

## PERFORMANSI ALTERNATOR FASE-TUNGGAL DENGAN ROTOR MAGNET PERMANEN FLUKSI RADIAL

Arief Goeritno<sup>1</sup>, Alfian Hidayat<sup>2</sup>, Marjuki<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dosen Tetap Jurusan/Program Studi Teknik Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor  
Jl. K.H. Sholeh Iskandar km.2 Kedung Badak, Tanah Sereal, Kota Bogor 16132, Telepon: 0251-8356884

<sup>2</sup>PT Melcoinda

Jl. Desa Sentul no. 77 RT001/RW05, Sentul, Babakan Madang, Kabupaten Bogor 16811 Telepon: 021-8762510

<sup>3</sup>SMK Negeri 2 Kota Bogor

Jl. Pangeran Sogiri no. 404, Tanah Baru, Bogor Utara, Kota Bogor 16154 Telepon: 0251-8659385/8652085

Email: [arief.goeritno@ft.uika-bogor.ac.id](mailto:arief.goeritno@ft.uika-bogor.ac.id)

### Abstrak

Telah dilakukan pengukuran performansi terhadap alternator fase-tunggal dengan rotor magnet permanen fluksi radial, melalui kondisi tanpa beban dan berbeban. Tegangan keluaran alternator hasil perhitungan diperoleh nilai sebesar 170,4 volt pada frekuensi 50 hertz, sedangkan tegangan keluaran alternator hasil pengukuran diperoleh sebesar 170,7 volt dengan frekuensi 50 hertz. Berdasarkan kedua nilai tersebut, terdapat persentase perbedaan tegangan keluaran alternator sebesar 0,176%. Performansi alternator berbeban tanpa pengontrolan putaran poros alternator, diperoleh jatuh (drop) tegangan pada tegangan keluaran sebesar 70,4 volt, sehingga nilai tegangan terukur 73 volt saat dibebani dengan beban terbesar 10,5 watt. Nilai torsi berubah tidak linear, saat kenaikan nilai beban dan terdapat penurunan putaran poros yang bervariasi pada nilai 0 sampai 0,0031 N.m. Persentase regulasi tegangan saat tanpa beban dan beban penuh (10,5 watt) diperoleh 57,23%. Pengukuran performansi alternator berbeban dengan pengontrolan kecepatan putaran poros alternator dilakukan melalui penetapan nilai kecepatan putar rotor sebesar 500 rpm. Terdapat peningkatan arus sesuai perubahan pemberian beban secara bertahap. Nilai torsi mengalami perubahan yang linear, karena kenaikan nilai beban dan terdapat penurunan putaran poros, yakni pada nilai kisaran 0,0014 N.m. Persentase regulasi tegangan saat tanpa beban dan beban penuh (10,5 watt) diperoleh sebesar 14,18%.

**Kata-kata Kunci:** *alternator fase-tunggal; performansi tanpa beban dan berbeban; rotor magnet permanen fluks radial*

### Pendahuluan

Hasil pembentukan struktur belitan stator dan pabrikan terhadap rotor dengan magnet permanen fluksi radial telah diperoleh (Goeritno, 2016), yaitu (1) struktur belitan stator berbentuk 6 (enam) grup kumparan terhubung seri, masing-masing grup tersusun atas 3 (tiga) kumparan yang menempati 6 (enam) alur untuk dengan bentuk tipe jerat (*lap winding*) satu lapis; (2) Struktur rotor terdiri atas inti dan poros rotor, inti rotor berbentuk silinder berongga dimensi 60 mm (tebal), 30 mm (diameter dalam), dan 85 mm (diameter luar), dilengkapi rumah magnet untuk peletakan magnet permanen dan poros rotor berbentuk silinder sepanjang 210 mm; (3) Nilai daya listrik teoritis alternator 81,281 VA dihitung dari tegangan keluaran dan arus maksimum, sedangkan daya mekanis teoritis dari penggerak mula 350 watt, dihitung nilai kecepatan sudut putar poros dan torsi mekanis (Goeritno, 2016).

Alternator fase-tunggal (*single-phase alternator*), adalah sebuah generator listrik arus bolak-balik yang menghasilkan tegangan fase-tunggal. Alternator fase-tunggal dapat digunakan untuk pasokan listrik ke sistem tenaga listrik fase tunggal. Kenyataan saat ini, alternator fase-tiga menjadi pilihan untuk pemberian daya di sistem fase-tiga, dimana salah satu fasenya digunakan untuk catu daya ke beban fase-tunggal (Navy Electricity and Electronics Training Series, 1998). Untuk kasus-kasus tertentu, alternator fase-tunggal dengan kapasitas lebih besar, digunakan dalam aplikasi khusus, seperti tenaga traksi fase-tunggal untuk sistem elektrifikasi kereta api (Official Assessment E.ON Kraftwerke GmbH, 2012). Untuk menghasilkan tegangan keluaran, maka rotor diputar pada kecepatan konstan agar sesuai dengan frekuensi yang diinginkan (Chalko, 2005).

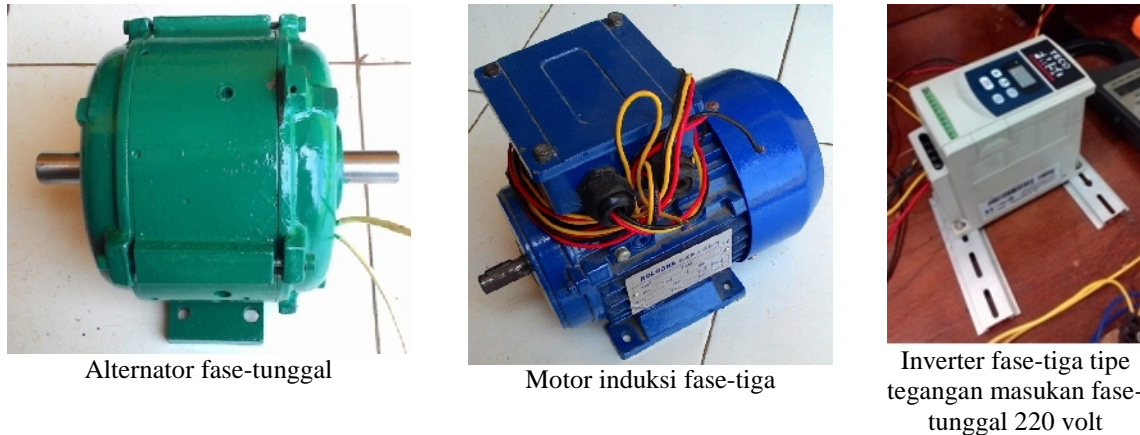
Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dilakukan pengukuran performansi terhadap alternator fase-tunggal dengan rotor magnet permanen fluks radial, melalui kondisi alternator tanpa beban dan alternator dibebani. Pengukuran performansi alternator tanpa beban berupa pengukuran tegangan keluaran alternator berdasarkan

