

Perancangan Generator Satu Fasa Magnet Permanen Fluks Radial Kecepatan Rendah

Fredson Bully Manggala¹, Syafriyudin², Muhammad Suyanto³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri
Institut Sains & Teknologi Akprind Yogyakarta
dien@akprind.ac.id²

Abstrak- Energi listrik merupakan bagian penting dalam kehidupan manusia. Pada daerah terpencil dibutuhkan pembangkit listrik yang dapat memenuhi kebutuhan energi listrik. Generator dengan magnet permanen kecepatan rendah dapat menjadi alternatif karena tidak menimbulkan polusi. Penelitian ini membahas generator dengan magnet permanen kecepatan rendah dengan memanfaatkan mesin listrik tipe JY2B – 2. Perancangan rotor dilakukan dengan meletakkan magnet permanen neodymium N52 dengan dimensi 6 cm x 1 cm x 0,5 cm. Stator diperoleh dari mesin tipe JY2B – 2. Pengujian tanpa beban dilakukan pada rpm 375 menghasilkan tegangan sebesar 58,1 Volt dan frekuensi 50,13. Pengujian pada rpm 375 dengan menggunakan kapasitor 5 μF menghasilkan tegangan 62,6 Volt, kapasitor 7 μF menghasilkan tegangan 63,4 Volt, dan kapasitor 10 μF menghasilkan tegangan 64,4 Volt. Pengujian dengan penambahan kapasitor menyebabkan kenaikan tegangan. Pada pembebanan resistif 10 sampai 45 Watt, generator mengalami penurunan tegangan dari 58,1 Volt sampai 41,7 Volt dan kenaikan arus 0,14 Ampere sampai 0,52 Ampere. Pembebanan resistif dengan penambahan kapasitor 10 μF terjadi penurunan tegangan generator dari 64,4 Volt sampai 44,8 Volt dan kenaikan arus dari 0,15 Ampere sampai 0,53 Ampere. Semakin meningkat nilai daya beban menyebabkan penurunan nilai tegangan terminal sedangkan nilai arus berbanding lurus dengan daya beban

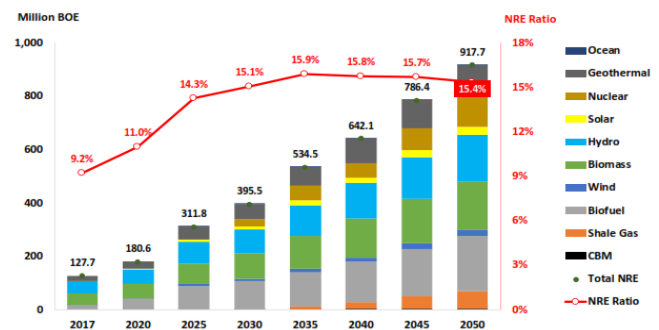
Kata kunci: Generator radial fluks, permanen magnetik, tegangan

I. PENDAHULUAN

Desain generator magnet permanen fluks aksial menggunakan konstruksi torus stator dengan bahan plastik untuk sistem pembangkit energi angin. Pada generator ini stator dijepit di antara cakram rotor di mana kutub Utara salah satu cakram menghadap kutub Selatan cakram rotor yang berlawanan, desain disiapkan untuk berbagai peringkat dengan nilai parameter desain yang sama dan perbandingan dibuat antara *Axial Flux Permanent Magnet Generator* (AFPMG) dan *Radial Flux Permanent Magnet Generator* (RFPM) [1]. Perancangan generator magnet permanen fluks aksial menggunakan konstruksi torus stator dengan bahan plastik. Untuk memaksimalkan efisiensi generator, Hubungan antara Rasio Diameter Dalam (ID) ke Diameter Luar (OD) dan resistansi per fasa dipakai untuk mencapai nilai yang optimal [2]. Penggunaan rangka stator bekas dari motor induksi tiga fasa (3 Φ) melalui rekondisi rangka dan inti stator untuk memperoleh alternator satu fasa. Struktur belitan stator digunakan untuk membuat struktur rotor dengan magnet permanen fluks radial. Struktur rotor berbentuk silinder

berongga dengan dimensi 60 mm, 30 mm dan 85 mm dilengkapi dengan 12 magnet permanen. Nilai daya listrik teoritis yang dihasilkan alternator adalah 81VA, sedangkan daya mekanik teoritis yang dibutuhkan dari penggerak awal adalah 350 Watt [3].

Pola konsumsi energi Indonesia pun perlu bergeser dari energi fosil ke energi baru-terbarukan. Sebab, di tengah tingkat produksi yang kian menurun, konsumsi energi nasional masih didominasi oleh energi tak terbarukan alias energi fosil seperti ditunjukkan pada [Gambar 1](#). Indonesia berencana untuk meningkatkan konsumsi energi terbarukan sebesar 25% pada 2025 dan 31% hingga 2050 [4].



Gambar 1. Kapasitas pembangkit listrik dari EBT dan energi fosil

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat pertumbuhan konsumsi energi terbesar di dunia. Berdasarkan data Direktorat Energi Baru-Terbarukan dan Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), peningkatan konsumsi energi Indonesia beberapa tahun belakangan ini mencapai tujuh persen per tahun [5].

Mesin magnet permanen fluks aksial (bentuk cakram) adalah alternatif yang menarik untuk mesin fluks radial (bentuk silinder) dalam aplikasi turbin angin. Konfigurasi fluks aksial dapat digunakan untuk kecepatan rendah, operasi torsi tinggi dari sistem energi angin penggerak langsung. Konversi energi angin penggerak langsung cenderung mengurangi ukuran, berat, dan kebisingan sistem, sekaligus meningkatkan efisiensi dan keandalan secara keseluruhan [6].

