

Analisis Pengaruh Kerangka Penyusun Aluminium pada Generator Axial Flux 3 Fasa Double Rotor Stator Tunggal Dengan Kutub U-S Magnet Ferrite

Widyono Hadi¹, Gamma Aditya Rahardi^{2*}, dan Istiana Tirsi Suhanto³

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember^{1,2,3}

Jl. Kalimantan No. 37 Kampus Tegalboto 68121 Jember, Jawa Timur, Indonesia
widyono@unej.ac.id¹, Gamma.rahardi@unej.ac.id^{2*}, istianatirsi908@gmail.com³

Abstrak

Energi listrik menjadi energi utama yang dibutuhkan masyarakat pada saat ini. Melalui program yang kelistrikan yang dilakukan PLN salah satunya program yang dibuat melakukan pengembangan pembangkit dari energi baru terbarukan (EBT) dengan memanfaatkan berbagai sumber energi terbarukan. Berkaitan dengan pembangkit, generator merupakan komponen penting yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Pemilihan bahan sebagai kerangka penyusun generator sangat penting karena menentukan keefektifitasan saat mesin beroperasi. Dampak dari pemilihan bahan sebagai kerangka penyusun generator akan berpengaruh pada hasil generator yang dihasilkan. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa bahan akrilik lebih efektif untuk unjuk kerja generator dibandingkan dengan bahan aluminium sebagai kerangka penyusun. Nilai keluaran yang dihasilkan seperti frekuensi, tegangan, arus dan daya berbanding lurus dengan kecepatan putar rotor. Seperti pada keadaan berbeban, ketika kecepatan putar 1000 rpm maka frekuensi 50.8 Hz, tegangan sebesar 1.36 volt, arus sebesar 9.17 mA dan daya sebesar 0.02 W

Kata Kunci — Akrilik, Aluminium, Energi Listrik, Generator

Abstract

Electrical energy is the main energy that people need at this time. Through the electricity program carried out by PLN, one of the programs made is to develop plants from new and renewable energy (EBT) by utilizing various renewable energy sources. With regard to plants, generators are an important component that can convert mechanical energy into electrical energy. The selection of materials as the constituent framework of the generator is very important because it determines the effectiveness when the engine is operating. The impact of the selection of materials as the constituent framework of the generator will affect the results of the generator produced. From the test results, it was found that acrylic material is more effective for generator performance compared to aluminum as the constituent framework. The resulting output values such as frequency, voltage, current and power are directly proportional to the rotational speed of the rotor. As in the load condition, when the rotational speed is 1000 rpm, the frequency is 50.8 Hz, the voltage is 1.36 volts, the current is 9.17 mA and the power is 0.02 W

Keywords — Acrylic, Aluminium, Electrical Energy, Generator.

I. PENDAHULUAN

Konsumsi listrik di Indonesia semakin meningkat seiring bertambahnya elektrifikasi serta perubahan gaya hidup manusia di masyarakat. Energi listrik menjadi energi utama yang dibutuhkan masyarakat pada saat ini untuk menopang hampir semua kegiatan sehari-hari, ekonomi maupun aktifitas manusia, maka dari itu diperlukannya penyediaan energi listrik dalam skala besar^[1].

Melalui proyek ketenagaanlistrikan PLN bersinergi dengan pemerintahan meluncurkan beberapa program salah satunya, program yang dibuat melakukan pengembangan pembangkit dari energi baru terbarukan (EBT) dengan memanfaatkan berbagai sumber energi terbarukan seperti tenaga air, panas bumi, matahari, bayu, biomassa dan lainnya. Dimana PLN berupaya mengoperasikan pembangkit berteknologi lebih maju yang lebih ramah lingkungan^[2].

Berkenaan dengan pembangkit maka diperlukan mesin listrik yang mampu untuk mengubah energi gerak menjadi energi listrik, dalam hal ini ialah generator. Dalam beberapa tahun terakhir ini, mesin listrik magnet permanen telah semakin banyak digunakan dalam berbagai macam aplikasi. Hal ini sangat ditunjang dengan perkembangan teknologi material magnet permanen yang semakin baik. Generator magnet permanen fluks aksial (GMPFA) merupakan salah satu jenis penggunaan aplikasi dari mesin listrik magnet permanen yang dapat membangkitkan energi listrik dengan arah aliran fluks secara aksial^[3].

