

# PERANCANGAN DAN PEMBUATAN GENERATOR FLUKS RADIAL TIGA FASA MAGNET PERMANEN KECEPATAN RENDAH

Andika<sup>1</sup>, Amir Hamzah<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektro Universitas Riau; <sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Kampus Binawidya km. 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, 28293, Indonesia  
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

e-mail: andika\_haidil@yahoo.co.id

## ABSTRACT

*Based on wind speed data from Meteorology and Geophysics Agency, Indonesia has an average wind speed of about 3-6 m / s. Wind speed can be categorized at low wind speed. So the power station needs a low-speed generator. One solution found from this problem is the development of low speed power plant technology. The wind power plant has an important component of which is a generator which is an electric machine that convert mechanical energy into electrical power. By utilizing a low speed and high torque of the direct drive system of the wind turbine. In designing this low-speed generator the magnetic field is made of neodymium magnets. The generator is designed with a speed of 750 rpm, frequency 50 Hz, induced voltage 15 V and 3 phase. Permanent magnet used with a diameter of 20mm and 3mm thick. The tests included zero load testing, load testing, anchor resistance testing, short-circuit testing and calculating voltage regulation. At the load-bearing load and weightless testing there is a decrease in stress due to the load, where the voltage regulation at the R phase is 16.1%, the S phase is 16.8% and the T phase is 13.2%. The yielded generator voltage phase S is 10.1 Vac, voltage phase R is 10.2 Vac, and then voltage phase T is 10.3 Vac.*

*Keywords: Radial flux generator, neodymium magnet, design result*

## I. PENDAHULUAN

Beberapa persediaan energi konvensional yang ada berkurang dan tidak tutup kemungkinan akan terjadi kelangkaan. Hal ini berdasarkan data statistik OPEC Annual Statistical Report indonesia mengalami penurunan persediaan minyak bumi 10,9% dari tahun 2012 ke 2013. Sedangkan kebutuhan energi listrik di Indonesia yang diproduksi sendiri 16.966 GWh meningkat 9,49% dibandingkan tahun sebelumnya, sedangkan total pemakaian energi listrik sebesar 187.541 GWh meningkat 7.79% dibandingkan tahun sebelumnya. Peningkatan jumlah energi listrik diperkirakan akan terus meningkat setiap tahunnya.

Berdasarkan data kecepatan angin dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Tanjungpinang tahun 2014, wilayah indonesia memiliki rata – rata kecepatan angin sekitar 3 – 6

m/s. Kecepatan angin tersebut dapat dikategorikan pada kecepatan angin rendah menurut skala beaufort. Salah satu solusi yang ditemukan dari permasalahan kecilnya sumber energi angin yang ada yaitu pengembangan yang dilakukan pada sistem teknologi turbin angin. Salah satu bagian yang memiliki pengaruh besar pada turbin angin dalam menghasilkan energi listrik yaitu sistem elektromekanik yang digunakan. Salah satu tipe generator yang digunakan untuk turbin angin dengan putaran rendah.

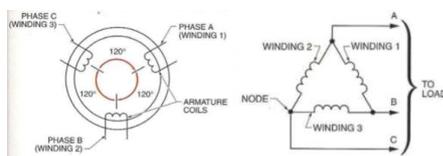
Sulitnya mendapatkan generator sinkron putaran rendah membuat para peneliti terus mengembangkan penelitian untuk merancang dan membuat generator sinkron yang dapat digunakan pada putaran rendah seperti pembangkit listrik tenaga mikro hidro menggunakan screw turbin dan pembangkit listrik tenaga angin. Pengembangan penelitian generator putaran rendah yang banyak dikembangkan yaitu dengan

metode fluks aksial dan radial, pada penelitian ini pengembangan generator yang akan digunakan menggunakan fluks radial yang memanfaatkan stator motor yang akan dirancang dan dibuat menjadi generator sinkron fluks radial tanpa memerlukan eksitasi tambahan.