Perancangan sebuah generator sinkron magnet permanen 8 kutub, satu fasa dilakukan dengan menggunakan magnet Neodymium Ferit Boron (NdFeB) tipe Neoflux-30 yang dioperasikan pada kecepatan 750 rpm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada saat generator tidak dibebani

menghasilkan tegangan sebesar 7,91 Volt dan pada saat berbeban, tegangan yang dihasilkan generator sebesar 6,11 Volt dengan efisiensi sebesar 32,84% [7]. Analisis unjuk kerja mesin AFPM in-wheel dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga (FEM). Analisis FEM dari metode desain kecepatan tunggal (SSD) juga dilakukan. Mesin yang dirancang oleh MSD dan SSD diterapkan di HEV dan disimulasikan. Hasilnya menunjukkan kinerja HEV yang lebih baik, menggunakan mesin yang dirancang berdasarkan MSD di semua siklus operasi. Hasil eksperimen diperoleh dari prototipe praktil sampel, mengkonfirmasi metode analisis [8].

Proses desain dan manufaktur untuk generator magnet permanen fluks aksial dijelaskan untuk aplikasi elektrifikasi pedesaan berbiaya rendah, di mana produksi lokal turbin angin kecil dipertimbangkan, desain generator disimulasikan dan mesin yang dibangun diuji di laboratorium [9]. Generator sinkron magnet permanen fluks aksial (PMSG) dirancang dan dianalisis sebagai stator ganda dan tiga rotor dan karakteristik elektromagnetiknya, penelitian ini memberikan pengurangan baik rugi-rugi besi maupun membuat mesin lebih ringan dengan mengurangi jumlah rotor yang akan digunakan. Generator fluks aksial baru dirancang untuk bergerak sebagai kecepatan permanen 500 rpm sehingga tegangan maksimum sekitar 120 V per fase [10].

Total presentase penggunaan produksi energi listrik di dunia sampai akhir tahun 2015, Energi fosil atau *Non-renewable* masih di gunakan untuk produksi listrik di dunia yaitu 76,3% dan energi terbarukan sebesar 23,7%. Tenaga air masih memiliki kapasitas terbesar pada listrik terbarukan yaitu 16,6% [11]. Eksitasi adalah bagian dari sistem dari generator yang berfungsi membentuk/ menghasilkan fluksi yang berubah terhadap waktu, sehingga dihasilkan satu GGL induksi [12]. Kapasitas terpasang listrik terbarukan global kumulatif tumbuh sebesar 8% pada tahun 2014 (dari 1,579 GW ke 1,712 GW), pertumbuhan yang terus stabil (6.6% per tahun dari 2004-2014) beberapa tahun terakhir. Penambahan kapasitas listrik terbarukan global tumbuh sebesar 24% dibandingkan dengan tahun 2013 (dari 108 GW ke 134 GW di penambahan kapasitas tahunan), tingkat yang lebih tinggi dari pada pengamatan dalam beberapa tahun terakhir. Pembangkit Tenaga Angin kapasitas terpasang tumbuh sebesar 16% global. Seperti 2013 [13].

Generator merupakan salah satu mesin listrik yang bekerja dengan mengubah energi mekanik menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari. Dalam struktur aliran fluksnya, generator magnet permanen terdiri atas dua jenis, yaitu axial flux dan radial fluks [3,6,7]. Generator magnet permanen dengan kecepatan rendah dapat menjadi alternatif untuk membangkitkan energi listrik yang tidak memerlukan bahan bakar minyak dan tidak menimbulkan polusi [4,7]. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan generator satu phase magnet permanen fluks radial kecepatan rendah dengan memanfaatkan mesin listrik type JY2B -2. Magnet yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis *Neodymium* NdFeB grade N52.

Setelah itu, mulai dari abstrak hingga referensi, halaman dibagi menjadi dua kolom. Lebar kolom adalah 89 mm. Jarak antara dua kolom adalah 6 mm. Jumlah kolom di bagian isi artikel bisa saja diatur menjadi satu kolom jika ukuran gambar

atau tabel dengan menggunakan dua kolom dianggap terlalu kecil.

II. METODE PENELITIAN

A. Desain Generator Axial Fluks

Pada penelitian ini yang dilakukan adalah merancang dan memanfaatkan mesin listrik 1 fasa yang di ubah menjadi generator magnet permanen putaran rendah 1 fasa tipe radial fluks dengan menggunakan magnet permanen NdFeB grade N52. Pada penelitian ini dirancang sebuah generator magnet permanen, dengan menggunakan mesin listrik 1 phase type JY2B - 2, yang bentuk statornya ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Stator mesin listrik type JY2B - 2.

B. Perencanaan Generator.

1) Perencanaan Putaran Dan Fluks Magnet Generator

Kecepatan generator dengan acuan frekuensi 50 Hz dengan jumlah 16 kutub sebagai berikut:

$$n = \frac{120 \times f}{p}$$

$$n = 375 \text{ rpm}$$

a. Medan magnet maksimum

Kerapatan fluks magnet diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut:

$$B_{max} = B_r \times \frac{lm}{lm + \delta}$$

$$B_{max} = 1,0908 \text{ T}$$

b. Luas medan magnet maksimum

Luas medan maksimum diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut:

$$A_{max} = \frac{\pi (r_o^2 - r_i^2) - \tau f (r_o - r_i) \times Nm}{Nm}$$

$$A_{max} = 0,0002744 \text{ m}^2$$

c. Fluks maksimum

Nilai dari fluks maksimum diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Phi_{max} = B \times A_{max}$$

