

Rancang Bangun Generator Axial Flux Tiga Fasa dengan Magnet Permanen Neodymium (NdFeB) Rotor dan Stator Ganda untuk Pengisian Baterai 12 Volt

A Design of Three Phase Axial Flux Generator with Permanent Magnet Neodymium (NdFeB) Double Rotor and Stator for 12 Volt Battery Charging

Ayu Lista Utami^{1*}, Widyono Hadi², Ali Rizal Chaidir³

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

Jl. Kalimantan No. 37, Kec. Sumbersari Kabupaten Jember, Jawa Timur 68121

ayulista26@gmail.com¹, widyono@unej.ac.id², ali.rizal@unej.ac.id³

Abstrak – Kenaikan kebutuhan energi listrik seiring dengan kenaikan jumlah penduduk di Indonesia. Untuk mengurangi lonjakan biaya listrik diperlukan pengembangan generator agar menghasilkan listrik yang optimal dan lebih ekonomis. Penelitian ini bertujuan melakukan perancangan generator menggunakan magnet permanen neodymium (NdFeB) untuk proses pengisian baterai 12 volt dengan tipe generator axial flux rotor ganda dan stator ganda. Target tegangan pada penelitian ini lebih dari 12 volt. Hasil perancangan yang dilakukan menggunakan kawat email 0.5 mm menghasilkan jumlah kumparan 12 kumparan dengan 1000 lilitan setiap kumparan dan magnet 16 kutup dengan ukuran magnet 30x2 mm. Pengujian tanpa beban saat 2000 rpm menghasilkan tegangan sebesar 15,67 Volt AC atau 21,21 Volt DC dan saat 2765 rpm menghasilkan tegangan sebesar 22,03 Volt AC atau 29,32 Volt DC. Pengujian ketika berbeban pada kecepatan 2000 rpm menghasilkan 14,3 Volt AC atau 17,8 Volt DC dengan arus 0,01155A dan pada kecepatan 2765 rpm menghasilkan 19,12 Volt AC atau 24,29 Volt DC dengan arus 0,01593A. Proses pengisian baterai pada kecepatan 2000 rpm membutuhkan waktu 525 menit dan pada 2765 rpm membutuhkan waktu 270 menit. Hasil penelitian tersebut membuktikan bahwa semakin besar kecepatan putar generator maka tegangan dan arus yang dihasilkan akan semakin besar serta berbanding lurus dengan waktu pengisian baterai yang semakin cepat dan frekuensi kerapatan gelombang yang semakin besar. Bentuk gelombang sinusoidal yang dihasilkan saat tanpa beban terpotong ketika terjadi pengujian dengan beban.

Kata Kunci: generator, magnet permanen neodymium, rotor-ganda stator-ganda, charging baterai 12 volt.

Abstract – The increase in demand for electrical energy is in line with the increase in population in Indonesia. To reduce the surge in electricity costs, generator development is needed to produce optimal and more economical electricity. This research aims to design a generator using neodymium permanent magnets (NdFeB) for the 12 volt battery charging process with axial flux generator type double rotor and double stator. The target voltage in this study is more than 12 volts. The results of the design carried out using 0.5 mm enameled wire resulted in a coil count of 12 coils with 1000 turns of each coil and 16 cap magnets with a magnet size of 30x2 mm. Testing without load when rotating speed at 2000 rpm produces

a voltage of 15.67 Volts AC or 21.21 Volts DC and when 2765 rpm produces a voltage of 22.03 Volts AC or 29.32 Volts DC. Testing when loaded at 2000 rpm produces 14.3 Volts AC or 17.8 Volts DC with a current of 0.01155A and at 2765 rpm produces 19.12 Volts AC or 24.29 Volts DC with a current of 0.01593A. The battery charging process at 2000 rpm takes 525 minutes and at 2765 rpm takes 270 minutes. The results prove that the greater the rotational speed of the generator, the greater the voltage and current produced and directly proportional to the faster battery charging time and the greater wave density frequency. The sinusoidal waveform produced when no load is truncated when testing occurs with a load.

Keywords: generator, neodymium permanent magnet, dual-rotor dual-stator, charging battery 12 volts

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara dengan jumlah penduduk terbanyak di Kawasan ASEAN. Berdasarkan data hasil sensus penduduk pada bulan September 2020 jumlah penduduk di Indonesia sebesar 270,20 juta dan mengalami kenaikan sebesar 32,56 juta jiwa dibandingkan hasil tahun 2010 [1]. Kenaikan angka pertumbuhan penduduk dapat mengakibatkan kebutuhan akan energi semakin meningkat, terutama energi listrik yang menjadi kebutuhan primer dalam kehidupan sehari-hari. Sejauh ini sumber utama PLN lebih banyak menggunakan batu bara sebagai bahan bakar pada pembangkitan tenaga listrik yang semakin menipis. Hal ini dapat mengakibatkan semakin melonjaknya biaya listrik di Indonesia. Oleh karena itu diperlukan suatu energi alternatif yang dapat digunakan untuk meminimalisir penggunaan energi bahan bakar fosil sehingga lebih ekonomis dan dapat dimanfaatkan secara terus menerus. Beberapa alternatif yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan inovasi pada pembangkit tenaga listrik yang energi potensialnya tersedia di alam dalam jumlah yang tak terbatas mengingat Indonesia sendiri merupakan negara yang kaya akan sumber daya alam.

Pada pembangkit tenaga listrik, bagian utama yang berperan penting adalah generator dan turbin. Turbin merupakan bagian pembangkit yang menghasilkan energi mekanik untuk menggerakkan generator. Bagian utama pembangkit tenaga listrik yang dapat mengubah energi potensial menjadi energi listrik adalah generator. Generator merupakan suatu alat yang dapat menghasilkan energi listrik dari energi mekanik. Sehingga diperlukan pengembangan terhadap generator agar dapat menghasilkan listrik yang optimal guna memenuhi kebutuhan sehari-hari. Generator bekerja dengan prinsip induksi elektromagnetik dimana ketika sumbu rotor digerakkan maka kutub pada rotor akan berputar dan menghasilkan fluks medan magnet yang akan diinduksi oleh kumparan pada stator sehingga timbul tegangan induksi [2].