kecepatan putaran penggerak mula. Pengukuran performansi alternator berbeban dilakukan melalui pengamatan terhadap kecepatan putaran poros alternator, tegangan terminal, dan arus yang dihasilkan alternator.

**Bahan-alat dan Metode Penelitian**

**Bahan-alat Penelitian**

Bahan-bahan penelitian utama berupa alternator fse-tunggal magnet permanen fluks radial, motor induksi fase-tiga, dan inverter fase-tiga tipe tegangan masukan fase-tunggal 220 volt. Bentuk fisik bahan penelitian utama, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Bentuk fisik bahan-bahan penelitian utama

Alternator fase-tunggal magnet permanen fluks radial dengan belitan stator berbentuk 6 (enam) grup kumparan terhubung seri, masing-masing grup tersusun atas 3 (tiga) kumparan yang menempati 6 (enam) alur dengan bentuk kumparan tipe jerat (*lap winding*) satu lapis dan struktur rotor terdiri atas inti dan poros rotor, inti rotor berbentuk silinder berongga dimensi 60 mm (tebal), 30 mm (diameter dalam), dan 85 mm (diameter luar). Motor induksi fase-tiga yang digunakan, adalah merk Bologna Electric Motors. Spesifikasi motor tersebut sesuai papan nama (*name plate*), yaitu: belitan 3 fase, berdaya 0,5 HP/0,37 kW, berkutub empat, dan kecepatan putaran sebesar 1340 rpm, dan frekuensi 50 hertz. Belitan motor induksi dihubung bintang/delta dengan tegangan 220/380 volt, arus 1,93/1,12 ampere. Motor induksi mempunyai indeks proteksi 55, yaitu tahan terhadap debu dan pancaran air. Untuk ketahanan temperatur belitan motor, jenis kawat belitan berada pada kelas F, yaitu pada temperatur maksimum 155 °C atau 311 °F. Berat fisik motor induksi sebesar 6,3 kg. Inverter fase-tiga dengan tegangan masukan 220 volt, dioperasikan melalui prinsip pengubahan tegangan 220 volt fase-tunggal menjadi tegangan 380 volt fase-tiga. Berfungsi untuk pengontrolan kecepatan motor induksi fase-tiga dengan pengontrolan frekuensi.

Alat-alat penelitian, meliputi multimeter dan tachometer. Multimeter digunakan untuk pengukuran nilai tegangan keluaran dan arus alternator. Tachometer digunakan untuk pengukuran kecepatan putaran poros alternator atau motor. Bentuk fisik multimeter dan tachometer, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Bentuk fisik multimeter dan tachometer

**Metode Penelitian**

Metode penelitian dilakukan untuk perolehan tujuan penelitian, berupa pengukuran performansi alternator tanpa beban dan pengukuran performansi alternator berbeban.

**Pengukuran Performansi Alternator Tanpa Beban**

Pengukuran performansi alternator tanpa beban berupa pengukuran tegangan keluaran alternator berdasarkan kecepatan putaran penggerak mula yang dilakukan melalui 1) koneksi poros penggerak mula ke poros rotor alternator, 2) pengukuran nilai kecepatan putaran poros alternator, tegangan terminal alternator, dan frekuensi alternator, dan 3) persentase perbandingan tegangan keluaran antara hasil perhitungan dan pengukuran.

**Koneksi penggerak mula ke poros rotor alternator**

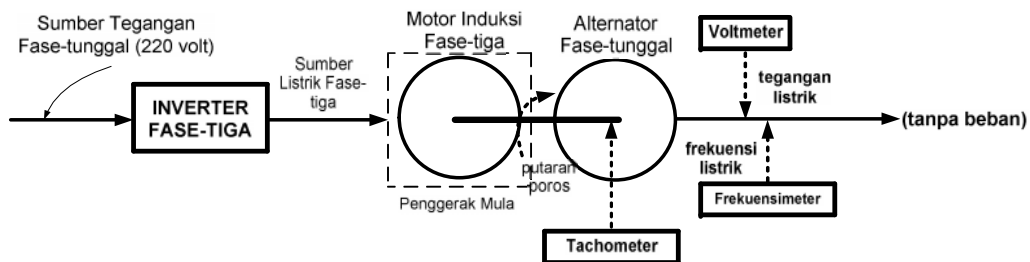
Tahapan ini berupa koneksi penggerak mula ke poros rotor. Koneksi penggerak mula ke rotor melalui kopel, yaitu poros motor induksi fase-tiga dikopel dengan poros rotor alternator, sehingga posisi penggerak mula sejajar dengan alternator. Koneksi penggerak mula ke poros rotor alternator, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Koneksi penggerak mula ke poros rotor alternator

**Pengukuran kecepatan putaran poros, tegangan terminal, dan frekuensi alternator**

Diagram skematis pengukuran performansi alternator fase-tunggal tanpa beban, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Diagram skematis pengukuran performansi alternator fase-tunggal tanpa beban

**Pengukuran nilai putaran poros, tegangan terminal, dan frekuensi alternator**

Tahapan ini berupa pengukuran performansi alternator tanpa beban, sehingga hanya dilakukan pengukuran tegangan keluaran alternator berdasarkan kecepatan putaran penggerak mula, agar dapat dilakukan penghitungan daya alternator hasil pengukuran.