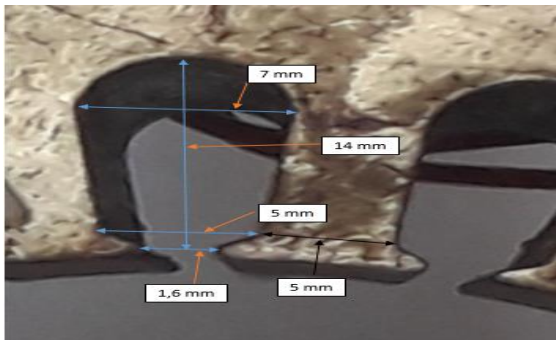
$$\Phi_{max} = 0,000299315 \text{ Weber}$$

d. Perhitungan kumparan

Pada pembuatan generator satu phase fluks radial menggunakan mesin type JY2B - 2, maka jumlah kumparan akan disesuaikan dengan jumlah slot yang ada pada rotor mesin listrik. Mesin listrik type JY2B - 2 memiliki 24 slot.

e. Slot/alur kumparan

Dengan menggunakan *software sketchUp* dilakukan penggambaran ulang alur dengan tujuan mengetahui luas dari alur tersebut. Luas dari tiap alur pada rotor yang akan digunakan sebagai tempat kumparan adalah 77,6 mm². [Gambar 3](#) menunjukkan gambar slot/alur dari mesin JY2B – 2.



Gambar 3 Alur dari stator mesin JY2B -2

f. Diameter kawat dan jumlah lilitan

Dengan luas alur yang diperoleh diatas akan dipasang kawat dengan diameter 0,5 mm sebagai bahan kumparan. Jumlah lilitan kumparan yang akan dipasang sebagai berikut:

$$N = \frac{77,6}{0,5}$$

$$N = 155,2 \text{ lilit}$$

$$N \approx 155 \text{ lilit}$$

Jumlah lilitan tiap alur sebanyak 155 lilit, kemudian dikurangi 10 % untuk penempatan selongsong kawat atau penempatan pasak agar tidak terjadi penonjolan kawat yang berakibat kawat akan putus oleh rotor yang bergerak, maka jumlah lilit tiap slot sebagai berikut:

$$\text{Jumlah lilit (N)} = 155 \text{ lilit} - 10\%$$

$$N = 140 \text{ lilit}$$

Langkah kumparan yang akan terpasang pada stator dengan jumlah lilitan tiap kumparan sebanyak 140 lilit sebagai berikut:

$$\text{langkah belitan} = \frac{\text{jumlah alur}}{\text{jumlah pole}}$$

$$\text{langkah belitan} = \frac{16}{16}$$

$$\text{langkah belitan} = 1$$

g. Tegangan output generator

Perhitungan tegangan induksi yang dibangkitkan oleh generator magnet permanen putaran rendah sebagai berikut:

$$E_a = 4,44 \cdot N \cdot f \cdot \Phi_{\max} \cdot \frac{N_s}{N_{ph}}$$

$$E_a = 4,44 \cdot 140 \text{ lilit} \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 0,000299315 \text{ Weber} \cdot \frac{8}{1}$$

$$E_a = 74,42 \text{ V}$$

h. Daya output generator

Dari perencanaan yang dilakukan didapatkan tegangan sebesar 74,42 V. Daya output dari generator dengan asumsi arus sebesar 0,6 A dengan faktor daya 0,98 maka:

$$P = V \times I \times \cos \phi$$

$$P = 74,42 \times 0,6 \text{ A} \times 0,98$$

$$P = 44,1 \text{ Watt}$$

TABEL 1.
PARAMETER PERANCANGAN GENERATOR

No	Variabel	Simbol	Nilai
1	Frekuensi	f	50 Hz
2	Jumlah kutub	p	16
3	Kecepatan	n	375 RPM
4	Jumlah phase	Nph	1 phase
5	Dimensi magnet	Panjang	60 mm
		Lebar	10 mm
		Tinggi	5 mm
6	Densitas fluks magnet	Br	10000 - 12000 Gauss
7	Diameter luar magnet	ro	77 mm
8	Diameter dalam magnet	ri	65 mm
9	Lebar celah udara	δ	0,5 mm
10	Diameter dalam stator	Dc	78 mm
11	Medan magnet	Bmax	1,0908 T
12	Luas medan magnet	Amax	0,0002744 m ²
13	Nilai fluks maksimum	Φmax	0,000299315Wb
14	Jumlah kumparan	Ns	8
15	Jumlah lilitan	N	140 lilitan Kawat 0,5

B. Perancangan Generator

1) Rotor

Pada perancangan rotor akan menggunakan rotor dari mesin tipe JY2B – 2. Bentuk rotor dari mesin JY2B – 2 diperlihatkan pada [Gambar 4](#).



Gambar 4. Bentuk rotor dari mesin JY2B – 2

Pada penelitian ini magnet yang digunakan adalah jenis *neodymium* atau NdFeB grade N52. Magnet yang akan dipakai pada penelitian ini adalah magnet Neodymium.

C. Magnet Neodymium

Magnet Neodymium, seperti pada [Gambar 5](#), dikenal sebagai NdeFb, NIB atau Neo magnet, yang paling banyak digunakan jenis magnet rare-earth adalah magnet permanen yang terbuat dari paduan dari Neodymium, besi dan boran untuk membentuk Nd₂Fe₁₂B struktur kristal tetragonal. NdFeB grade N52.



Gambar 5. Magnet neodmium

Pemasangan magnet permanen *neodymium* N52 sebagai sumber fluks magnetik pada generator fluks radial satu fasa dapat dilihat pada [Gambar 6](#).