## II. LANDASAN TEORI

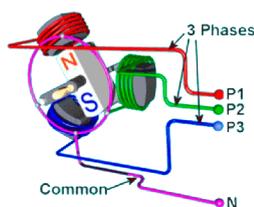
### 2.1 Generator AC Tiga Fasa

Generator tiga fasa memiliki prinsip kerja yang sama dengan generator satu fasa. Perbedaan paling utama adalah digunakannya tiga kumparan kawat yang saling terhubung dengan konfigurasi khusus. Jika pada alternator satu fasa beberapa kumparan dihubungkan secara seri akan menghasilkan tegangan listrik AC yang lebih besar, maka pada alternator tiga fasa koneksi antar ketiga kumparan kawat akan menghasilkan tiga gelombang voltase listrik AC yang saling mendahului.



**Gambar 2.1 Koneksi Antar Kumparan Pada Alternator AC**

Tiga kumparan kawat, baik diposisikan sebagai rotor ataupun stator alternator, disusun sedemikian rupa sehingga diantara ketiganya memiliki jarak sudut  $120^\circ$ . Masing-masing kumparan memiliki dua ujung kawat yang salah satu ujungnya dihubungkan dengan ujung kawat kumparan lainnya dengan bentuk konfigurasi delta ( $\Delta$ ) atau wye (Y) seperti pada gambar di atas. Sedangkan ujung-ujung kawat kumparan lainnya berfungsi sebagai output untuk menyalurkan energi listrik AC yang terbangkitkan keluar generator.



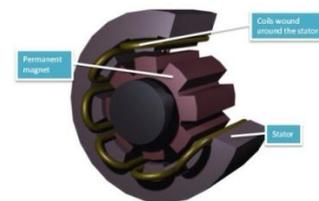
**Gambar 2.2 Tiga Kumparan Sebagai Stator Alternator Terhubung Y**

Tegangan listrik keluaran alternator AC tiga fasa membentuk tiga buah gelombang sinus jika diproyeksikan ke dalam sebuah grafik. Ketiga gelombang tersebut memiliki frekuensi yang sama persis, namun saling memiliki jarak sepertiga gelombang antara satu gelombang dengan gelombang lainnya. Dibawah ini adalah sebuah animasi proses pembentukan gelombang listrik AC dari sebuah alternator. Titik-titik merah, biru, dan hijau adalah posisi dimana kumparan kawat harus diletakan serta merepresentasikan fase satu, dua, dan tiga.

### 2.2 Generator dengan Magnet Permanen

Generator dengan magnet permanen yang mana sumber eksitasinya berdasarkan dari magnet permanen pada rotor, Adapun kelebihan generator magnet permanen sebagai berikut :

- Desain yang sederhana.
- Umur generator lebih awet (*reliable*).
- Tidak membutuhkan sumber arus listrik DC dari luar untuk membangkitkan medan magnet.



**Gambar 2.3 Skema Alternator Dengan Magnet Permanen**

Kekurangan generator dengan magnet permanen :

- Tidak efisien jika menggunakan magnet permanen dengan produksi fluks magnet rendah.
- Pembangkitan daya listrik terbatas sejauh kemampuan magnet dalam membentuk medan magnet, sehingga tidak cocok digunakan untuk skala besar.

### 2.3 Magnet

Magnet atau magnit adalah suatu objek yang mempunyai suatu medan magnet. Kata magnet (magnit) berasal dari bahasa Yunani magnítis líthos yang berarti batu Magnesian. Magnesia adalah nama sebuah wilayah di Yunani pada masa lalu yang kini bernama Manisa (sekarang berada di wilayah Turki) di mana terkandung batu magnet yang ditemukan sejak zaman dulu di wilayah tersebut.

Pada saat ini, suatu magnet adalah suatu materi yang mempunyai suatu medan magnet. Materi tersebut bisa dalam berwujud magnet tetap atau magnet tidak tetap. Magnet yang sekarang ini ada hampir semuanya adalah magnet buatan.

Magnet selalu memiliki dua kutub yaitu: kutub utara (north/ N) dan kutub selatan (south/S). Walaupun magnet itu dipotong-potong, potongan magnet kecil tersebut akan tetap memiliki dua kutub.