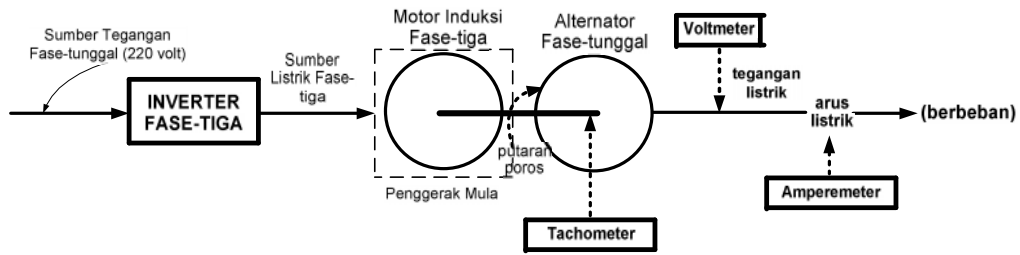
**Persentase perbandingan tegangan keluaran antara hasil perhitungan dan pengukuran**

Perhitungan persentase selisih antara tegangan keluaran hasil perhitungan dan pengukuran. Persentase perbedaan tegangan keluaran hasil perhitungan menggunakan persamaan dan hasil pengukuran dapat dihitung (Chalko, 2005) dengan persamaan (1).

$$\%Perbedaan = \frac{V_{perhitungan} - V_{pengukuran}}{V_{perhitungan}} \cdot 100\% \dots(1).$$

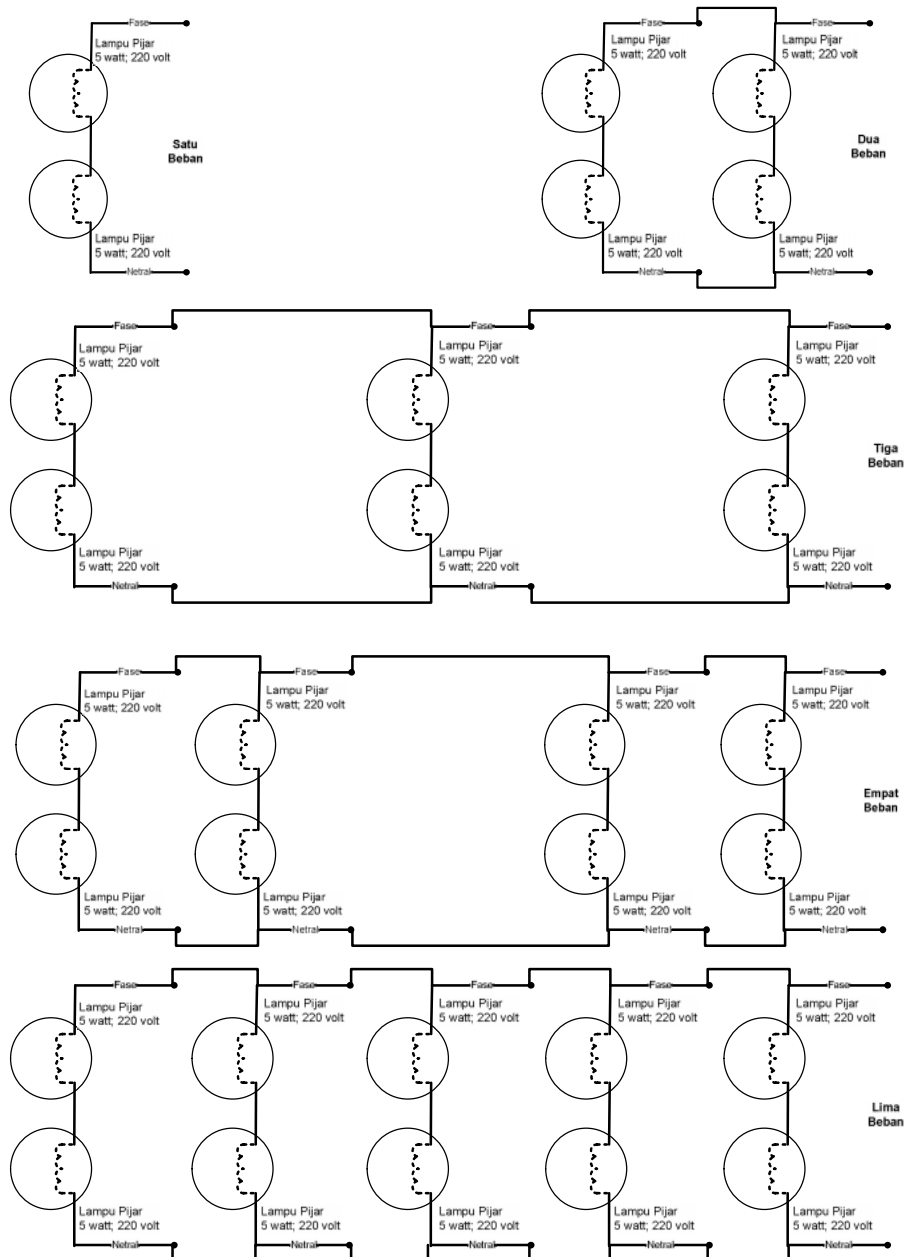
**Pengukuran Performansi Alternator Berbeban**