Gambar 6. Pemasangan magnet pada rotor

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengukuran Generator Tanpa Beban

1) Pengukuran Frekuensi, Tegangan dan Kecepatan Rotasi Generator

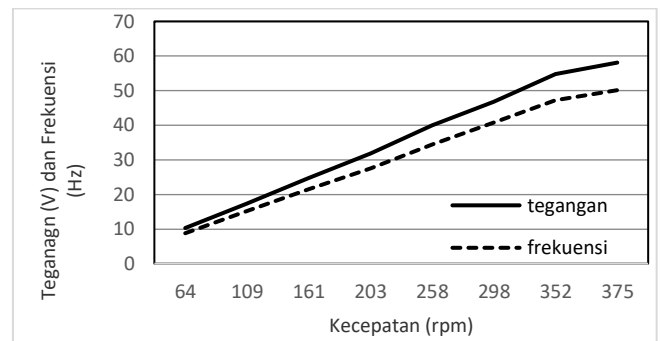
Pengukuran generator satu fasa magnet permanen dilakukan untuk mengetahui output tegangan dan frekuensi dengan variasi kecepatan generator. Pengujian dilakukan di laboratorium teknik instalasi listrik IST AKPRIND Yogyakarta dengan menggunakan motor listrik sebagai penggerak mula, kecepatan motor sebagai penggerak mula diatur menggunakan *variabel speed drive*, dimulai dari kecepatan 50 rpm sampai 400 rpm, dan kecepatan pada generator terpantau tidak selalu sama dengan outaran dari putaran motor penggerak, hal ini disebabkan kesulitan dalam pengaturan kecepatan di *vsd*, terlihat dari [Tabel 2](#). menunjukkan bahwa kenaikan kecepatan putaran generator akan meningkatkan tegangan yang dibangkitkan oleh generator, dan juga terjadinya kenaikan frekuensi secara linier terhadap kenaikan tegangan dan putaran generator.

TABEL 2
PERBANDINGAN FREKUENSI DAN TEGANGAN TERHADAP
PUTARAN GENERATOR

No	Kecepatan motor penggerak	Kecepatan generator (rpm)	Tegangan (V)	Frekuensi (Hz)
1	50	64	10,3	8,79
2	100	109	17,4	15,24
3	150	161	24,7	21,50
4	200	203	31,9	27,57
5	250	258	40,0	34,42
6	300	298	46,8	40,76
7	350	352	54,8	47,22
8	400	375	58,1	50,13

1) Analisa perbandingan tegangan, frekuensi dan kecepatan putaran generator.

Analisa perbandingan digunakan untuk mengetahui grafik karakteristik frekuensi generator dan rotasi generator dapat dilihat pada [Gambar 7](#) yang menunjukkan bahwa kenaikan kecepatan putaran generator akan meningkatkan tegangan yang dibangkitkan oleh generator, dan juga terjadinya kenaikan frekuensi secara linier terhadap kenaikan tegangan dan putaran generator, frekuensi generator ditetapkan sebesar 50 hz, didapatkan pada putaran 375 rpm.



Gambar 7. Perbandingan frekuensi dan tegangan terhadap kecepatan generator.

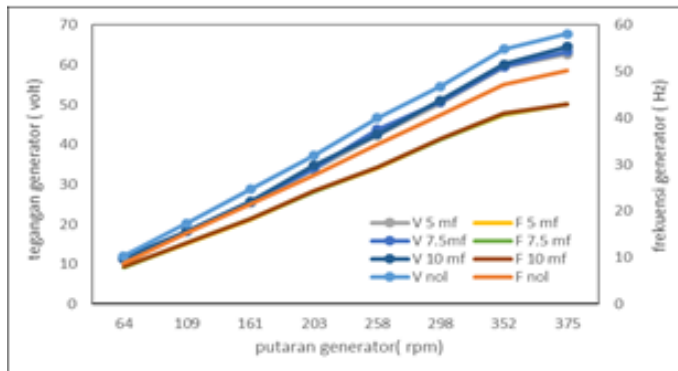
2) Pengukuran dengan beban kapasitif

Pengujian dilakukan dengan variasi kecepatan (rpm) mulai dari 64 rpm, 109 rpm, 161 rpm, 203 rpm, 258 rpm, 298 rpm, 352 rpm, dan 378 rpm. Nilai kapasitor yang digunakan yaitu 5 μ F, 7,5 μ F, dan 10 μ F. Rata-rata hasil pengukuran tegangan dengan variasi beban kapasitor dengan variasi kecepatan (rpm) ditunjukkan pada [Tabel 3](#).

TABEL 3
PENGUKURAN TEGANGAN DAN FREKUENSI

Kec (rpm)	Pengukuran tegangan (V)				Pengukuran frekuensi (Hz)			
	Tanpa beban	Kapa 5 μ F	Kapa 7,5 μ F	Kapa 10 μ F	Tanpa beban	Kapa 5 μ F	Kapa 7,5 μ F	Kapa 10 μ F
64	10,3	11,2	11,4	11,5	8,79	9,15	9,24	9,35
109	17,4	18,3	18,2	18,3	15,24	15,18	15,30	15,34
161	24,7	25,3	25,6	25,7	21,50	21,21	21,34	21,39
203	31,9	33,6	33,9	34,8	27,57	28,21	28,22	28,40
258	40,0	42,3	43,8	42,6	34,42	34,19	34,30	34,36
298	46,8	50,4	50,7	51,1	40,76	41,30	41,32	41,04
352	54,8	59,4	59,5	60,2	47,22	47,36	47,70	47,96
375	58,1	62,6	63,4	64,6	50,13	50,13	50,13	50,13