Konstruksi utama generator terdiri dari rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang berputar dan terdiri dari kutub magnet. Sedangkan stator merupakan bagian generator yang diam dan tempat melekatnya kumparan kawat tembaga sebagai tempat terjadinya induksi elektromagnetik [3]. Penerapan generator magnet permanen skala kecil dapat memanfaatkan magnet permanen Neodymium (NdFeB) yang tersedia di pasaran. Keuntungan menggunakan magnet permanen antara lain berat magnet yang ringan, keandalan generator lebih baik, efisiensi lebih tinggi, dimensi kecil, konstruksi sederhana, perawatan generator yang mudah dan meminimalisir rugi gesek karena tidak menggunakan eksitasi arus langsung [4].

Pada tahun 2018, Abdul Aziz, M. Irfan dan M. Fattahur Razzaq [4] melakukan perancangan generator *axial flux* menggunakan stator tunggal rotor ganda (6 slot 16 pole) menghasilkan keluaran tegangan 12,8 Volt dengan arus 45 A pada kecepatan 350 rpm. Pada tahun 2020, Aldhea Azzahra [6] juga melakukan perancangan generator *axial flux* dengan stator ganda rotor tunggal (12 slot 6 pole) menghasilkan keluaran daya 2,74 Watt pada kecepatan 2765 rpm dan 0,33 Watt pada kecepatan 2000 rpm pada saat proses *charging battery* 12 Volt.

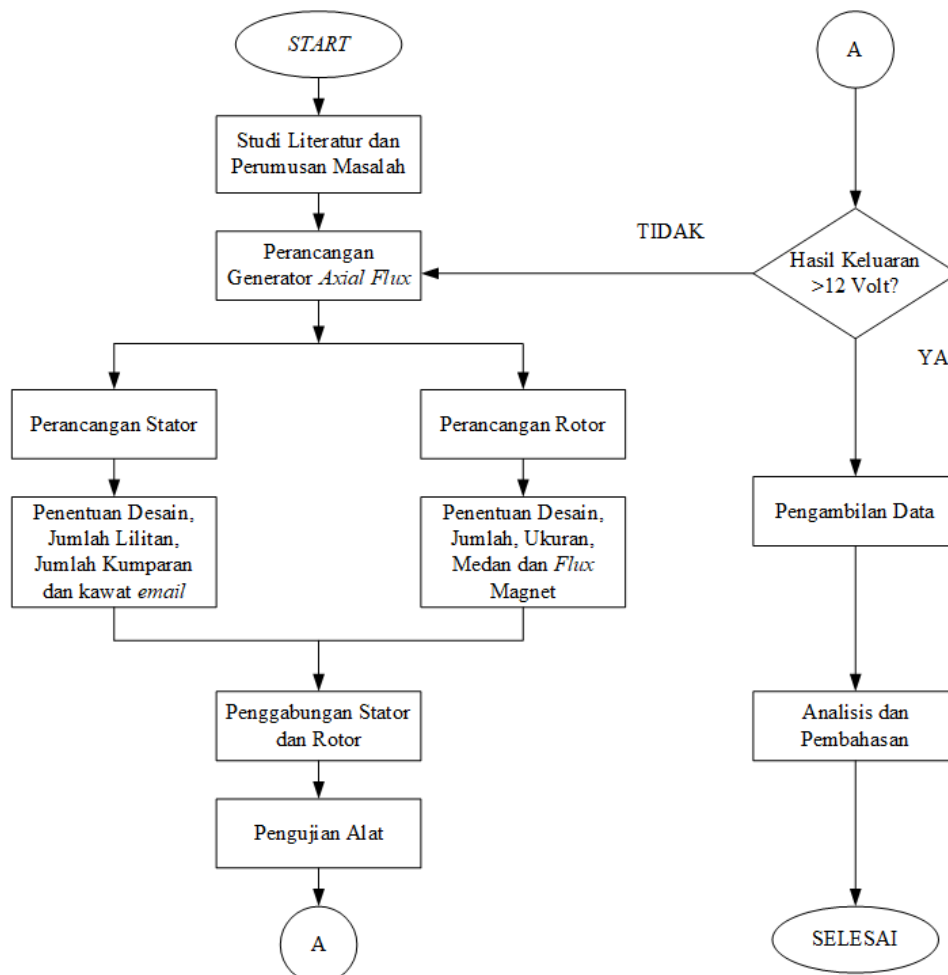
Pada penelitian ini, dilakukan perancangan generator *axial flux* rotor ganda dan stator ganda (12 slot 16 pole) untuk proses pengisian baterai 12 volt. Berbeda dari penelitian sebelumnya yang menggunakan stator tunggal [4] dan rotor tunggal [6], penelitian ini menggunakan stator ganda dan rotor ganda. Selain itu juga diberikan variasi pada jumlah lilitan yang digunakan yaitu 1000

lilitan dengan ukuran kawat 0,5 mm. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan rotor terhadap hasil keluaran generator, khususnya waktu pengisian baterai 12 volt.