Magnet dapat menarik benda lain. Beberapa benda bahkan tertarik lebih kuat dari yang lain, yaitu bahan logam. Namun tidak semua logam mempunyai daya tarik yang sama terhadap magnet. Besi dan baja adalah dua contoh materi yang mempunyai daya tarik yang tinggi oleh magnet. Sedangkan oksigen cair adalah contoh materi yang mempunyai daya tarik yang rendah oleh magnet.

Satuan intensitas magnet menurut sistem metrik pada Satuan Internasional (SI) adalah Tesla dan SI unit untuk total fluks magnetik adalah weber.  $1 \text{ weber/m}^2 = 1 \text{ tesla}$ , yang memengaruhi satu meter persegi.

Elektromagnet terbuat dari gulungan kawat yang bertindak sebagai magnet ketika arus listrik melewatinya tetapi berhenti menjadi magnet ketika tidak diberi arus listrik. Seringkali, kumparan melilit inti dari "lunak" bahan ferromagnetic seperti baja, yang sangat meningkatkan medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan. Keseluruhan kekuatan magnet diukur dengan momen magnetik atau, sebaliknya, total fluks magnetik yang dihasilkan. Kekuatan lokal magnet dalam suatu material diukur dengan magnetisasi nya.

## 2.4 Magnet Neodymium

Magnet ini adalah golongan magnet yang langka dan bahan pembuatnya hanya ada di Dataran China, Taiwan dan sekitarnya. Bahan pembuatnya adalah Neodymium Alloy, Iron, dan Boron membentuk dengan Rumus Kimia  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  Tetragonal Crystalline Structure.



Gambar 2.4 Magnet Ring Neodymium

Type Magnet ini memiliki kekuatan yang sangat kuat sehingga apabila magnet ini digabungkan sudah jelas Anda akan kesulitan melepaskannya. Perlu bantuan alat untuk memisahkan apabila sudah terlanjur nempel satu dengan lainnya.

## III. PERANCANGAN

### 3.1 Menentukan Parameter Generator

Perancangan perhitungan desain dan dimensi part dari generator magnet permanen terlihat bagian dari tampak atas, tampak bawah dan tampak samping dari generator fluks radial. Perancangan generator fluks radial ini meliputi perancangan dimensi keseluruhan baik dimensi dari rotor dan stator.

#### 3.1.1 Menghitung Jumlah Kutub (P)

Dalam perancangan generator fluks radial, perlu adanya menghitung jumlah kutub dan beberapa parameter lainnya yang dibutuhkan. Pada perhitungan awal ini akan menghitung jumlah kutub yang dibutuhkan generator fluks radial dengan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui, } & f = 50 \text{ Hz} \\ & n = 750 \text{ rpm} \\ \text{Jadi, } & P = \frac{120f}{n} \\ & P = \frac{120 \times 50}{750} \\ & = 8 \text{ kutub} \end{aligned}$$

Generator yang dirancang memiliki kecepatan (n) : 750 rpm dan frekuensi (f) : 50 Hz, nilai tersebut disubstitusikan ke persamaan diatas, maka jumlah kutub yang dibutuhkan 8 kutub.

#### 3.1.2 Menghitung Jumlah Kumparan (Ns)

$$\begin{aligned} N_s &= p \frac{N_p h}{2} \\ N_s &= 8 \frac{3}{2} \\ &= 12 \text{ kumparan} \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan diatas. Diperoleh jumlah kutub (P) : 12 kumparan.

#### 3.1.3 Menghitung Medan Magnet Maksimum ( $B_{max}$ )

$$\begin{aligned} \text{Diketahui, } B_r &= 3,75 \text{ tesla} \\ l_m &= 3 \text{ mm} \\ \delta &= 1 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi, } B_{max} &= B_r \frac{l_m}{l_m + \delta} \\ B_{max} &= 3,75 \frac{0,003}{0,003 + 0,001} \\ B_{max} &= 2,8 \text{ Tesla} \end{aligned}$$

Tinggi magnet yang digunakan pada perancangan generator fluks radial ini ( $B_r$ ) : 3,75 Tesla dan tinggi magnet 0,3 mm dan celah udara 0,3 mm. sehingga dapat dihitung medan magnet maksimal adalah 2,8 Tesla.