Dari tabel di atas ditunjukkan pengaruh kapasitor terhadap tegangan output generator, di mana dengan adanya penambahan kapasitor tegangan mengalami kenaikan, seperti tampak pada [Gambar 8](#). Setelah melakukan pengukuran tanpa beban pada rpm maksimum diperoleh tegangan 58,1 Volt. Pengujian pada kecepatan maksimum dengan pemasangan kapasitor 5 μ F diperoleh tegangan 62,6 Volt, dengan pemasangan kapasitor 7,5 μ F diperoleh tegangan 63,4 Volt, dan dengan pemasangan kapasitor 10 μ F diperoleh tegangan 64,6 Volt, dengan frekuensi 50.13 Hz



Gambar 8. Grafik perbandingan tegangan dan frekuensi terhadap putaran generator

B. Pengukuran Generator Berbeban

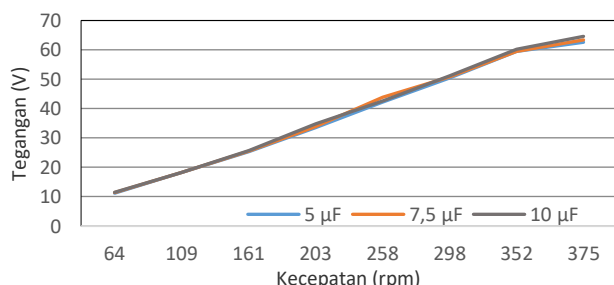
1) Pengukuran dengan beban kapasitif

Pengujian dilakukan dengan variasi kecepatan (rpm) mulai dari 64 rpm, 109 rpm, 161 rpm, 203 rpm, 258 rpm, 298 rpm, 352 rpm, dan 378 rpm. Nilai kapasitor yang digunakan yaitu 5 μF , 7,5 μF , dan 10 μF . Rata-rata hasil pengukuran tegangan dengan variasi beban kapasitor dengan variasi kecepatan (rpm) ditunjukkan pada [Tabel 4](#).

TABEL 4
RATA – RATA TEGANGAN PENGUKURAN

Kecepatan (rpm)	Rata-rata tegangan (V)			
	Tanpa beban	Kapasitor 5 μF	Kapasitor 7,5 μF	Kapasitor 10 μF
64	10,3	11,2	11,4	11,5
109	17,4	18,3	18,2	18,3
161	24,7	25,3	25,6	25,7
203	31,9	33,6	33,9	34,8
258	40,0	42,3	43,8	42,6
298	46,8	50,4	50,7	51,1
352	54,8	59,4	59,5	60,2
375	58,1	62,6	63,4	64,6

Dari hasil pengukuran diatas dibuat dalam bentuk grafik pada [Gambar 9](#).



Gambar 9. Grafik tegangan dengan beban kapasitor

Grafik pada [Gambar 9](#) menunjukkan pengaruh kapasitor terhadap tegangan output generator, di mana dengan adanya penambahan kapasitor tegangan mengalami kenaikan. Setelah melakukan pengukuran tanpa beban pada rpm maksimum

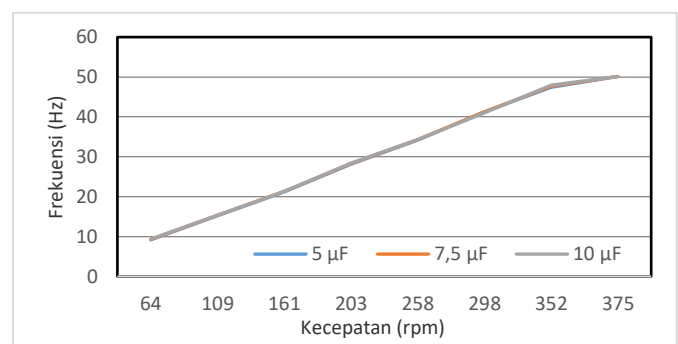
diperoleh tegangan 58,1 Volt. Pengujian pada kecepatan maksimum dengan pemasangan kapasitor 5 μF diperoleh tegangan 62,6 Volt, dengan pemasangan kapasitor 7,5 μF diperoleh tegangan 63,4 Volt, dan dengan pemasangan kapasitor 10 μF diperoleh tegangan 64,6 Volt.

Rata-rata hasil pengukuran frekuensi dengan variasi beban kapasitor dengan variasi kecepatan (rpm) ditunjukkan pada [Tabel 5](#).

TABEL 5
RATA – RATA FREKUENSI PENGUKURAN

Kec (rpm)	Rata-rata frekuensi (Hz)			
	Tanpa beban	Kapa 5 μF	Kapa 7,5 μF	Kapa 10 μF
64	8,79	9,15	9,24	9,35
109	15,24	15,18	15,30	15,34
161	21,50	21,21	21,34	21,39
203	27,57	28,21	28,22	28,40
258	34,42	34,19	34,30	34,36
298	40,76	41,30	41,32	41,04
352	47,22	47,36	47,70	47,96
375	50,13	50,13	50,13	50,13

Dari hasil pengukuran di atas dapat dibuat grafik pada [Gambar 10](#).



Gambar 10. Grafik frekuensi dengan variasi kapastor

[Gambar 10](#) menunjukkan frekuensi generator dengan variasi kapasitor. Pada kecepatan (rpm) maksimum generator tanpa beban menghasilkan frekuensi 50,13 Hz dan pada kecepatan yang sama dengan penambahan kapasitor 5 μF generator menghasilkan frekuensi 50,13 Hz, dengan penambahan kapasitor 7,5 μF generator menghasilkan frekuensi 50,13 Hz, dan dengan penambahan kapasitor 10 μF hasil pengukuran frekuensi generator manunjukkan 50,13 Hz.