2. Metode Penelitian

2.1. Tahapan Penelitian

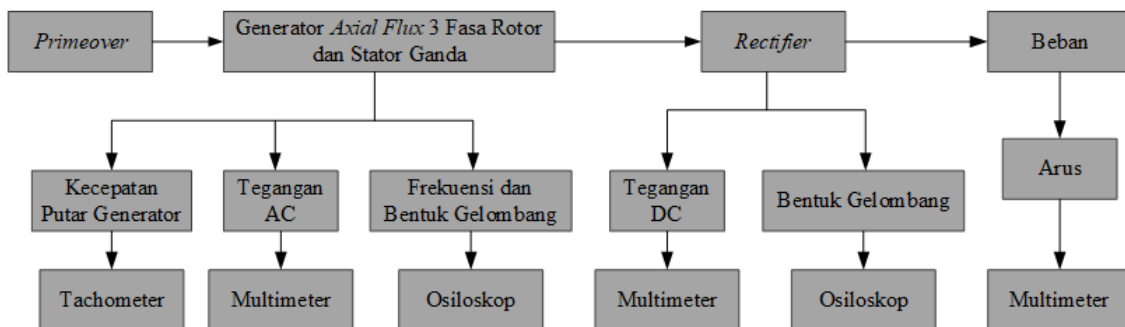
Tahap pertama pada penelitian ini adalah penentuan referensi yang digunakan dan perumusan masalah yang ada. Pada tahap selanjutnya adalah melakukan perancangan generator *axial flux* tiga fasa yang terdiri dari perancangan stator dan perancangan rotor. Dalam tahap ini ditentukan jumlah fasa, jumlah kutub, jumlah lilitan serta jumlah kumparan yang digunakan. Tahap selanjutnya adalah melakukan penggabungan stator dan rotor yang telah dibuat menggunakan as besi berdiameter 10 mm sebagai penghubung keduanya. Pada tahap selanjutnya dilakukan pengujian terhadap generator *axial flux* yang telah dibuat dan dilakukan analisa terhadap hasil keluaran. Target tegangan keluaran yang dihasilkan pada generator adalah lebih dari 12 volt. Jika keluaran tegangan tidak melebihi 12 volt maka akan dilakukan perancangan generator Kembali. Namun jika keluaran generator lebih dari 12 volt maka akan dilanjutkan dengan pengambilan data. Tahap terakhir pada penelitian ini yaitu analisa data dan pembahasan terhadap hasil pengujian yang telah dilakukan. Keseluruhan tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

2.2. Blok Diagram Penelitian

Blok diagram pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2. Blok Diagram Penelitian. Pada sistem generator yang telah dibuat, diperlukan adanya *primeover* (penggerak) untuk menggerakkan atau memutar poros rotor generator. *Primeover* yang digunakan berupa motor DC 12 volt dan dikopel menggunakan *pulley* dan *van belt* pada bagian poros rotor motor DC dan generator. Dengan demikian maka generator akan berputar dan menghasilkan tegangan induksi berupa tegangan AC 3 fasa. Agar tegangan dapat digunakan untuk proses pengisian baterai maka perlu diubah menjadi tegangan DC menggunakan *rectifier* 3 fasa gelombang penuh. Setelah tegangan disearahkan maka dilakukan pemasangan beban menggunakan baterai 12 volt. Pada saat kondisi generator berbeban baterai 12 volt dilakukan beberapa pengukuran seperti pengukuran gelombang dan frekuensi menggunakan osiloskop, pengukuran arus dan tegangan menggunakan multimeter serta pengukuran kecepatan putar rotor menggunakan *tachometer*.



Gambar 2. Blok diagram penelitian.

2.3. Perancangan Generator

Perancangan generator terdiri dari perancangan stator dan perancangan rotor. Pada tahap ini dilakukan perhitungan jumlah lilitan tiap kumparan dan jumlah kumparan tiap stator. Selain itu juga dilakukan perhitungan terhadap jumlah kutub yang digunakan. Pada penelitian ini menggunakan generator *axial* dengan keluaran 3 fasa sehingga diperlukan pembuatan *rectifier* untuk mengubahnya menjadi tegangan DC. Piringan stator dan rotor terbuat dari akrilik dengan tebal 3 mm.

Target tegangan pada penelitian ini adalah lebih dari 12 volt dikarenakan akan digunakan untuk proses pengisian baterai 12 volt. Baterai yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi baterai.

Keterangan	Spesifikasi
Tegangan saat kondisi kosong	3,7 volt
Tegangan saat kondisi penuh	4,2 volt
Aliran arus per jam	1200 mAh

Perhitungan beberapa parameter yang digunakan dalam pembuatan generator dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut :

- a. Menentukan arus maksimal pada kawat yang mengalir

$$I = \frac{P}{V} \quad (1)$$

- b. Menentukan jumlah lilitan [7]

$$N = \frac{E \times Nph}{4,44 \times f \times \emptyset_{max}} \quad (2)$$

- c. Menentukan target kecepatan putar generator yang digunakan [5]

$$nr = \frac{120f}{p} \quad (3)$$

- d. Menentukan target tegangan per kumparan [7]

$$V - kump = \frac{4,44 \times N \times f \times \phi_{max}}{Nph} \quad (4)$$

e. Menentukan jumlah kutup [5]

$$p = \frac{120f}{nr} \quad (5)$$

f. Menentukan jumlah kumparan [6]

$$Ns = \frac{p \times Nph}{2} \quad (6)$$

g. Menentukan medan magnet maksimum [6]

$$B_{max} = Br \frac{lm}{lm + \delta} \quad (7)$$

h. Menentukan luas permukaan magnet

$$A_{mag} = \pi r^2 \quad (8)$$

i. Menentukan fluks maksimal [6]

$$\phi_{max} = A_{magnet} \times B_{max} \quad (9)$$

dimana :

V = tegangan baterai 12 volt saat penuh (V)

P = daya baterai 12 volt saat penuh (W)

I = target arus (A)

E = target tegangan minimal (V)

$V-kump$ = target tegangan tiap kumparan (V)

nr = kecepatan putar rotor (rpm)

f = frekuensi (Hz)

p = jumlah kutub rotor

Nph = jumlah fasa

Ns = jumlah kumparan

B_{max} = medan magnet maksimum (T)

Br = medan magnet terukur (T)

lm = tinggi magnet (m)