### 3.1.4 Menghitung Luas Medan Magnet ( $A_{magnet}$ )

Diketahui,  $r_o = 29,5$  mm  
 $r_i = 26,5$  mm  
 $\tau f = 3$  mm  
 $N_m = 8$

$$A_{magnet} = \frac{\pi(r_o^2 - r_i^2) - (\tau f(r_o - r_i)N_m)}{8}$$

$$A_{magnet} = \frac{\pi(0,0295^2 - 0,0265^2) - (0,003(0,0295 - 0,0265)8)}{8}$$

$$A_{magnet} = 0,06 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan menghitung luas medan magnet diatas dapat diketahui luas magnet  $0,06 \text{ mm}^2$

### 3.1.5 Menghitung Nilai Fluks Maksimal ( $\Phi_{max}$ )

Berikut ini, akan menghitung nilai fluks maksimum yang mana nilai tersebut dipengaruhi luas medan magnet ( $A_{max}$ ) dan medan magnet maksimum ( $B_{max}$ ) dengan persamaan senagai berikut.

$$\Phi_{MAX} = A_{MAX} \times B_{MAX}$$

$$\Phi_{MAX} = 0,06 \text{ mm}^2 \times 2,8 \text{ tesla}$$

$$\Phi_{MAX} = 0,000169$$

Nilai luas magnet dapat diperoleh dari persamaan menghitung luas medan magnet, sedangkan medan magnet maksimum berdasarkan persamaan. Sehingga dapat disibtitusikan ke persamaan 5 dan dapat menghitung nilai fluks maksimum.

### 3.1.6 Menghitung Jumlah Lilitan ( $N$ )

Menghitung jumlah lilitan ini, merupakan salah satu hal yang terpenting dalam perancangan generator fluks radial yang mana jumlah lilitan dipengaruhi beberapa parameter kutub, jumlah fasa ( $N_{ph}$ ),  $V_{out}$  ( $E_a$ ), frekuensi ( $f$ ) dan kuat medan magnet ( $\Phi_{max}$ ). Dimana diketahui  $E_a$  : 15Vac,  $f$  : 50 Hz,  $N_{ph}$  : 3 fasa,  $Q_{max}$  : 0.000169 tesla. Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung jumlah lilitan sebagai berikut.

Diketahui,  $E_A = 15$  Volt  
 $N_{ph} = 3$  fasa  
 $f = 50$  Hz

$$\Phi_{max} = 0,000169 \text{ Wb}$$

$$\text{Jadi, } N = \frac{E_A \cdot N_s}{4.44 \cdot f \cdot \Phi_{max} \cdot N_{ph}}$$

$$N = \frac{15 \times 12}{4.44 \times 50 \times 0,000169 \times 3}$$

$$N = 100 \text{ lilit}$$

Dari persamaan tegangan induksi ( $E_A$ ) menjadi persamaan jumlah lilitan ( $N$ ) sehingga dapat disubstitusi  $E_A$  : 15 V,  $N_{ph}$  : 3,  $f$  : 50 Hz dan  $\Phi_{max}$  :  $0,169 \cdot 10^{-3}$  Wb, sehingga setelah dihitung, jumlah lilitan ( $N$ ) adalah 100 lilit.

## 3.2 Perancangan Mekanik

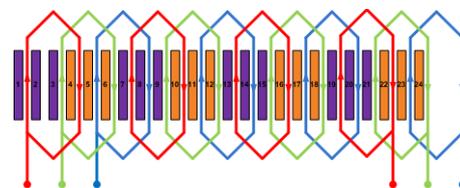
Berikut ini akan ditampilkan perancangan generator dari bagian stator, rotor dan bentuk keseluruhan dari mini generator. Dalam perancangan mekanik ini dibagi menjadi 2 bagian yaitu perancangan mekanik rotor dan perancangan mekanik stator.