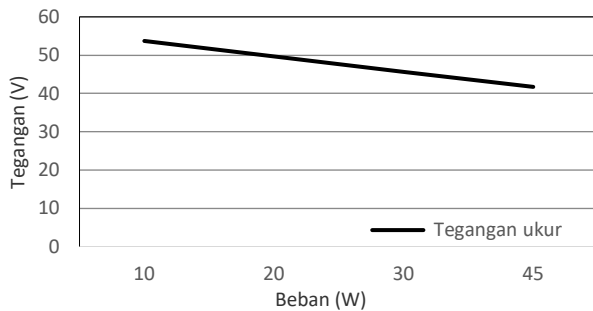
2) Pengukuran dengan beban resistif

Pengukuran menggunakan beban resistif dilakukan untuk mengetahui kinerja generator terhadap beban resistif dan untuk mengetahui tegangan, arus dan daya yang dihasilkan dari generator itu sendiri. Pengukuran beban resistif dilakukan dengan kecepatan putaran maksimum dengan variasi beban resistif. Hasil pengukuran dengan beban resistif dapat dilihat pada [Tabel 6](#).

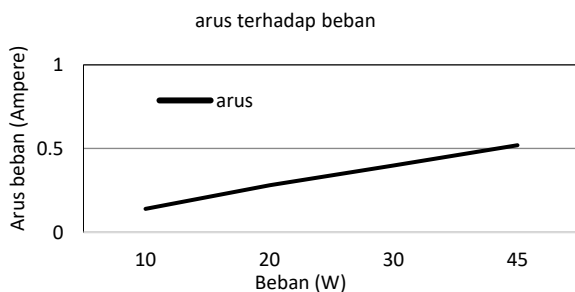
TABEL 6
HASIL PENGUKURAN BEBAN RESISTIF

No	Kec (rpm)	Beban (Watt)	Tegangan V	Arus (A)	Frek (Hz)	Cos ϕ
1	375	0	58,1	0	50,13	0
2	375	10	53,7	0,14	50,13	0,98
3	375	20	49,6	0,28	50,13	0,98
4	375	30	45,6	0,4	50,13	0,98
5	375	45	41,7	0,52	50,13	0,98

Hasil pengukuran di atas dibuat ke dalam bentuk grafik tegangan dan grafik arus pada [Gambar 11](#) dan [Gambar 12](#).



Gambar 11. Grafik tegangan terhadap beban resistif



Gambar 12. Grafik arus terhadap beban resistif

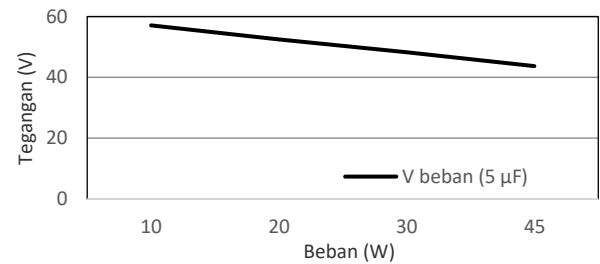
Dari kedua grafik tersebut ditunjukkan bahwa dengan pembebanan resistif nilai tegangan akan mengalami penurunan sedangkan nilai arus akan mengalami kenaikan.

Hasil pengukuran dengan beban resistif dan kapasitor 5 μF ditunjukkan pada [Tabel 7](#).

TABEL 7
HASIL PENGUKURAN BEBAN RESISTIF DENGAN PENAMBAHAN KAPASITOR 5 μF

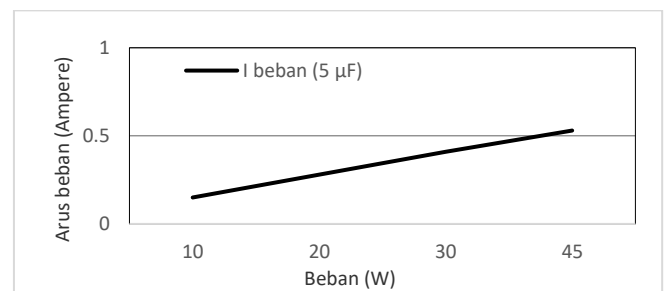
Kec (rpm)	Beban (Watt)	Tegangan (V)	Arus (A)	Frekuensi (Hz)	Cos ϕ
375	0	62,6	0	50,13	0
375	10	57,1	0,15	50,13	0,98
375	20	52,5	0,28	50,13	0,98
375	30	48,2	0,41	50,13	0,98
375	45	43,7	0,53	50,13	0,98

Dari hasil pengukuran di atas dibuat dalam bentuk grafik pada [Gambar 13](#) grafik tegangan terhadap beban resistif dan [Gambar 14](#) grafik arus terhadap beban resistif.



Gambar 13. Grafik tegangan terhadap beban resistif dengan penambahan kapasitor 5 μF

Dari grafik di atas terlihat bahwa dengan penambahan nilai beban yang semakin meningkat maka tegangan akan semakin mengalami penurunan.



Gambar 14. Grafik arus terhadap beban resistif dengan penambahan kapasitor 5 μF

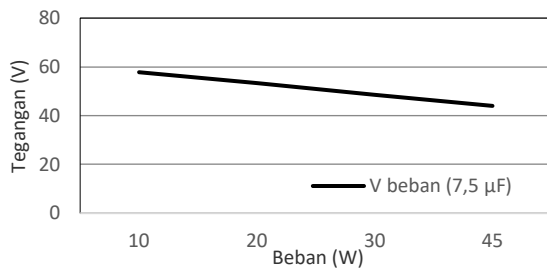
Dari grafik di atas terlihat bahwa dengan penambahan nilai beban yang semakin meningkat maka nilai arus beban akan semakin mengalami peningkatan.