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Khursid Hafiz dengan Judul “*Performance Analysis of Aluminium and Copper Rotor Induction Generator Considering Skin and Thermal Effect*” pada tahun 2010. Pada penelitian tersebut menggunakan generator induksi eksitasi sendiri (SEIG). Pada penelitian menggunakan mesin induksi tipe industri sangkar tupai dengan rotor aluminium dan tembaga. Pada dunia industri penggunaan aluminium lebih terkenal dikarenakan harganya relatif murah aluminium memiliki tingkat korosi lebih baik dibanding tembaga. Tetapi tembaga memiliki tingkat keefektifan lebih baik ketika beroperasi^[4].

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Yuni Endah Lestari pada tahun 2020, dimana pada penelitiannya membahas penelitian ini menggunakan topologi axial flux tiga fasa dengan double rotor dan stator tunggal. Penelitian tersebut menggunakan magnet ferit pada rotor dengan jumlah 6 magnet yang dimensi 15x3mm. Dan terdapat 9 kumparan dengan inti besi pada stator, yang masing-masing kumparan terdiri dari 300 lilitan. Pada penelitian ini kerangka penyusun yang digunakan yaitu akrilik^[5].

Pada penelitian ini berfokus pada analisis pengaruh kerangka penyusun menggunakan aluminium pada generator axial flux 3 fasa double rotor stator tunggal dengan kutub U-S magnet ferit. Pada penelitian ini fokus terhadap pengaruh aluminium terhadap keluaran generator sebagai material penyangga pada generator baik digunakan pada penampang rotor dan stator. Dimana penggunaan aluminium terkenal sebagai material mesin induksi pada dunia industri terutama pada mesin induksi sangkar tupai dikarenakan harga aluminium relatif murah dibanding material lainnya. Dimana rancangan yang digunakan pada penelitian ini yaitu pada rotor menggunakan magnet ferit berdimensi 15x3mm dengan penampang rotor aluminium berdiameter 10 cm dan tebal aluminium 3mm. Begitu pula pada rancangan stator kumparan berjumlah 9 dengan masing-masing kumparan 300 lilitan dan penampang yang digunakan pada stator yaitu aluminium dengan tebal 3mm dan luas 12 x12 cm. Penelitian yang akan dilakukan menggunakan motor DC untuk memutar rotor yang akan dikopel pada generator. Dan kumparan stator dihubungkan secara wye. Pada saat pengujian pada motor akan memutar generator kecepatan rotor 3400 rpm.

II. METODE PENELITIAN

A. Perancangan Generator

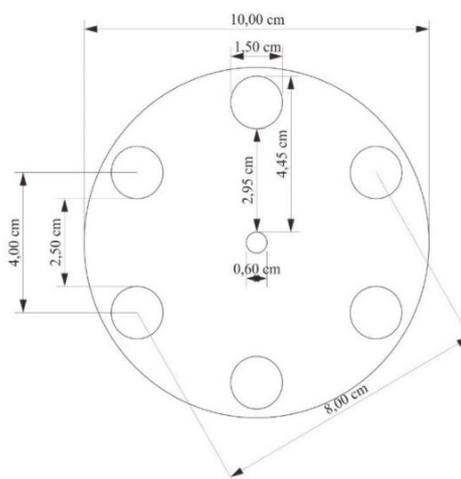
Pada perancangan stator sesuai dengan Tabel 1 spesifikasi perancangan, stator yang dirancang memiliki penampang berbentuk persegi dengan panjang 12 cm dengan lebar 12 cm. Bahan penampang stator juga menggunakan aluminium seperti pada rotor yang memiliki tebal 3 mm. Terdapat 9 lubang untuk meletakkan inti besi atau untuk kumparannya. Dan terdapat lubang untuk bearing di tengah yang menyesuaikan spesifik bearingnya yaitu Bearing 625 2RS. Jumlah kumparan yang digunakan sebanyak 9 kumparan. Setiap kumparan memiliki 300 lilitan. Kawat email yang digunakan untuk lilitan berdiameter 0,4mm. Dan untuk inti besi stator sebesar 5 mm. Untuk desain 2D dan 3D perancangan tersebut seperti pada Gambar 3.5 Desain stator 2D dan Gambar 3.6 Desain stator 3D. Mengacu pada penelitian sebelumnya, target tenggangan line to line sebesar 4,89 Vac dengan frekuensi 170 Hz. Kemudian teruntuk air gap antara rotor dan stator sebesar 4mm.