δ = celah udara (m)

r = jari-jari magnet (m²)

ϕ_{max} = fluks magnet maksimum (Wb)

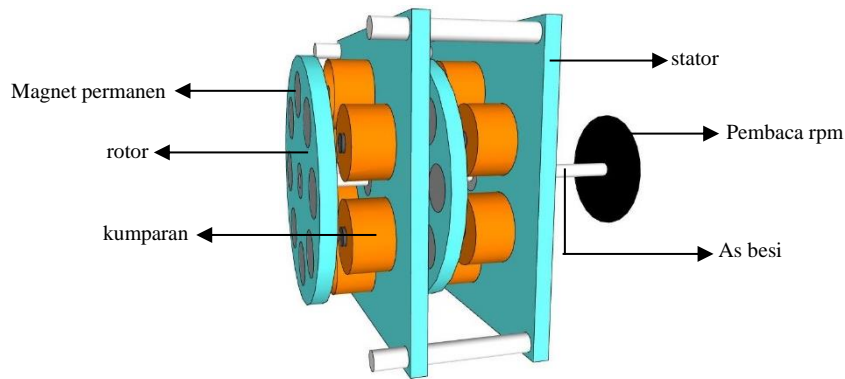
A_{magnet} = luas magnet (m²)

B_{max} = densitas fluks magnet (T)

Berikut merupakan spesifikasi hasil perancangan generator yang digunakan :

Tabel 2. Spesifikasi generator *axial flux* tiga fasa dengan magnet permanen rotor dan stator ganda.

Parameter	Simbol	Nilai
Jumlah fasa	Nph	3 fasa
Kuat medan magnet	Br	0,0428 T
Jumlah magnet	Nm	16 magnet
Jumlah lilitan	N	1000 lilitan
Jumlah kumparan	Ns	12 kumparan
Celah udara	δ	0,007 m
Ukuran magnet	D	0,03 m
	t	0,002 m
Diameter kawat email	dk	0,5 mm
Ukuran rotor	d	29,5 cm
	t	3 mm
Ukuran stator	p	24 cm
	l	20 cm



Gambar 3. Desain generator *axial flux* tiga fasa stator-rotor ganda.

2.4. Metode Pengambilan Data

Pada penelitian ini dilakukan 2 variasi pengujian yaitu ketika generator berputar pada kecepatan 2000 rpm dan 2765 rpm. Pengambilan data dilakukan 3 kali yaitu pada saat generator tidak berbeban, saat generator terbebani dan pada saat proses pengisian baterai 12 volt.

a. Pengujian tanpa beban

Pengujian ini dilakukan ketika generator belum dipasang beban. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui keluaran generator murni yaitu tegangan, frekuensi dan bentuk gelombang.

b. Pengujian berbeban

Pengujian ini dilakukan dengan pemasangan beban berupa baterai 12 volt untuk mengetahui kinerja generator pada saat diberi beban. Pada pengujian ini didapatkan data berupa nilai tegangan, frekuensi, arus dan bentuk gelombang ketika terbebani.

c. Pengujian saat pengisian baterai 12 volt

Pengujian dilakukan pada saat kondisi SoC baterai sampai baterai terisi penuh sebesar 12,6 volt.

Dalam menentukan nilai keluaran generator diperlukan perhitungan menggunakan persamaan:

a. Perhitungan tegangan maksimal generator [7]

$$E_{max} = 4,44 \times N \times f \times \Phi \max \times \frac{N_s}{N_p h} \quad (10)$$

b. Perhitungan Daya [8]

$$P = \sqrt{3} V I \quad (11)$$

dimana :

E_{max} = tegangan induksi (V)

N = jumlah lilitan

P = daya (W)

V = tegangan (V)

I = arus (A)

Pada penelitian ini juga menggunakan penyearah 3 fasa gelombang penuh untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Perhitungan perancangan penyearah dilakukan dengan menggunakan persamaan [6]:

1. Perhitungan VDC

$$V_{dc} = \frac{2}{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{6}} \sqrt{3} x V_m \cos \omega t d(\omega t) \quad (12)$$

$$= \frac{3\sqrt{3}}{\pi} x V_m = 1,654 x V_m$$

$$V_m = V_{L-L peak} : \sqrt{3} \quad (13)$$

$$V_{L-L\ peak} = V_{L-L\ RMS} \times \sqrt{2} \quad (14)$$

dimana :

V_{dc} = tegangan DC rata-rata (V)

V_m = tegangan maksimum (*line to neutral*) (V)

$V_{L-L\ peak}$ = tegangan puncak *line to line* (V)

$V_{L-L\ rms}$ = tegangan rms *line to line* (V)

2. Menentukan kapasitas kapasitor

$$C = \frac{1}{V_r \times 2\sqrt{3} \times f \times R} \quad (15)$$

dimana :

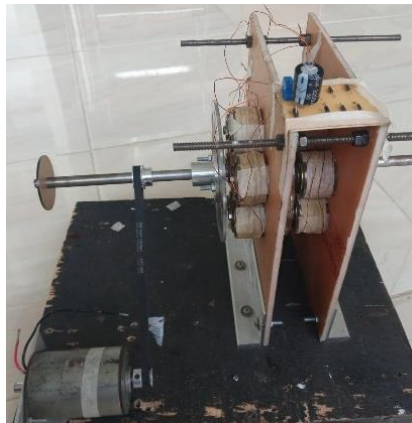
V_r = *ripple factor* (%)

f = frekuensi (Hz)

r = resistansi (Ω)

3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 4. Generator *Axial Flux* Tiga Fasa dengan Magnet Permanen Neodymium (NdFeB) Rotor dan Stator Ganda merupakan hasil dari perancangan generator yang telah dibuat menggunakan parameter pada poin metode penelitian. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan Teslameter didapatkan densitas *flux* magnet neodymium (NdFeB) 30x3 mm adalah sebesar 0,0428 T yang ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil Pengukuran Kuat Medan Magnet Neodymium 30x2 mm. Selain itu juga dilakukan pengukuran resistansi dan induktansi pada tiap kumparan menggunakan LCR meter. Berdasarkan hasil perancangan arus maksimum yang dapat mengalir sebesar 0,4 A, sehingga kawat email yang digunakan berdiameter 0,5 mm dengan daya hantar 0,5 A dengan jumlah 1000 lilitan pada tiap kumparan serta didapatkan nilai resistansi (R) sebesar 7,12 Ω dan induktansi (L) sebesar 9,968 mH.