Selanjutnya, hasil pengukuran beban resistif dengan penambahan kapasitor 7.5 μF ditunjukkan pada [Tabel 8](#).

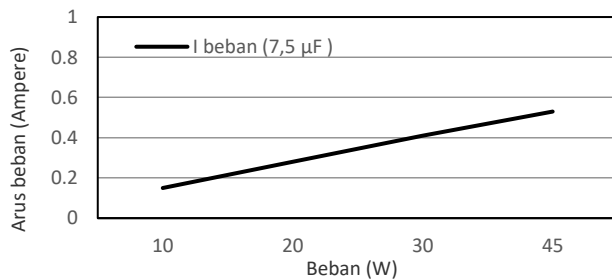
TABEL 8
HASIL PENGUKURAN BEBAN RESISTIF DENGAN PENAMBAHAN KAPASITOR 7,5 μF

Kec (rpm)	Beban (Watt)	Tegangan (V)	Arus (A)	Frekuensi (Hz)	Cos ϕ
375	0	63,4	0	50,13	0
375	10	57,8	0,15	50,13	0,98
375	20	53,3	0,28	50,13	0,98
375	30	48,5	0,41	50,13	0,98
375	45	44	0,53	50,13	0,98

Dari hasil pengukuran di atas kemudian dibuat dalam bentuk grafik pada [Gambar 15](#) dan [Gambar 16](#).



Gambar 15. Grafik tegangan terhadap beban resistif dengan penambahan kapasitor 7,5 μF



Gambar 16. Grafik arus terhadap beban resistif dengan penambahan kapasitor 7,5 μF

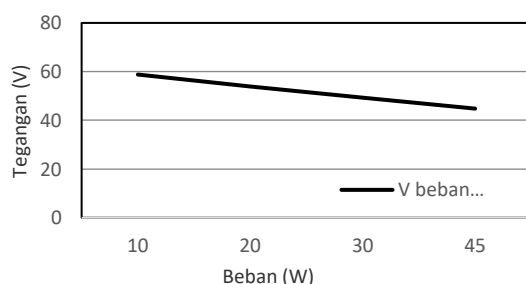
Dari kedua grafik di atas ditunjukkan bahwa pembebanan resistif dengan penambahan kapasitor 7,5 μF nilai tegangan akan mengalami penurunan sedangkan nilai arus akan mengalami kenaikan.

Hasil pengukuran dengan beban resistif dan kapasitor 10 μF ditunjukkan pada [Tabel 9](#).

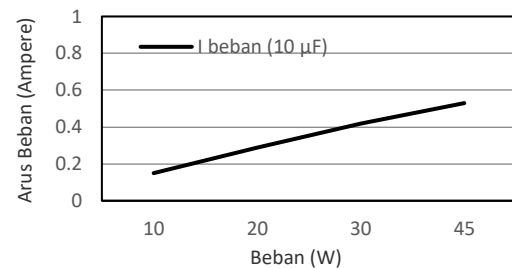
TABEL 9
HASIL PENGUKURAN BEBAN RESISTIF DENGAN PENAMBAHAN KAPASITOR 10 μF

Kecep (rpm)	Beban (Watt)	Tegangan (V)	Arus (A)	Frekuensi (Hz)	Cos ϕ
375	0	64,6	0	50,13	0
375	10	58,8	0,15	50,13	0,98
375	20	53,9	0,28	50,13	0,98
375	30	49,2	0,41	50,13	0,98
375	45	44,8	0,53	50,13	0,98

Dari hasil pengukuran diatas dibuat dalam bentuk grafik tegangan terhadap beban resistif dan grafik arus terhadap beban resistif pada [Gambar 17](#) dan [Gambar 18](#).



Gambar 17. Grafik tegangan terhadap beban resistif dengan penambahan kapasitor 10 μF



Gambar 18. Grafik arus terhadap beban resistif dengan penambahan kapasitor 10 μF

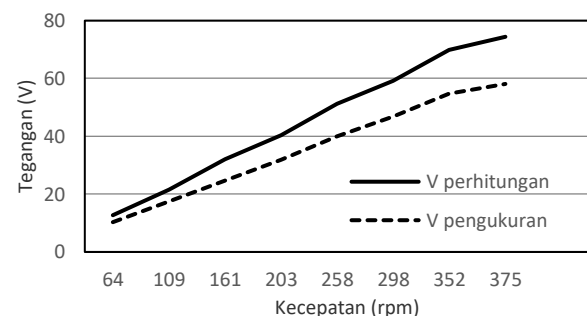
C. Perhitungan Tegangan Output Generator

Hasil perhitungan dan pengukuran tegangan output generator ditunjukkan pada [Tabel 10](#).

TABEL 10
TEGANGAN OUTPUT GENERATOR

Kecepatan (rpm)	Tegangan hitung (V)	Tegangan ukur (V)	Frekuensi ukur (Hz)
64	12,7	10,3	8,79
109	21,6	17,4	15,24
161	32,0	24,7	21,50
203	40,3	31,9	27,57
258	51,2	40,0	34,42
298	59,1	46,8	40,76
352	69,9	54,8	47,22
375	74,4	58,1	50,13

Dari hasil perhitungan dan pengukuran tegangan di atas dibuat grafik tegangan hasil perhitungan dan pengukuran pada [Gambar 19](#).