### 3.2.1 Perancangan Stator

Berdasarkan perhitungan beberapa persamaan diatas sehingga dapat disimpulkan beberapa data spesifikasi generator yang dirancang sebagai berikut :

Frekuensi ( $f$ )	: 50 Hz
Kecepatan ( $n$ )	: 750 rpm
Jumlah kutub ( $p$ )	: 8 kutub
Jumlah kumparan ( $N_s$ )	: 12
Jumlah lilitan ( $N$ )	: 100 lilitan
Medan magnet ( $B_{max}$ )	: 2,8 tesla
Luas medan magnet ( $A_{max}$ )	: $0,06 \text{ mm}^2$
Nilai fluks maksimum ( $\Phi_{max}$ )	: $0,169 \cdot 10^{-3}$ Wb

Stator yang digunakan dari mesin pompa air dengan jumlah 24 slot, dalam perancangan lilitan pada yang stator yang digunakan menggunakan diameter kawat 0.3mm dengan jumlah 100 lilitan. Yang mana lilitan tersebut dililit dengan lilitan gelombang dengan jumlah kumparan sebanyak 12 kumparan terbagi 3 fasa. Adapun gambar lilitan gelombang tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 3.1 lilitan gelombang

Berdasarkan gambar perancangan lilitan dapat dililit pada stator yang telah tersedia yang mana lilitan tiga fasa R,S dan T. Hasil lilitan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.2 Lilitan Gelombang



Gambar 3.3 Output generator fasa R,S dan T

Gambar diatas menunjukkan keluaran 3 fasa yang dapat dihubungkan delta atau wye sesuai kebutuhan.

### 3.2.2 Perancangan Rotor

Pada perancangan rotor ini menggunakan rotor mesin pompa air dengan diameter 59 mm dengan panjang 205 mm. Supaya rotor yang dirancang dapat menghasilkan 8 buah kutub dengan magnet neodymium, maka rotor tersebut di bubut supaya dapat dimasukkan magnet permanen. Gambar berikut menunjukkan rotor yang telah dibubut dan dimasukkan magnet permanen neodymium.



Gambar 3.4 Rotor yang telah masukkan magnet

Perancangan rotor generator fluks radial ini menggunakan magnet neodymium permanen dengan spesifikasi diameter 20 mm tebal 3 mm.

## IV. PENGUJIAN

Setelah perancangan dilakukan selanjutnya dapat dilakukan pengujian pada generator fluks radial tersebut. Adapun pengujian generator fluks radial tiga fasa kecepatan rendah dengan magnet permanen yang dapat dilakukan sebagai berikut :

### 4.1 Pengujian Beban Nol

Pengujian generator fluks radial tanpa beban dilakukan untuk mengetahui besar tegangan keluaran generator pada saat tanpa beban. Rangkaian pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.1. Pengujian generator fluks radial tanpa beban dilakukan untuk mendapatkan tegangan pada putaran yang telah diatur dari motor dc shunt.



Gambar 4.1 Pengujian Beban Nol

Langkah langkah pengujian yaitu:

- Generator diputar pada kecepatan nominal (n). Putaran yang diatur dimulai dari 400, 600, 750, 1000, 1200. Pengujian dilakukan untuk ukuran tegangan keluaran terhadap perubahan kecepatan nominal
- Tidak ada beban yang terhubung pada terminal generator.
- Catat nilai tegangan terminal generator.

Berdasarkan pengujian generator fluks radial beban nol, dapat dilihat pada tabel dibawah ini,

Tabel 4.1 Pengujian Beban Nol

Kecepatan Nominal	Fasa R (Vac)	Fasa S (Vac)	Fasa T (Vac)
400	6,2	6,3	6,3
600	7,4	7,4	7,5
750	10,1	10,2	10,3
1000	12,3	12,9	13,1
1200	15,8	15,8	16,0

Berdasarkan tabel diatas bahwa kecepatan nominal berbanding lurus dengan tegangan fasa R, S, dan T yaitu semakin tinggi kecepatan nominal maka semakin besar tegangan fasa. Hal tersebut sebanding dengan persamaan  $E_A = 4,44 \cdot N \cdot f \cdot \Phi_{max} \frac{Ns}{Nph}$ , dimana frekuensi generator di pengaruhi kecepatan nominal yaitu semakin tinggi kecepatan maka semakin tinggi juga frekuensi yang dihasilkan.