Gambar 4. Generator *axial flux* tiga fasa dengan magnet permanen neodymium (NdFeB) rotor dan stator ganda.

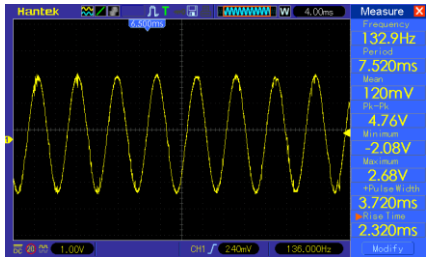
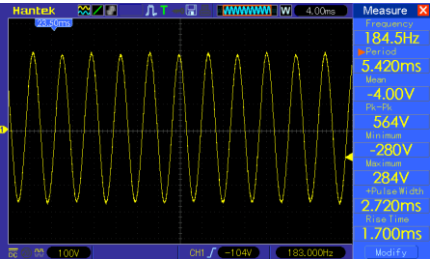


Gambar 5. Hasil pengukuran kuat medan magnet neodymium 30x2 mm.

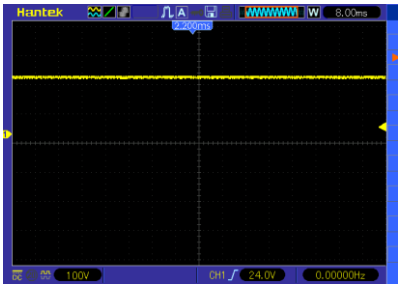
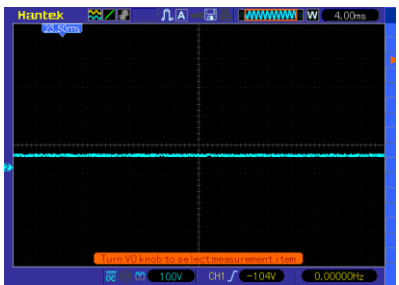
3.1. Pengujian Generator *Axial Flux* Tiga Fasa Tanpa Beban

Pengujian generator tanpa menggunakan beban dilakukan pada saat kecepatan 2000 rpm dan 2765 rpm sebelum dan sesudah *rectifier*. Data yang didapat ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Data hasil pengujian tanpa beban sebelum *rectifier*.

No	Kecepatan Putar Generator (RPM)	Tegangan Line to Line (V)	Frekuensi (Hz)	Gambar Gelombang
1	2000	15,67	132,9	
2	2765	22,03	184,5	

Tabel 4. Data hasil pengujian tanpa beban setelah *rectifier*.

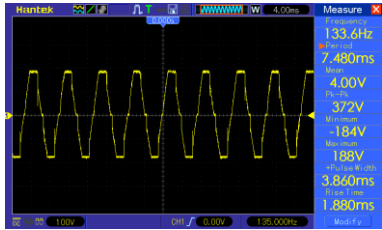
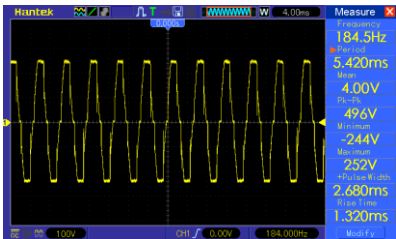
No	Kecepatan Putar Generator (RPM)	Tegangan DC (V)	Gambar Gelombang
1	2000	21,21	
2	2765	29,32	

Berdasarkan Tabel 3. dapat dianalisa bahwa karakteristik kecepatan putar generator berbanding lurus dengan tegangan AC dan frekuensi yang dihasilkan. Saat 2000 rpm menghasilkan tegangan AC 15,67 Volt AC dengan frekuensi 132,9 Hz sedangkan saat 2765 rpm 22.03 Volt AC dengan frekuensi 184,5 Hz. Berdasarkan data Tabel 4. semakin besar kecepatan putar generator maka tegangan DC hasil keluaran *rectifier* juga akan semakin besar. Saat 2000 rpm menghasilkan tegangan 21,21 Volt DC sedangkan saat 2765 rpm 29,32 Volt DC. Hal ini sesuai dengan persamaan (12), (13) dan (14) dimana karakteristik tegangan AC berbanding lurus dengan tegangan DC hasil penyearah. Berdasarkan gambar gelombang yang dihasilkan pada Tabel 3. seiring dengan semakin besar kecepatan putar rotor maka bentuk gelombang yang dihasilkan semakin rapat dikarenakan frekuensi yang semakin besar. Pada Tabel 4, gambar gelombang yang dihasilkan berupa garis lurus dikarenakan tegangan keluaran hasil penyearah merupakan tegangan DC (searah).

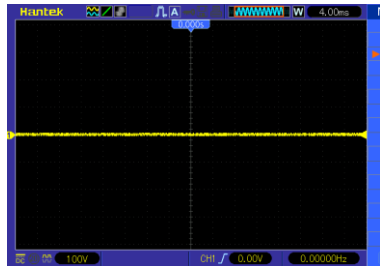
3.2. Pengujian Generator Axial Flux Tiga Fasa Berbeban

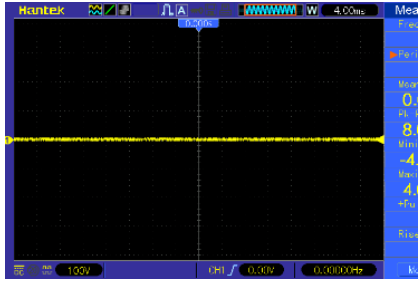
Pengujian generator dengan menggunakan beban dilakukan dengan pemasangan beban setelah rangkaian penyearah. Pengukuran dilakukan sebelum dan sesudah *retifier* dengan hasil sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Data hasil pengujian berbeban sebelum *rectifier*.