Gambar 19. Grafik tegangan hasil perhitungan dan pengukuran

Grafik pada [Gambar 19](#) menunjukkan adanya perbedaan antara tegangan hasil perhitungan dan hasil pengukuran. Dengan melakukan pengujian, diperoleh tegangan pengukuran pada rpm maksimum sebesar 58,1 Volt. Tegangan perhitungan terhadap generator satu phase magnet permanen fluks radial kecepatan rendah pada rpm maksimum sebesar 74,4 Volt. Perbedaan tegangan hasil perhitungan dan pengukuran yang dilakukan adalah sebesar 16,3 Volt.

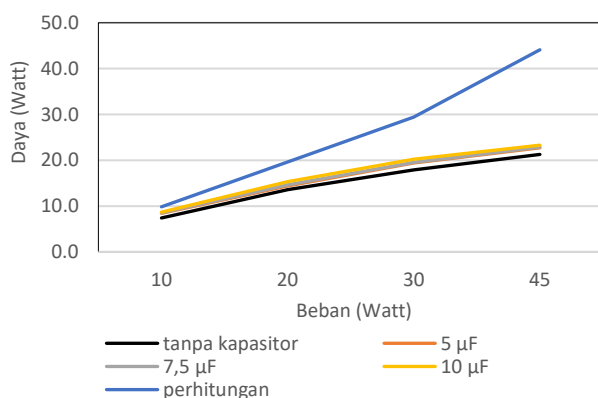
D. Perhitungan Daya

Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan kemudian dilakukan perbandingan daya pada perencanaan dan daya pada pengukuran. [Tabel 11](#) berikut ini menunjukkan perbandingan antara daya perancangan dan daya pengukuran.

TABEL 11
PERBANDINGAN DAYA PERANCANGAN DAN DAYA HASIL PENGUKURAN

Beban (Watt)	Daya perancangan (Watt)	Tanpa kapa sitor	Daya (Watt)		
			Kapa sitor 5 μF	Kapa sitor 7,5 μF	Kapa sitor 10 μF
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	9,8	7,4	8,4	8,5	8,6
20	19,6	13,6	14,4	14,6	15,3
30	29,4	17,9	19,4	19,5	20,3
45	44,1	21,3	22,7	22,9	23,3

Dari tabel di atas dibuat grafik perbandingan daya pada perencanaan/perhitungan dan pada hasil pengukuran seperti pada [Gambar 20](#).



Gambar 20. Grafik perbandingan daya perencanaan dan pengukuran

Grafik di atas menunjukkan bahwa dengan pembebanan 45 Watt daya perencanaan diperoleh nilai 44,1 Watt dan pada hasil pengukuran diperoleh hasil tertinggi sebesar 23,3 Watt.

IV. KESIMPULAN

Pembuatan generator satu phase magnet permanen fluks radial kecepatan rendah dengan memanfaatkan mesin listik type JY2B – 2 dengan jumlah magnet yang digunakan sebanyak 16 buah dan jumlah kumparan sebanyak 8 menghasilkan tegangan sebesar 64,6 Volt dengan frekuensi 50,13 Hz. Pada putaran generator 375 rpm, Pemasangan beban resistif berpengaruh terhadap kinerja generator satu phase magnet permanen. Semakin besar beban yang diberikan, tegangan pengukuran semakin menurun sedangkan arus semakin meningkat

REFERENSI

- [1] A. H. Saifee dan A. Mittal, "Design of novel axial flux permanent magnet generator (AFPMG) for wind energy application," *International Journal of Electrical and Electronics Engineering Research (IJEEER)*, vol. 4, no. 3, pp. 35-42, Jun 2014.
- [2] A. H. Saifee dan A. Mittal, "Optimisation of inner diameter to outer diameter ratio of axial flux permanent magnet generator," *Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 9, no. 6, pp. 43-47, Dec. 2014.
- [3] A. Goeritno, "Struktur belitan stator dan rotor bermagnet permanen fluks radial untuk alternator fase tunggal," *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2016*, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta, 8 November 2016.
- [4] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. *Outlook Energi Indonesia 2015, Pengembangan Energi untuk Mendukung Pembangunan Berkelanjutan*. Jakarta 2015.
- [5] DBS Bank. *Potensi Pengembangan Energi Baru-Terbarukan Indonesia - DBS Asian Insights*. Diakses dari www.dbsbank.com 2015.
- [6] G. F. Price, dkk. "Design and testing of a permanent magnet axial flux wind power generator," *Prosiding The 2008 IAJC-IJME International Conference*.
- [7] H. Herudin dan Wahyu Dwi Prasetyo, "Rancang bangun generator sinkron 1 fasa magnet permanen kecepatan rendah 750 rpm," *Jurnal Ilmiah Setrum*, vol. 5, no.1, Juni 2016.
- [8] H. Hatami dan M. Bagher, "A new design method for low-speed torus type AFPM machine for HEV application," *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 2, no. 12, Dec 2013.
- [9] K.C. Latoufis, G.M. Messinis, P.C. Kotsampopoulos dan N.D. Hatziargyriou, "Axial flux permanent magnet generator design for low cost manufacturing of small wind turbines," *Wind Engineering*, vol. 36, no. 4, pp. 411-442, 2012.
- [10] M. R. Minaz dan M. Çeleb, "Design and analysis of a new axial flux coreless PMSG with three rotors and double stators," *Results in Physics*, vol. 7, pp. 183-188, 2017.
- [11] *Renewable 2016 Global Status Report*, Renewable Energy Policy Network For 21st Century. 2016.
- [12] V. Jekovic, K. Miklosevic, dan S. Zeljko, *Excitation System Models of Synchronous Generator*. Croatia: Faculty of Electrical Engineering Osijek, 2010.
- [13] *2014 Renewable Energy Data Book*, U.S Department of Energy's National Renewable Energy Laboratory, 2015.