TABEL I
 SPESIFIKASI PERANCANGAN

Parameter	Simbol	Nilai
Jumlah Fasa	N_{ph}	3 fasa
Densitas Fluks Magnet	B_{mag}	0,095 T
Dimensi Magnet	D	15 mm
	l_m	3 mm
Aluminium Alloy 1100	t	3 mm
Diameter Rotor	D	10 cm
Jarak Antar Magnet	τ_f	2,5 cm
Jumlah Magnet		6 buah
Penampang Stator	p	12 cm
	l	12 cm
Ukuran Stator	p	2 cm
	l	1 cm
Jumlah Lilitan	N	300 lilitan
Panjang Kawat	P	14 m
Jumlah Kumparan	N_s	9 kumparan
Inti Besi	r	5 mm
Diameter Kawat Email	D	0,4 mm
Lebar Celah Udara	δ	4 mm
Resistansi Generator	R	6,7 Ω
Induktansi Generator	L	0,00581 H

B. Desain Generator

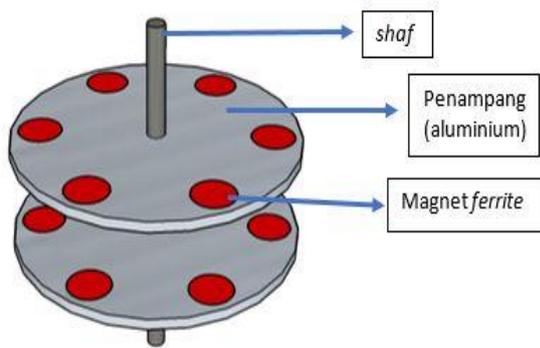
Untuk desain generator meliputi desain rotor, stator dan desain keseluruhan generator.



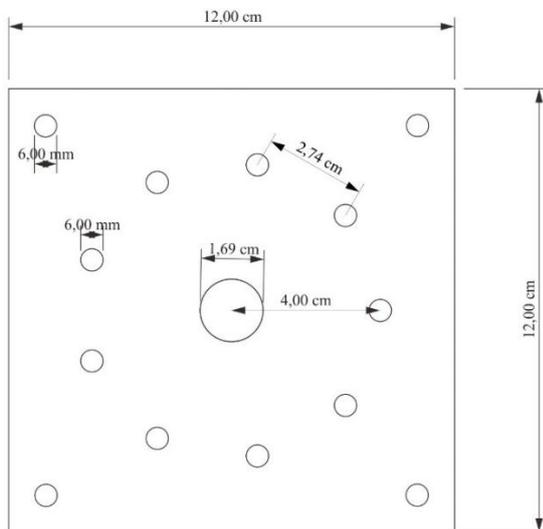
Gbr.1 Desain Rotor 2D

Gambar 1 merupakan desain rotor yang akan digunakan dalam penelitian ini dengan rotor berjumlah 6. Pada Gambar 2 dapat dilihat susunan rotor yang terdiri dari shaf, jenis penampang yaitu aluminium dan rotor menggunakan magnet yang berjenis ferrite.