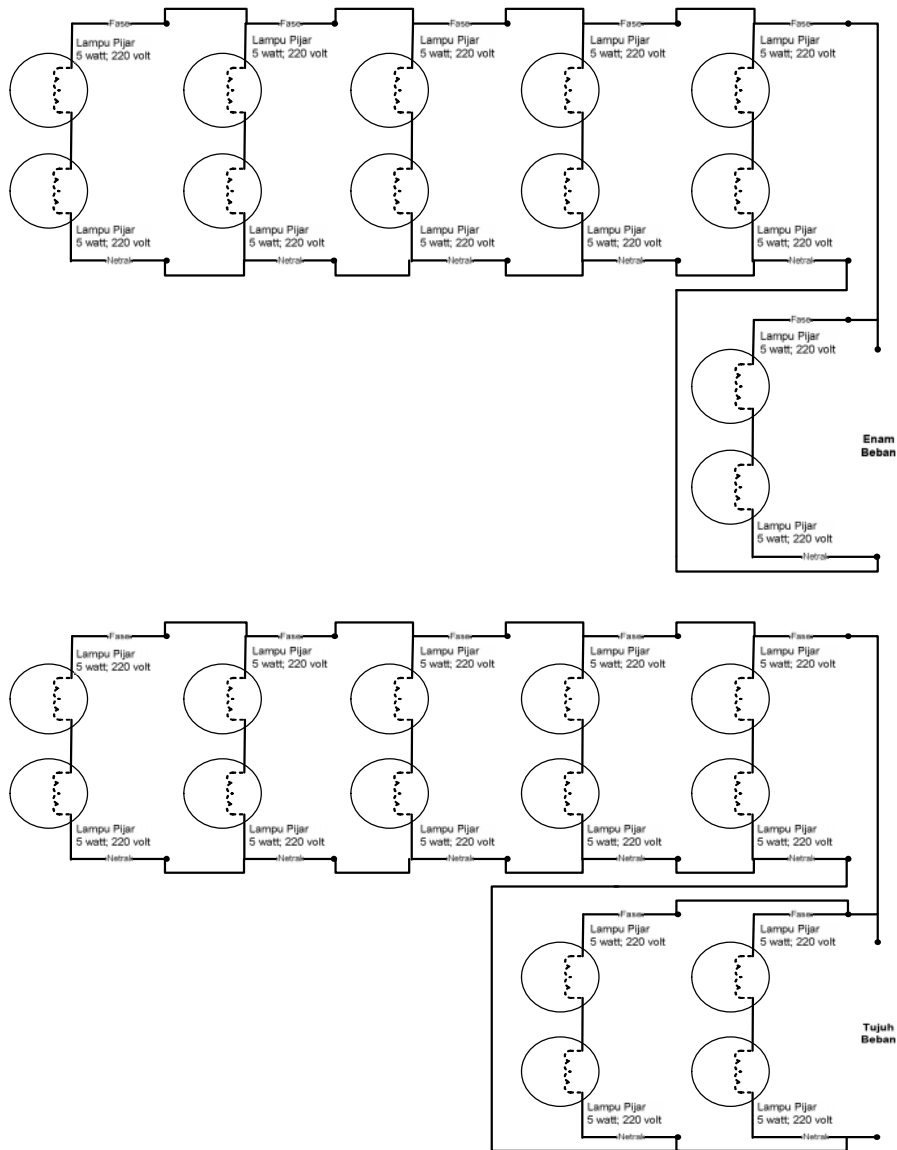
Pengukuran performansi alternator berbeban dilakukan melalui pengamatan terhadap kecepatan putaran poros alternator, tegangan terminal, dan arus yang dihasilkan alternator. Diagram skematis pengukuran performansi alternator fase-tunggal berbeban, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Diagram skematis pengukuran performansi alternator fase-tunggal berbeban

Pengukuran performansi alternator berbeban, yaitu: 1) performansi alternator berbeban tanpa pengontrolan kecepatan putaran poros alternator dan 2) performansi alternator berbeban dengan pengontrolan kecepatan putaran poros alternator. Diagram skematis pemberian beban secara bertahap dan variasi bentuk beban, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.





Gambar 6 Diagram skematis pemberian beban secara bertahap dan variasi bentuk beban

**Performansi alternator berbeban tanpa pengontrolan kecepatan putaran poros alternator**

Pengukuran performansi alternator berbeban tanpa pengontrolan kecepatan putaran poros alternator, dilakukan dengan pemberian beban yang bervariasi secara bertahap agar dapat diketahui perubahan daya terhadap tegangan dan arus. Persentase regulasi tegangan saat tanpa beban dan dibebani penuh (Chalko, 2005) dihitung dengan persamaan (2).

$$\%Reg. Teg. = \frac{Tegangan_{tanpa\_beban} - Tegangan_{berbeban\_penuh}}{Tegangan_{tanpa\_beban}} \cdot 100\% \dots\dots(2).$$

Daya listrik (Chalko, 2005) dihitung dengan persamaan (3).

$$P_e = V \cdot I \dots\dots(3).$$

Torsi listrik (Chalko, 2005) dihitung dengan persamaan (4).

$$\tau_e = \frac{P_e}{\omega} \dots\dots(4).$$

**Pengukuran performansi alternator berbeban dengan pengontrolan kecepatan putaran poros alternator**

Pengukuran performansi alternator berbeban dengan pengontrolan frekuensi dilakukan dengan pemberian beban yang bervariasi secara bertahap, agar dapat diketahui perubahan daya dan arus. Persentase regulasi tegangan saat tanpa beban dan dibebani penuh (Chalko, 2005) dihitung dengan persamaan (2). Daya listrik (Meier, 2006) dihitung dengan persamaan (3). Torsi listrik (Chalko, 2005) dihitung dengan persamaan (4).

## Hasil dan Bahasan

### Performansi Alternator Tanpa Beban

Pengukuran performansi alternator tanpa beban dilakukan melalui pengamatan terhadap putaran poros, tegangan terminal, dan frekuensi alternator. Hasil pengukuran performansi alternator fase-tunggal tanpa beban, berupa perolehan nilai tegangan terminal dan frekuensi alternator berdasarkan kecepatan putaran poros alternator yang divariasi. Nilai tegangan terminal dan frekuensi alternator berdasarkan kecepatan putaran poros alternator yang divariasi, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai tegangan terminal dan frekuensi alternator berdasarkan kecepatan putaran poros alternator yang divariasi

Kecepatan Putaran Poros ( <i>rpm</i> )	Tegangan Terminal (volt)	Frekuensi (hertz)
100	34,4	11
200	69,8	20
302	104,2	30
401	139,2	40
<b>502</b>	<b>170,7</b>	<b>50</b>
601	204,4	60
702	239,8	70
802	275,2	80
904	310,2	90
1000	342,7	100
1103	378,3	110
1203	420,4	120
1302	457,3	130

Berdasarkan Tabel 1 ditunjukkan, bahwa kecepatan putaran poros rotor sebagai penentu nilai tegangan keluaran dan frekuensi alternator, semakin besar kecepatan putaran rotor alternator, semakin besar pula nilai tegangan keluaran dan frekuensi alternator yang dihasilkan.