No	Kecepatan Putar Generator (RPM)	Tegangan Line to Line (V)	Frekuensi (Hz)	Gambar Gelombang
1	2000	14,3	133,6	
2	2765	19,12	184,5	

Tabel 6. Data hasil pengujian berbeban setelah *rectifier*.

No	Kecepatan Putar Generator (RPM)	Tegangan DC (V)	Arus (A)	Gambar Gelombang
1	2000	17,8	0,01155	

No	Kecepatan Putar Generator (RPM)	Tegangan DC (V)	Arus (A)	Gambar Gelombang
2	2765	24,29	0,01593	

Berdasarkan Tabel 5. dapat dianalisa bahwa karakteristik kecepatan putar generator berbanding lurus dengan tegangan AC dan frekuensi yang dihasilkan. Saat 2000 rpm menghasilkan tegangan AC 14,3 Volt AC dengan frekuensi 133,6 Hz sedangkan saat 2765 rpm 19,12 Volt AC dengan frekuensi 184,5 Hz. Berdasarkan data Tabel 6. Semakin besar kecepatan putar generator maka tegangan DC dan arus hasil keluaran *rectifier* juga akan semakin besar. Saat 2000 rpm menghasilkan tegangan 17,8 Volt DC dengan arus 0,01155 A sedangkan saat 2765 rpm 24,29 Volt DC dengan arus 0,01593 A. Hal ini sesuai dengan persamaan (12), (13) dan (14) dimana karakteristik tegangan AC berbanding lurus dengan tegangan DC hasil penyearah. Berdasarkan gambar gelombang yang dihasilkan pada Tabel 5. seiring dengan semakin besar kecepatan putar rotor maka bentuk gelombang yang dihasilkan semakin rapat dikarenakan frekuensi yang semakin besar. Pada Tabel 6. gambar gelombang yang dihasilkan berupa garis lurus dikarenakan tegangan keluaran hasil penyearah merupakan tegangan DC (searah).

Berdasarkan perbedaan bentuk gelombang yang dihasilkan pada Tabel 3. saat pengujian tanpa beban dengan Tabel 5. saat pengujian berbeban mengalami perbedaan pada bentuk puncak dan lembah gelombang. Bentuk gelombang pada saat tanpa beban adalah sinusoidal sempurna namun ketika diberi beban mengalami pemotongan pada bagian puncak dan lembah. Hal ini dikarenakan adanya proses pembebanan non-linear berupa baterai 12 volt.

3.3. Pengujian Generator Axial Flux Tiga Fasa untuk Proses Pengisian Baterai 12 Volt

Tabel 7. Data pengujian untuk proses pengisian baterai 12 volt menggunakan kecepatan putar generator 2000 rpm.

No	Menit Ke-	Kecepatan Putar Generator (RPM)	Arus Pengisian (A)	Tegangan (V)	Daya (W)
1	0	2003	0,13218	11,1	2,541261
2	15	2007	0,1309	11,14	2,525722
3	30	2007	0,13072	11,18	2,531305
4	45	2003	0,13052	11,23	2,538735
5	60	2008	0,12866	11,29	2,515927
6	75	2002	0,12724	11,35	2,501383
7	90	2000	0,12613	11,42	2,494854
8	105	2004	0,12555	11,51	2,502953
9	120	2004	0,12395	11,6	2,490377
10	135	2006	0,12313	11,67	2,488831

No	Menit Ke-	Kecepatan Putar Generator (RPM)	Arus Pengisian (A)	Tegangan (V)	Daya (W)
11	150	2005	0,12061	11,73	2,450428
12	165	2009	0,11969	11,79	2,444175
13	180	2003	0,11872	11,84	2,434648
14	195	2009	0,11826	11,88	2,433408
15	210	2003	0,11594	11,92	2,393703
16	225	2001	0,11483	11,96	2,378741
17	240	2008	0,11413	11,99	2,370171
18	255	2005	0,11312	12,01	2,353114
19	270	2000	0,11242	12,04	2,344395
20	285	2005	0,109	12,07	2,278738
21	300	2007	0,10883	12,09	2,278954
22	315	2006	0,10846	12,14	2,280599
23	330	2007	0,10793	12,18	2,276932
24	345	2010	0,10728	12,22	2,270652
25	360	2010	0,10649	12,25	2,259465
26	375	2010	0,10553	12,28	2,244579
27	390	2002	0,10443	12,31	2,226609
28	405	2002	0,10319	12,33	2,203745
29	420	2006	0,1018	12,37	2,181113
30	435	2003	0,099857	12,39	2,142942
31	450	2004	0,098137	12,42	2,11113
32	465	2001	0,091717	12,45	1,977788
33	480	2000	0,091148	12,5	1,973412
34	495	2008	0,090079	12,53	1,954948
35	510	2004	0,089221	12,55	1,939418
36	525	2006	0,088167	12,59	1,922615

Tabel 8. Data pengujian untuk proses pengisian baterai 12 volt menggunakan kecepatan putar generator 2765 rpm.