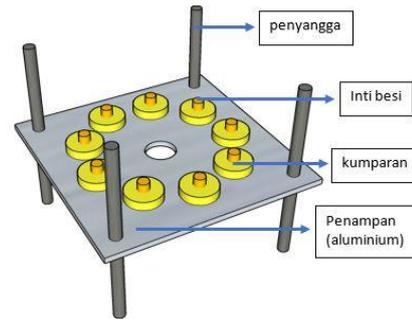
Pada gambar 3 dan 4 merupakan desain stator yang akan digunakan dengan jarak antar lubang sebesar 2.74cm dan masing-masing lubang stator berdiameter 6mm. Lubang shaf berukuran 16.9mm dengan jarak antara shaf dan stator sebesar 4cm. rancangan stator juga ditampilkan dalam bentuk 3D sehingga dapat dilihat bentuk yang menyerupai aslinya. gabungan stator dan rotor juga memiliki 4 penyangga yang digunakan sebagai penahan motor pada media yang akan digunakan.



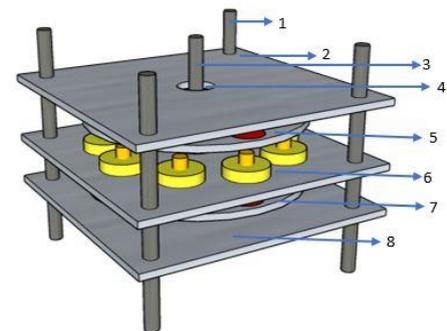
Gbr.2 Desain Rotor 3D



Gbr.3 Desain Stator 2D



Gbr.4 Desain Stator 3D

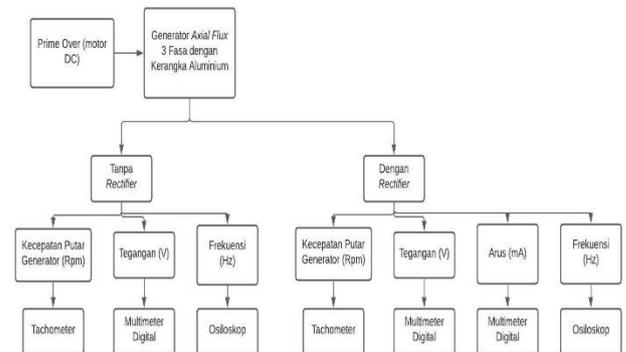


Gbr.5 Desain Generator Axial Flux Double Rotor 3D

Pada gambar 5 dapat dilihat susunannya yang terdiri dari

1. Penyangga
2. Penampang atas
3. *as*
4. Bearing
5. Rotor 1
6. Stator
7. Rotor 2
8. Penampang bawah

C. Blok Diagram Sistem Kerja



Gbr.6 Blok Diagram Sistem Kerja

Berdasarkan Gbr. 6 generator bekerja dengan sistem untuk prime over berfungsi untuk mengcopel generator menggunakan motor DC. Generator akan dijalankan oleh motor DC dan akan diuji dalam keadaan dengan rectifier dan tanpa rectifier.

Dan karakteristik keluaran yang akan diukur yaitu kecepatan putar motor diukur dengan tachometer, nilai frekuensi diukur dengan osiloskop, nilai tegangan dan arus diukur dengan multimeter digital.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Tanpa Beban Sebelum Rectifier

Pengujian Generator Axial Flux Double Rotor Stator Tunggal meliputi pengujian tanpa beban dan berbeban yang dilakukan secara langsung pada alat Pengujian ini dilakukan dengan memberikan variasi kecepatan putar generator untuk melihat hasil output generator.

TABEL IIa
 PENGUJIAN TANPA BEBAN

Kecepatan putar	Tegangan perhitungan	Tegangan pengukuran (V)		Error persen Tegangan (%)	
		Aluminium	Akrilik	aluminium	akrilik
1000	1.44	1.42	1.43	0.9	3.58
2000	2.87	2.32	2.80	19.1	2.57
3400	4.89	3.03	4.69	38.0	4.40

TABEL IIa
 PENGUJIAN FREKUENSI TANPA BEBAN

Kecepatan putar	Frekuensi (Hz)	
	aluminium	akrilik
1000	50.1	50
2000	99.2	100
3400	170	170

