak celah 1 mm dan menurun menjadi 58 Volt untuk jarak celah 2 mm. Arus yang dihasilkan generator sinkron memiliki perbedaan 0,001 A untuk perbedaan jarak celah 1 mm. Pada putaran yang lebih tinggi yaitu 1400 rpm terlihat perbedaan nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator sinkron mengalami penurunan dari 396 Volt dan 0,135 A menjadi 358 Volt dan 0,113 A. Hal ini juga menunjukkan bahwa jarak celah magnet rotor pada generator sinkron sangat mempengaruhi performan generator tersebut.

Tabel 6. Hasil Pengujian Pengaruh Jarak Celah terhadap Keluaran Generator Sinkron dengan Magnet Rotor 12 Kutub Menggunakan Beban Lampu Pijar 15 W

No.	Putaran (Rpm)	Jarak Celah 1mm		Jarak Celah 2mm	
		Teg (V)	Arus (A)	Teg (V)	Arus (A)
1.	200	66.12	0.032	58	0.031
2.	450	145.2	0.052	120	0.53
3.	650	201.9	0.065	164	0.064
4.	800	266.1	0.079	231	0.08
5.	1050	312.5	0.098	285	0.09
6.	1200	342	0.117	337	0.102
7.	1400	396	0.135	358	0.113

Untuk jumlah kutub magnet rotor 8 dan 12 dengan jarak celah dan putaran yang sama terlihat bahwa tegangan yang dihasilkan adalah 43.5 Volt dan 72 Volt. Tegangan akan semakin meningkat dengan adanya kenaikan putaran yaitu 1400 rpm 261.3 Volt dan 518.5 Volt. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak kutub magnet rotornya maka tegangan yang dihasilkan juga akan semakin besar.

C. Pembahasan

Dari hasil pengujian yang diperoleh terlihat bahwa semakin kecil jarak celah magnet rotor dengan kumparan statornya maka tegangan yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini disebabkan oleh jarak kontak yang dekat (rapat) akan memberikan induksi medan magnet yang lebih besar^[9].

Untuk arus yang dihasilkan terlihat juga bahwa jarak celah tidak terlalu besar pengaruhnya karena perbedaan hasil yang tidak terlalu besar. Arus ini sangat besar dipengaruhi oleh dimensi kawat dan jumlah lilitan (panjang kawat kumparan)^[10].

Pengaruh jumlah kutub magnet rotor dengan jarak celah yang sama terlihat adalah semakin banyak kutub magnet rotornya maka tegangan yang dihasilkan juga akan semakin besar.

V. KESIMPULAN

Dari pengujian pengaruh jarak celah magnet rotor dan kumparan rotor pada generator sinkron dapat ditarik kesimpulan yaitu:

1. Pengaruh jarak celah magnet rotor dan kumparan rotor tanpa beban dan dengan menggunakan beban pada performan generator sinkron (tegangan) akan semakin besar jika jarak celah semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh medan induksi yang dihasilkan juga semakin besar.
2. Tegangan yang dihasilkan oleh generator sinkron pada pengujian tanpa beban untuk jarak celah magnet rotor dan kumparan rotor 1 mm dan 2 mm pada putaran 200 rpm adalah sebesar 32 Volt dan 39,2 Volt untuk magnet rotor 8 kutub. Untuk magnet rotor 12 kutub dengan jarak celah magnet rotor dan kumparan rotor yang sama adalah 72 Volt dan 71 Volt.
3. Tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator sinkron pada pengujian dengan menggunakan beban untuk jarak celah magnet rotor dan kumparan rotor 1 mm dan 2 mm pada putaran 200 rpm adalah sebesar 43,5 Volt, 26,8 Volt dan 0,21 mA untuk magnet rotor 8 kutub. Untuk magnet rotor 12 kutub dengan jarak celah magnet rotor dan kumparan rotor yang sama adalah 66,12 Volt, 59 Volt dan 0,032 mA.

REFERENSI

- [1] Pudji Irasari, Muhammad Kasim, Fitriana. *Optimasi Kemiringan Magnet Pada Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Fluks Radial*. Bandung : LIPI.
- [2] Pudji Irasari, Hilman Syaeful Alam, Muhammad Kasim, 2012, *Simulasi dan Analisis Magnetik Generator Magnet Permanen Fluks Radial Menggunakan Metoda Elemen Hingga*. Bandung: LIPI.

- [3] Santiago J dan Bernhoff H. 2010, *Comparison Between Axial And Radial Flux PM Coreless Machines For Flywheel Energy Storage*, Sweden: Division For Electricity.
- [4] Fifi Hesty Sholihah dan Joke Pratilastiarso, 2010, *Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*, Surabaya: ITS.
- [5] Hasyim Asy'ari, Jatmiko, Aziz Ardiyatmoko, 2012, *Desain Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin Atau Bayu (PLTB)*, Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [6] Zuhul. 1998. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Jakarta: PT. Rineka Cipta.
- [7] Sudirham, Sudaryatno, 2012, *Analisis Rangkaian Listrik*, Bandung: kanayakan D-30.
- [8] Gancoli, Douglas, C., 2001, *Fisika 2*, Jakarta : Erlangga.
- [9] Surya Dharma, 2006, *Induksi Elektromagnetik*, Jakarta: Universitas Indonesia.
- [10] Atria, 2014, Perancangan dan Pembuatan Generator Fluks Radial Satu Phasa Menggunakan Lilitan Kawat Sepeda Motor dengan Variasi Diameter Kawat, Universitas Bengkulu.