Berdasarkan Tabel 1, dibuat: 1) nilai konversi hasil perhitungan untuk perubahan parameter kecepatan putaran poros rotor (*rpm*) ke frekuensi (hertz) alternator, 2) hubungan perubahan tegangan terminal alternator sebagai fungsi perubahan kecepatan putaran poros rotor, 3) hubungan perubahan frekuensi sebagai fungsi perubahan kecepatan putaran poros rotor, 4) hubungan antara tegangan terminal dan frekuensi alternator, dan 5) persentase perbedaan nilai tegangan keluaran alternator antara penghitungan dan pengukuran.

### Nilai pembagi hasil perhitungan untuk perubahan parameter kecepatan putaran poros rotor ke frekuensi

Nilai pembagi hasil perhitungan untuk perubahan parameter kecepatan putaran poros rotor ke frekuensi alternator, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Nilai pembagi hasil perhitungan untuk perubahan parameter kecepatan putaran poros rotor ke frekuensi alternator

Kecepatan Putaran ( <i>rpm</i> )	Frekuensi (hertz)	Nilai Pembagi
100	11	9,09
200	20	10,00
302	30	10,07
401	40	10,03
502	50	10,04
601	60	10,02
702	70	10,03
802	80	10,03
904	90	10,04
1000	100	10,00
1103	110	10,03
1203	120	10,03
1302	130	10,02
	Rata-rata	<b>9,95</b>

Berdasarkan Tabel 2 ditunjukkan, bahwa nilai pembagi hasil perhitungan untuk perubahan parameter kecepatan putaran poros rotor ke frekuensi pada nilai rata-rata sebesar 9,95.

**Hubungan perubahan tegangan terminal alternator sebagai fungsi perubahan putaran poros rotor**

Kurva hubungan perubahan tegangan terminal alternator sebagai fungsi perubahan kecepatan putaran poros rotor, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Kurva hubungan perubahan tegangan terminal alternator sebagai fungsi perubahan kecepatan putaran poros rotor

Berdasarkan Gambar 7 ditunjukkan, bahwa hubungan antara perubahan tegangan dan kecepatan putaran poros rotor berbanding lurus, diperoleh bentuk kurva linier, yaitu setiap kenaikan kecepatan putaran poros rotor sebesar 100 rpm diperoleh peningkatan nilai tegangan berkisar 35,25 volt.

**Hubungan perubahan frekuensi sebagai fungsi perubahan kecepatan putaran poros rotor**

Kurva hubungan perubahan frekuensi sebagai fungsi perubahan kecepatan putaran poros rotor, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.

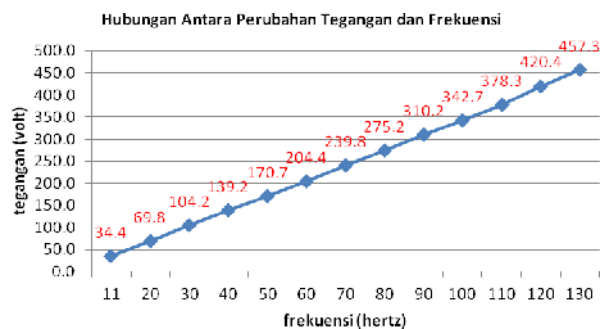


Gambar 8 Kurva hubungan perubahan frekuensi sebagai fungsi perubahan kecepatan putaran poros rotor

Berdasarkan Gambar 8 ditunjukkan, bahwa hubungan antara perubahan frekuensi dan kecepatan putaran poros rotor berbanding lurus, diperoleh bentuk kurva linear, yaitu setiap kenaikan kecepatan putaran poros rotor sebesar 100 rpm terjadi peningkatan frekuensi berkisar 9,95 hertz.

**Hubungan antara tegangan terminal dan frekuensi alternator**

Kurva hubungan antara tegangan terminal dan frekuensi alternator, seperti ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Kurva hubungan antara tegangan terminal dan frekuensi alternator

Berdasarkan Gambar 9 ditunjukkan, bahwa hubungan antara perubahan tegangan dan frekuensi alternator berbanding lurus, diperoleh bentuk kurva linear, yaitu setiap kenaikan frekuensi sebesar 10 hertz, terjadi peningkatan tegangan sebesar 35,25 volt.

**Persentase perbedaan tegangan keluaran alternator antara hasil pengukuran dan penghitungan**

Tegangan keluaran alternator melalui pengukuran diperoleh sebesar 170,7 volt pada frekuensi 50 hertz, sedangkan untuk perolehan tegangan keluaran alternator secara teoritis digunakan hasil perhitungan sebesar 170,4 volt. Persentase perbandingan tegangan keluaran alternator antara perhitungan dan pengukuran dihitung dengan persamaan (1), diperoleh sebesar 0,176%.

**Performansi Alternator Berbeban**

**Performansi alternator berbeban tanpa pengontrolan putaran poros alternator**

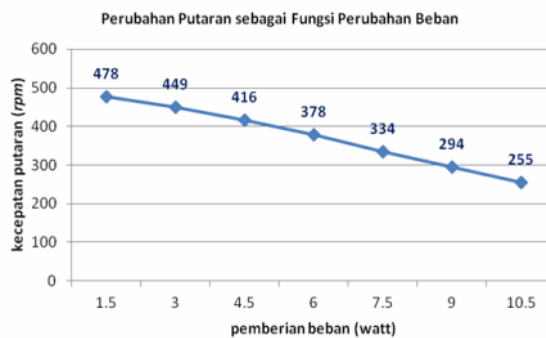
Alternator dibebani dengan variasi pembebanan, yaitu 1,5 watt sampai 10,5 watt. Perlakuan berupa tanpa pengontrolan kecepatan putaran poros alternator. Perubahan nilai arus, tegangan, dan torsi akibat pemberian beban pada alternator, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Perubahan nilai arus tegangan dan torsi akibat pemberian beban pada alternator