Berdasarkan Tabel IIa dan IIb menunjukkan bahwa perbandingan generator penampang aluminium dan akrilik dengan parameter kecepatan putar rotor. Pada pengujian ini dikatakan suatu generator bekerja dengan baik ketika nilai output sama atau mendekati nilai dari perhitungan. Sehingga dapat dilihat dari data pembanding diatas bahwa generetaor dengan penampang akrilik lebih baik daripada penampang aluminium. Hal tersebut dikarenakan nilai output dari generator penampang akrilik stabil dan memiliki error persen yang kecil jika dibandingkan dengan generator penampang aluminium. Tetapi pada generator penampang aluminium ketika pada

kecepatan putar rotor awal yaitu 1000 rpm hasil yang diperoleh memiliki error persen yang kecil atau mendekati nilai perhitungan, kemudian ketika kecepatan putar rotor dipercepat hasil tegangan output memiliki nilai error persen tinggi. Pengujian ini akan dilakukan perbandingan antara generator penampang aluminium dan akrilik ketika keadaan berbeban sebelum rectifier. Beban yang digunakan bernilai sama yaitu 51 ohm.

B. Pengujian Generator Tanpa Beban Setelah Rectifier

TABEL III
 HASIL PENGUJIAN TANPA BEBAN SETELAH RECTIFIER

Kecepatan putar(Rpm)	Tegangan DC (V)		Error persen Tegangan DC(%)	
	aluminium	akrilik	aluminium	akrilik
2000	1.81	4.06	4.99	5,1
3000	3.64	5,36	6.78	4,79
3400	3.9	6.1	4.42	3,89

Berdasarkan Tabel III menunjukkan bahwa semakin cepat kecepatan putar rotor maka tegangan yang dihasilkan semakin besar. Tetapi untuk perbandingan antara generator berpenampang aluminium dan akrilik, nilai tegangan output pada penampang akrilik lebih besar dibandingkan penampang aluminium. Sehingga generator dengan penampang akrilik lebih baik dibandingkan dengan generator berpenampang aluminium.

C. Pengujian Generator dengan Beban Sebelum Rectifier

Pada pengujian ini akan dilakukan perbandingan antara generator penampang aluminium dan akrilik ketika keadaan berbeban sebelum rectifier. Beban yang digunakan bernilai sama yaitu 51 ohm

TABEL IV
 HASIL PENGUJIAN GENERATOR DENGAN BEBAN SEBELUM RECTIFIER

Kecepatan putar (Rpm)	Tegangan AC (V)		Arus (mA)		Daya output (W)		Efisiensi (%)	
	Al	akrilik	Al	akrilik	Al	akrilik	Al	akrilik
1000	1.36	1.30	9.17	21.27	0.02	0.048	4.1	17.24
2000	2.02	2.51	24.05	40.56	0.08	0.176	7.6	27.06
2600	2.26	3.20	29.97	51.15	0.12	0.283	8.1	31.10
3400	2.46	4.07	34.93	64.00	0.15	0.451	7.9	35.06

Berdasarkan tabel IV menunjukkan hasil perbandingan data dari hasil generator dengan penampang aluminium dan akrilik pada keadaan berbeban sebelum rectifier. Pada data tersebut dapat dilihat jika pada penampang aluminium dan akrilik hasil tegangan yang diperoleh semakin cepat kecepatan putar rotor maka tegangan *output* semakin besar pula. Tetapi untuk nilai *output* tegangan pada penampang akrilik lebih baik dibandingkan penampang aluminium. Hal tersebut juga terjadi pada arus *output* yang diperoleh. Bahwa nilai arus output pada generator penampang akrilik yang dihasilkan lebih baik atau lebih besar dibandingkan dengan generator berpenampang aluminium. Dari nilai tegangan dan arus tersebut berpengaruh pada nilai daya *output* dan nilai efisiensi yang dihasilkan, hasil yang diperoleh lebih besar dan lebih efisien pada generator penampang akrilik dibanding penampang aluminium. Dari pengujian ini dapat dilihat bahwa penampang akrilik lebih baik dibandingkan dengan penampang aluminium dilihat dari nilai efisiensi, yang mana nilai efisien penampang akrilik 4 kali dari efisiensi penampang aluminium. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan penggunaan aluminium sebagai penampang dikarenakan bobot aluminium yang lebih berat dibanding akrilik, dimana berat rotor berpenampang aluminium seberat 0.253 Kg sedangkan penampang akrilik 0.11 Kg.