No	Menit Ke-	Kecepatan Putar Generator (RPM)	Arus Pengisian (A)	Tegangan (V)	Daya (W)
1	0	2763	0,168	11,13	3,238658
2	15	2768	0,166	11,25	3,234605
3	30	2767	0,166	11,45	3,292109
4	45	2765	0,166	11,51	3,30936
5	60	2769	0,165	11,57	3,306572
6	75	2764	0,165	11,77	3,363729
7	90	2762	0,165	11,89	3,398024

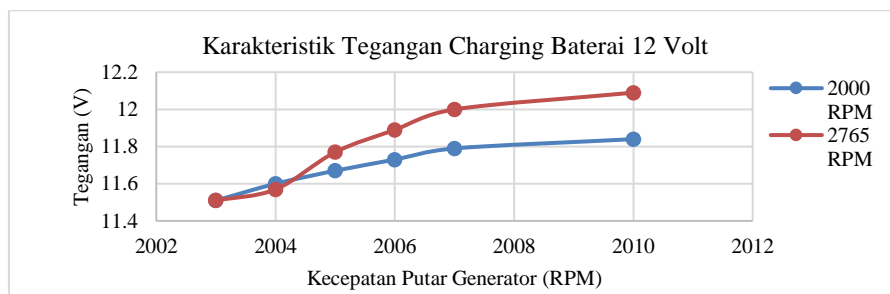
No	Menit Ke-	Kecepatan Putar Generator (RPM)	Arus Pengisian (A)	Tegangan (V)	Daya (W)
8	105	2768	0,165	12	3,429461
9	120	2765	0,164	12,09	3,434241
10	135	2760	0,164	12,12	3,442763
11	150	2763	0,164	12,13	3,445603
12	165	2768	0,164	12,15	3,451284
13	180	2765	0,163	12,17	3,435887
14	195	2765	0,162	12,22	3,428837
15	210	2760	0,162	12,26	3,440061
16	225	2769	0,158	12,32	3,371541
17	240	2764	0,15783	12,37	3,381582
18	255	2769	0,1567	12,47	3,384512
19	270	2764	0,155	12,59	3,380011

Berdasarkan data hasil Tabel 7. dan Tabel 8. dapat dianalisis bahwa pada proses pengisian baterai semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk pengisian maka arus yang mengalir pada saat pengisian akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya jumlah muatan pada baterai. Perbedaan kecepatan putar generator pada Tabel 7. dan Tabel 8. menghasilkan karakteristik kecepatan putar generator yang berbanding lurus dengan waktu pengisian baterai dan arus pengisian baterai. Semakin besar kecepatan putar generator maka waktu yang diperlukan untuk proses pengisian baterai akan semakin cepat dan juga daya yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini dikarenakan arus yang dihasilkan semakin besar seiringan dengan bertambahnya kecepatan putar generator. Saat 2000 rpm membutuhkan waktu 525 menit dengan arus pengisian awal 0,13218 A, sedangkan Ketika 2765 rpm membutuhkan waktu 270 menit dengan arus pengisian awal 0,168 A.

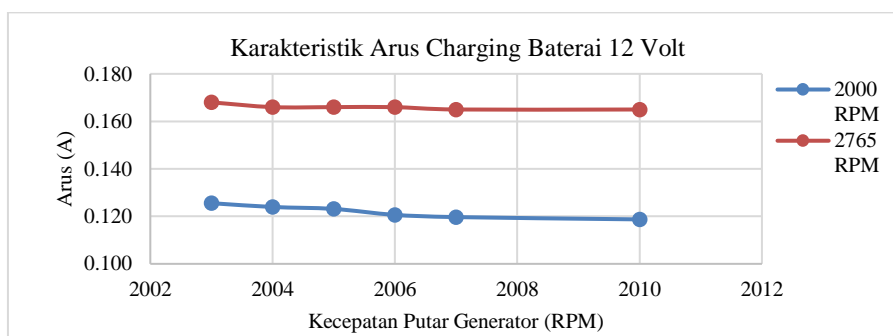
Tabel 9. Gambar gelombang saat proses pengisian baterai.

No	Kecepatan Putar (RPM)	Gambar Gelombang
1	2000	
2	2765	

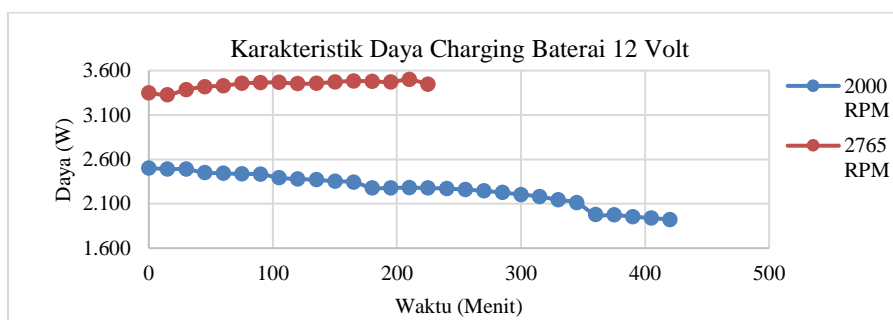
Berdasarkan Tabel 9. Bentuk gelombang yang dihasilkan pada proses pengisian baterai mengalami pemotongan pada bagian puncak dan lembah gelombang jika dibandingkan dengan bentuk gelombang pada hasil pengujian Tabel 3. dan Tabel 5. akibat pembebanan berupa pengisian baterai. Karakteristik kerapatan gelombang yang dihasilkan berbanding lurus dengan kecepatan putar generator. Semakin besar kecepatan putar generator maka kerapatan atau frekuensi gelombang yang dihasilkan akan semakin besar.



Gambar 6. Grafik karakteristik tegangan terhadap kecepatan putar generator.



Gambar 7. Grafik karakteristik arus terhadap kecepatan putar generator.



Gambar 8. Grafik karakteristik daya terhadap waktu pengisian baterai 12 volt.