Putaran Awal (rpm)	Pemberian Beban (watt)	Kecepatan Putaran Poros Rotor (rpm)	Arus (ampere)	Tegangan (volt)	Torsi (N.m)
500	1,5	478	Tidak Terdeteksi	158	0
500	3	449	0,02	146	0,0011
500	4,5	416	0,05	132,5	0,0025
500	6	378	0,07	117	0,0029
500	7,5	334	0,08	101,5	0,0031
500	9	294	0,09	87	0,0030
500	10,5	255	0,09	73	0,0025

Berdasarkan Tabel 3 ditunjukkan, bahwa semakin besar pemberian beban, semakin terjadi penurunan nilai kecepatan putaran poros rotor dan tegangan, tetapi terjadi kenaikan nilai arus sampai pemberian beban sebesar 10,5 watt, sedangkan nilai torsi terjadi perubahan yang bervariasi. Hal itu disebabkan oleh ketiadaan pengontrolan kecepatan putaran poros alternator, karena kecepatan putaran poros alternator sangat ditentukan oleh kecepatan putaran poros penggerak mula.

Kurva hubungan perubahan kecepatan putaran poros alternator sebagai fungsi perubahan pemberian beban, seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Kurva hubungan perubahan kecepatan putaran poros alternator sebagai fungsi perubahan pemberian beban

Berdasarkan Gambar 10 ditunjukkan, bahwa hubungan antara perubahan kecepatan putaran poros alternator dan pemberian beban berbanding terbalik, diperoleh bentuk kurva linear, yaitu setiap kenaikan pemberian beban sebesar 1,5 watt, terjadi penurunan kecepatan putaran poros berkisar 37,17 rpm.

Kurva perubahan arus sebagai fungsi perubahan pemberian beban, seperti ditunjukkan pada Gambar 11.

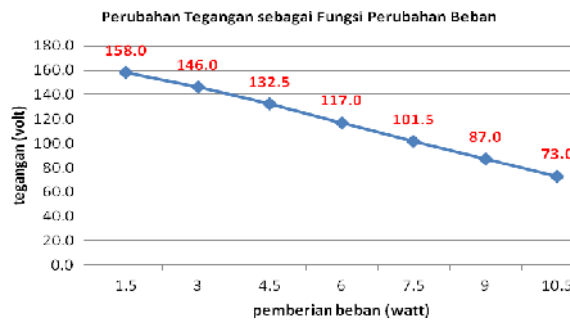




Gambar 11 Kurva hubungan perubahan arus sebagai fungsi perubahan pemberian beban

Berdasarkan Gambar 11 ditunjukkan, bahwa hubungan antara perubahan arus dan pemberian beban diperoleh bentuk kurva tidak linear, yaitu setiap kenaikan pemberian beban sebesar 1,5 watt, tidak terjadi peningkatan arus berkisar 0,015 ampere, tetapi bervariasi pada nilai 0 sampai 0,03 ampere.

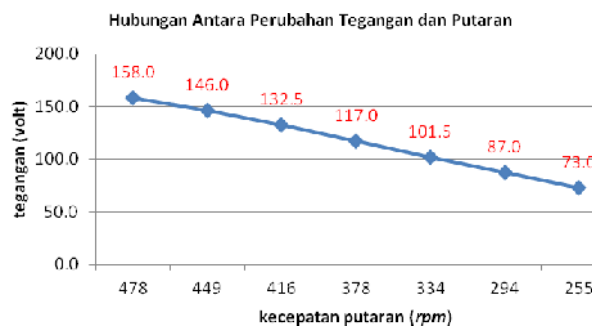
Kurva perubahan tegangan sebagai fungsi perubahan pemberian beban, seperti ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12 Kurva hubungan perubahan tegangan sebagai fungsi perubahan pemberian beban

Berdasarkan Gambar 12 ditunjukkan, bahwa hubungan antara perubahan tegangan keluaran dan pemberian beban berbanding terbalik, diperoleh bentuk kurva linear, yaitu setiap kenaikan pemberian beban sebesar 1,5 watt, terjadi penurunan tegangan pada kisaran 14,17 volt.

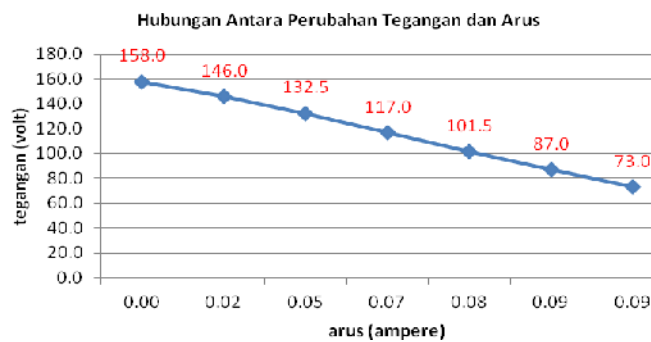
Kurva perubahan tegangan karena perubahan kecepatan putaran poros alternator, seperti ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13 Kurva perubahan tegangan karena perubahan kecepatan putaran poros alternator

Berdasarkan Gambar 13 ditunjukkan, bahwa hubungan antara perubahan tegangan dan kecepatan putaran poros alternator berbanding lurus, diperoleh bentuk kurva linear, yaitu penurunan nilai kecepatan putaran poros pada kisaran 37,17 rpm, terjadi penurunan nilai tegangan pada kisaran 14,17 volt.

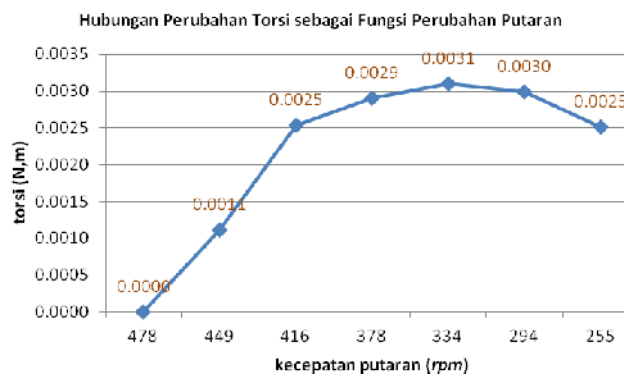
Kurva hubungan perubahan tegangan karena perubahan arus, seperti ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14 Kurva perubahan tegangan sebagai fungsi perubahan arus

Berdasarkan Gambar 14 ditunjukkan, bahwa hubungan antara perubahan tegangan dan arus berbanding terbalik, diperoleh bentuk kurva linear, yaitu kenaikan nilai arus pada kisaran 0,015 ampere, terjadi penurunan tegangan pada kisaran 14,17 volt.