D. Pengujian Generator dengan Beban Setelah Rectifier

TABEL V
 HASIL PENGUJIAN GENERATOR DENGAN BEBAN SETELAH RECTIFIER

Kecepatan putar (Rpm)	Tegangan DC (V)		Arus (mA)	
	Al	akrilik	Al	akrilik
2000	1.38	0,62	8.17	11,73
3000	1.78	1,16	30.27	22,42
3400	1.91	2,5	33.03	49,55

Berdasarkan tabel V menunjukkan bahwa tegangan *output* pada penampang akrilik mengalami kenaikan secara signifikan dibandingkan dengan tegangan *output* pada penampang aluminium. Meskipun pada awal kecepatan putar rotor ketika 2000 rpm nilai tegangan pada penampang aluminium lebih besar. Dan pada penampang aluminium dengan bertambahnya kecepatan putar rotor kenaikan yang terjadi pada tegangan *output* relative mendekati atau stabil. Begitu pula pada nilai arus *output* dimana pada penampang akrilik nilai arus juga mengalami kenaikan secara signifikan dibandingkan dengan penampang aluminium.

IV. KESIMPULAN (PENUTUP)

Pada pengujian generator *axial flux double* rotor magnet *ferrite* dengan kerangka aluminium dengan keadaan berbeban ataupun tanpa beban nilai keluaran yang dihasilkan seperti frekuensi, tegangan, arus dan daya berbanding lurus dengan kecepatan putar rotor. Seperti pada keadaan berbeban, ketika

kecepatan putar 1000 rpm maka frekuensi 50.8 Hz, tegangan sebesar 1.36 volt, arus sebesar 9.17 mA dan daya sebesar 0.02 W. Sedangkan ketika kecepatan putar rotor 3400 rpm maka frekuensi 170 Hz, tegangan 2.53 volt, arus 34.93 mA dan daya 0.15 W. Nilai efisiensi yang dihasilkan kecil, hal tersebut dapat dipengaruhi oleh rugi-rugi daya.

Perbandingan antara generator penampang aluminium dan akrilik diperoleh bahwa kerangka akrilik lebih efektif untuk unjuk kerja generator dibandingkan dengan kerangka aluminium. Hal tersebut dikarenakan data hasil percobaan pada penampang akrilik lebih baik dan stabil. Sedangkan pada kerangka aluminium data pengujian yang diperoleh tidak signifikan seperti kerangka akrilik. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan aluminium merupakan bahan konduktor, sehingga demagnetisasi pada kerangka aluminium lebih besar dibanding akrilik.

REFERENSI

- [1] S. M. Metev and V. P. Veiko, *Laser Assisted Microtechnology*, 2nd ed., R. M. Osgood, Jr., Ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1998.
- [2] J. Breckling, Ed., *The Analysis of Directional Time Series: Applications to Wind Speed and Direction*, ser. Lecture Notes in Statistics. Berlin, Germany: Springer, 1989, vol. 61.
- [3] S. Zhang, C. Zhu, J. K. O. Sin, and P. K. T. Mok, "A novel ultrathin elevated channel low-temperature poly-Si TFT," *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 20, pp. 569–571, Nov. 1999.
- [4] Hafidz, Khurshid. (2010). Performance Analysis of Aluminum- and Copper-Rotor Induction Generators Considering Skin and Thermal Effects. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*
- [5] Endah, Yuni. (2020). Rancang Bangun Generator Axial Flux 3 Fasa Double Rotor Dengan Kutub U-S Menggunakan Magnet Ferrite Permanen. *Universitas Jember*