Berdasarkan grafik Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8. Karakteristik kecepatan putar generator dan tegangan serta arus pengisian baterai dihasilkan adalah berbanding lurus. Arus yang mengalir pada saat proses pengisian baterai berbanding terbalik dengan tegangan baterai. Hal ini dikarenakan arus yang ada pada rangkaian digunakan untuk proses pengisian muatan pada baterai sehingga ketika arus pada rangkaian menurun seiring bertambahnya waktu maka muatan pada baterai akan semakin besar. Hal ini berarti semakin lama proses pengisian baterai maka arus yang digunakan untuk proses pengisian akan semakin menurun demikian juga daya generator yang semakin menurun dan muatan dalam baterai akan semakin meningkat. Pada saat pengujian dengan kecepatan 2765 rpm, daya yang dihasilkan tidak naik atau turun. Hal ini dikarenakan pada kecepatan 2765 rpm arus yang dihasilkan lebih stabil dan mengalami penurunan yang sedikit.

Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan bahwa dengan konstruksi generator yang mengalami penambahan jumlah rotor dan jumlah lilitan serta ukuran magnet dari penelitian sebelumnya menghasilkan tegangan dan arus yang semakin besar sehingga proses pengisian baterai hingga kondisi penuh lebih cepat dari penelitian sebelumnya. Saat menggunakan kecepatan putar 2000 rpm membutuhkan waktu 525 menit dan ketika menggunakan kecepatan putar 2765 rpm membutuhkan waktu 270 menit untuk mengisi baterai sampai kondisi penuh 12,6 volt. Sedangkan pada penelitian Aldhea Azzahra [6] 2020 membutuhkan waktu 720 menit pada kecepatan 2000 rpm dan 510 menit pada kecepatan 2765 rpm.

4. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, karakteristik kecepatan putar generator, tegangan, dan arus yang dihasilkan berbanding lurus. Semakin besar kecepatan putar generator maka tegangan dan arus yang mengalir juga semakin besar. Bentuk gelombang yang dihasilkan pada pengujian berbeban terpotong dikarenakan generator terbebani. Selain itu, Perancangan generator untuk pengisian baterai 12 Volt telah berhasil dilakukan dimana ketika menggunakan kecepatan putar 2000 rpm membutuhkan waktu lebih lama yaitu 525 menit untuk proses pengisian baterai dengan daya 2,54 Watt sedangkan ketika menggunakan kecepatan putar 2765 rpm membutuhkan waktu 270 menit dengan daya 3,23 Watt. Pada proses pengisian baterai, arus pengisian akan semakin mengecil sedangkan muatan pada baterai semakin bertambah seiring dengan semakin lama waktu pengisian. Hal ini dikarenakan arus pengisian digunakan untuk pengisian muatan pada baterai. Dengan penambahan jumlah rotor dan jumlah lilitan serta ukuran magnet dari penelitian sebelumnya menghasilkan tegangan dan arus yang semakin besar sehingga proses pengisian baterai hingga kondisi penuh lebih cepat dari penelitian sebelumnya. Saat menggunakan kecepatan putar 2000 rpm membutuhkan waktu 525 menit dan ketika menggunakan kecepatan putar 2765 rpm membutuhkan waktu 270 menit untuk mengisi baterai sampai kondisi penuh 12,6 volt. Sedangkan pada penelitian sebelumnya membutuhkan waktu 720 menit pada kecepatan 2000 rpm dan 510 menit pada kecepatan 2765 rpm. Pada penelitian berikutnya diharapkan lebih memperhitungkan rugi inti yang dihasilkan sehingga daya generator semakin akurat.

Referensi

- [1] Humas EBTK “Dirjen EBTKS Sampaikan Update Energi Terbarukan Indonesia Pada Forum US Power Working Group”. 21 Januari 2021. <https://ebtke.esdm.go.id/>. [Diakses pada January 3, 2022].
- [2] Wardoyo, H. Sutrisno, dan S. T. Widodo. GENERATOR AC. Edisi Pertama. Klaten: Saka Mitra Kompetensi. 2011. [E-book] Available: Ipusnas.
- [3] Rohmah, Ainur; Hadi, Widyono; Cahyadi, Widya. “Rancang Bangun Generator Ac Konstruksi Axial Flux Satu Fasa Menggunakan Magnet Neodymium Silinder Dengan Kutub Berlawanan”. *Jurnal Arus Elektro Indonesia*, [S.l.], v.6, n.2, p.33-37, aug.2020. ISSN 2443-2318. Available at: <<https://jurnal.unej.ac.id/index.php/E-JAEI/article/view/19654>>. Date accessed: 5 january 2022. doi: <https://doi.org/10.19184/jaei.v6i2.19654>.
- [4] A. A. Yusuf, M. Irfan and M. F. Razzaq, "A Design of Coreless Permanent Magnet Axial Flux Generator for Low Speed Wind Turbine," *2018 5th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, 2018, pp. 637-641, doi: 10.1109/EECSI.2018.8752667. Date accessed: 1 december 2021.
- [5] Juhari. GENERATOR. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia. 3. Kementerian Pendidikan Dan Kebudayaan Republik Indonesia. 2013. [E-book] Available: Ipusnas.
- [6] Azzahra, A. 2020. Rancang Bangun Prototipe Generator Axial Flux Tiga Fasa Dengan Magnet Permanen Neodymium (NdFeB) Stator Ganda Untuk Pengisian Battery 12 Volt. Universitas Jember.

- [7] P. P. Pratama, W. Hadi, and W. Cahyadi, "Rancang Bangun Generator Axial Flux Permanent Magnet (AFPM) Multicakram 1 Fasa Dengan Kutub Berlawanan (N-S) Menggunakan Magnet Permanen Neodymium Iron Boron (NdFeB)", *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 23, no. 2, pp. 58-67, Mei. 2021. <https://doi.org/10.14710/transmisi.23.2.58-67>. Date accessed: 24 december 2021.
- [8] Chapman, S. J. *Electric Machinery Fundamentals* (4th) . Edisi 4. Australia: Elizabeth A. Jortes. McGraw-Hill. 2003. [E-book] Available: <http://www.freepdfbook.com/>.