Kurva hubungan perubahan torsi karena perubahan kecepatan putaran, seperti ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15 Kurva perubahan torsi sebagai fungsi perubahan kecepatan putaran

Berdasarkan Gambar 15 ditunjukkan, bahwa hubungan antara perubahan torsi dan kecepatan putaran diperoleh bentuk kurva tidak linear, yaitu setiap penurunan putaran sebesar 35 rpm, tidak terjadi peningkatan torsi berkisar 0,0004 N.m, tetapi bervariasi pada nilai 0 sampai 0,0031 N.m.

Persentase regulasi tegangan antara tanpa beban dan dibebani sampai 10,5 watt, digunakan persamaan (2). Untuk kondisi regulasi tegangan tanpa pengontrolan kecepatan putaran poros alternator, diperoleh persentase regulasi tegangan sebesar 57,23%.

**Performansi alternator berbeban dengan pengontrolan kecepatan putaran poros alternator**

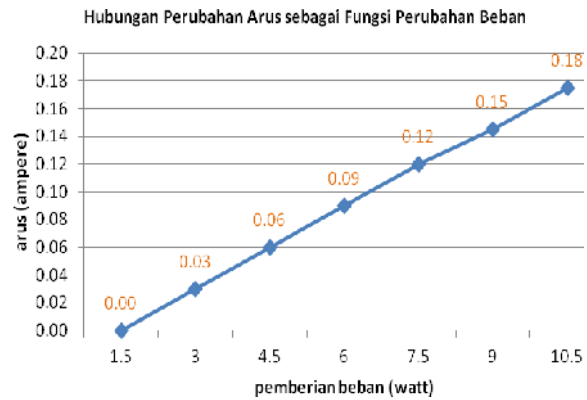
Alternator dibebani dalam variasi pembebanan, yaitu 1,5 watt sampai 10,5 watt. Perlakuan berupa pengontrolan kecepatan putaran poros alternator pada 500 rpm. Perubahan arus, tegangan dan torsi akibat pemberian beban pada kecepatan putaran poros alternator kondisi konstan, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Perubahan nilai arus tegangan dan torsi akibat pemberian beban pada kecepatan putaran poros alternator kondisi konstan

Putaran Konstan (rpm)	Pemberian Beban (watt)	Arus (ampere)	Tegangan (volt)	Torsi (N.m)
500	1,5	0,00	167,5	0
500	3	0,03	163	0,00187
500	4,5	0,06	159,5	0,00365
500	6	0,09	156,5	0,00538
500	7,5	0,12	153	0,00701
500	9	0,15	149,5	0,00828
500	10,5	0,18	146,5	0,00979

Berdasarkan Tabel 4 ditunjukkan, bahwa kenaikan pemberian beban, berakibat kepada peningkatan nilai arus yang diserap beban, penurunan nilai tegangan keluaran pada alternator kondisi konstan, dan terjadi peningkatan nilai torsi.

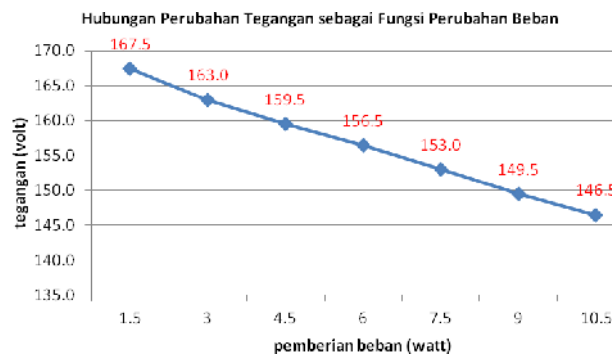
Kurva perubahan nilai arus akibat perubahan pemberian beban pada kecepatan putaran poros alternator kondisi konstan, seperti ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16 Kurva perubahan nilai arus akibat perubahan pemberian beban pada kecepatan putaran poros alternator kondisi konstan

Berdasarkan Gambar 16 ditunjukkan, bahwa terjadi kenaikan nilai arus yang diserap beban akibat kenaikan pemberian beban, dengan perolehan bentuk kurva linear, yaitu setiap perubahan pemberian beban sebesar 1,5 watt, terjadi peningkatan nilai arus sebesar 0,03 ampere.

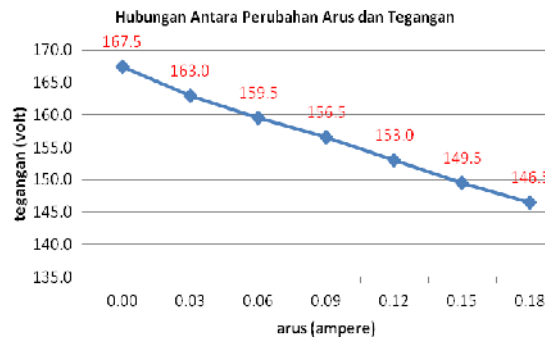
Kurva perubahan nilai tegangan akibat perubahan pemberian beban pada kecepatan putaran poros alternator kondisi konstan, seperti ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17 Kurva perubahan nilai tegangan akibat perubahan pemberian beban pada kecepatan putaran poros alternator kondisi konstan

Berdasarkan Gambar 17 ditunjukkan, bahwa terjadi penurunan nilai tegangan yang terjadi pada beban akibat kenaikan pemberian beban, diperoleh bentuk kurva linear, yaitu setiap perubahan pemberian beban sebesar 1,5 watt, terjadi penurunan nilai tegangan sebesar 3,5 volt.

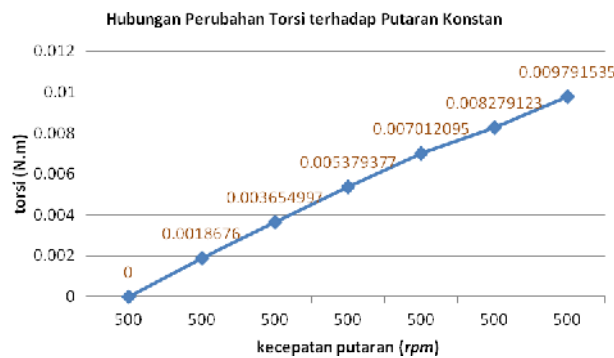
Kurva perubahan tegangan akibat perubahan arus pada kecepatan putaran poros alternator kondisi konstan, seperti ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18 Kurva perubahan tegangan akibat perubahan arus pada kecepatan putaran poros alternator kondisi konstan

Berdasarkan Gambar 18 ditunjukkan, bahwa hubungan antara perubahan nilai arus dan tegangan berbanding terbalik dan diperoleh bentuk kurva linear, yaitu setiap kenaikan nilai arus sebesar 0,03 ampere terdapat penurunan nilai tegangan sebesar 3,5 volt.

Kurva hubungan perubahan torsi terhadap kecepatan putaran konstan, seperti ditunjukkan pada Gambar 19.



Gambar 19 Kurva perubahan torsi terhadap kecepatan putaran konstan

Berdasarkan Gambar 19 ditunjukkan, bahwa hubungan antara perubahan torsi dan kecepatan putaran diperoleh bentuk kurva linear, yaitu pada setiap putaran konstan 500 rpm, terjadi peningkatan torsi berkisar 0,0014 N.m.

Persentase regulasi tegangan antara tanpa beban dan dibebani sampai 10,5 watt, digunakan persamaan (2). Untuk kondisi regulasi tegangan dengan pengontrolan kecepatan putaran poros alternator, diperoleh persentase regulasi tegangan sebesar:

$$\%Reg. Teg. = \frac{170,7 - 146,5}{170,7} \cdot 100\% = 14,18\%$$

## Kesimpulan dan Saran

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan bahasan, maka ditarik kesimpulan sesuai tujuan penelitian.

- 1) Pengukuran performansi alternator tanpa beban berupa perubahan tegangan mulai 34,4 volt (pada putaran 100 rpm dan frekuensi 11 hertz) sampai tegangan 457,3 volt (pada putaran 1302 rpm dan frekuensi 130 hertz). Tegangan keluaran alternator hasil pengukuran diperoleh sebesar 170,7 volt dengan frekuensi 50 hertz, sedangkan tegangan keluaran alternator hasil perhitungan diperoleh nilai sebesar 170,4 volt pada frekuensi 50 hertz, sehingga terdapat persentase perbedaan tegangan keluaran alternator sebesar 0,176%.
- 2) Performansi alternator berbeban tanpa pengontrolan putaran poros alternator, diperoleh jatuh (*drop*) tegangan pada tegangan keluaran setiap pemberian tahapan beban (berupa lampu pijar). Saat dibebani 1,5 watt terjadi jatuh tegangan 28,4 volt (turun dari 170,7 volt sampai 158 volt), sampai dibebani 10,5 watt terjadi jatuh tegangan sebesar 70,4 volt, sehingga nilai tegangan terukur 73 volt. Nilai torsi mengalami perubahan yang tidak linear, dimana pemberian beban yang bertambah dan terdapat penurunan putaran poros yang bervariasi pada nilai 0 sampai 0,0031 N.m. Persentase regulasi tegangan saat tanpa beban dan beban penuh (10,5 watt) diperoleh 57,23%. Pengukuran performansi alternator berbeban dengan pengontrolan kecepatan putaran poros alternator dilakukan melalui penetapan nilai kecepatan putar rotor sebesar 500 rpm. Terdapat peningkatan arus

sesuai perubahan pemberian beban secara bertahap. Nilai torsi mengalami perubahan yang linear disebabkan, karena pemberian beban yang bertambah dan terdapat penurunan putaran poros, yakni pada nilai kisaran 0,0014 N.m. Persentase regulasi tegangan saat tanpa beban dan beban penuh (10,5 watt) diperoleh 14,18%.

### Saran

Sejumlah saran untuk melengkapi kesimpulan, yaitu perlu perhitungan lebih lanjut berkaitan dengan ketebalan dan massa magnet permanen dan pemilihan bahan untuk poros rotor. Ketebalan dan massa magnet permanen berperan besar dalam pembangkitan tegangan listrik, sedangkan massa rotor keseluruhan berperan besar dalam pengurangan daya mekanis yang dibutuhkan dari penggerak mula.

### Daftar Pustaka

- Chalko, Tom, (2005), “*Optimizing a Permanent Magnet Alternator for Micro-hydro Application*”, Scientific E Research, Mt Best, Australia, pp. 1-6.
- Federal Aviation Administration, (2008), “Basic Electricity Chapter 10” in *Aviation Maintenance Technician Handbook—General (FAA-H-8083-30)*, Federal Aviation Administration, pp. (10) 130-161.
- Goeritno, Arief, Marjuki, Alfian Hidayat, (2016), “Struktur Belitan Stator dan Rotor Bermagnet Permanen Fluks Radial Untuk Alternator Fase-Tunggal”, *Prosiding Semnastek 2016*, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta (UMJ), hlm. (TE-003) 1-9.
- Meier, Alexandra von, (2006), “*Electric Power Systems: A Conceptual Introduction*, Wiley-IEEE Press, pp. 96-97.
- Navy Electricity and Electronics Training Series, (1998), “*Module 5—Introduction to Generators and Motors (NAVEDTRA 14177)*”, Naval Education and Training Professional Development and Technology Center, pp. 3-7, 3-8, and 3-15.
- Official Assessment E.ON Kraftwerke GmbH, (2012), “*Hydropower Sustainability Assessment Tool*”, Walchenseekraftwerk, Germany, pp. 2.