## 4.2 Pengujian berbeban

Pengujian dilakukan untuk mengetahui besar tegangan dan arus keluaran generator pada saat kondisi berbeban. Pengujian generator fluks radial satu fasa berbeban dilakukan dengan menambahkan beban pada tegangan keluaran generator yang menggunakan stator dengan ukuran diameter 0,3mm. Pengujian dilakukan dengan variasi putaran generator dimulai pada 750 rpm sampai 1200 rpm. Beban yang digunakan pada pengujian yaitu beban resistansi 508Ω, 568Ω dan 661Ω.



Gambar 4. 2 Pengujian Berbeban

Adapun hasil pengujian berbeban dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.2 Tegangan Pengujian Berbeban kecepatan Nominal 1200 rpm

Beban bervariasi (Ω)	Fasa R (Vac)	Fasa S (Vac)	Fasa T (Vac)
508	14,9	14,9	15,0
568	14,8	14,8	14,9
661	14,7	14,7	15,8

Tabel 4.3 Tegangan Pengujian Berbeban kecepatan Nominal 1000 rpm

Beban (Ω)	Fasa R (Vac)	Fasa S (Vac)	Fasa T (Vac)
508	12,3	12,3	12,3
568	12,2	12,3	12,2
661	12,0	12,2	12,1

Tabel 4.4 Tegangan Pengujian Berbeban kecepatan Nominal 750 rpm

Beban (Ω)	Fasa R (Vac)	Fasa S (Vac)	Fasa T (Vac)
508	9,0	9,1	9,2
568	8,9	8,9	9,1
661	8,7	8,9	9,1

Tabel diatas menunjukkan bahwa beban rata-rata berbanding terbalik dengan tegangan fasa R, S, dan T yaitu semakin besar beban pada terminal tegangan maka semakin kecil tegangan

pada fasa. Hal ini di pengaruhi karena adanya kenaikan beban.

Berikut hasil pengujian berbeban dengan melihat perbandingan arus yang mengalir kebeban, dapat lihatpada tabel dibawah ini :

Tabel 4.5 Arus Pengujian Berbeban Kecepatan Nominal 1200 rpm

Beban bervariasi (Ω)	Fasa R (mA)	Fasa S (mA)	Fasa T (mA)
508	27,3	27,3	27,3
568	23,4	23,5	23,4
661	19,6	19,5	19,5

Tabel 4.6 Arus Pengujian Berbeban Kecepatan Nominal 1000 rpm

Beban bervariasi (Ω)	Fasa R (mA)	Fasa S (mA)	Fasa T (mA)
508	31,9	31,8	31,8
568	27,7	27,7	27,8
661	23,4	23,5	23,4

Tabel 4.7 Arus Pengujian Berbeban Kecepatan Nominal 750 rpm

Beban bervariasi (Ω)	Fasa R (mA)	Fasa S (mA)	Fasa T (mA)
508	19,3	19,2	19,2
568	16,4	16,4	16,4
661	13,7	13,7	13,7

Tabel diatas menunjukkan bahwa beban rata-rata berbanding terbalik dengan tegangan fasa R, S, dan T yaitu semakin kecil beban pada terminal tegangan maka semakin kecil tegangan pada fasa. Hal ini di pengaruhi karena adanya kenaikan beban.

## 4.3 Pengujian tahanan jangkar (Ra)

Pengujian tahanan jangkar (Ra) dilakukan dengan memberikan tegangan dc ke kumparan jangkar generator ketika mesin dalam keadaan diam lalu diukur arus yang mengalir pada kumparan jangkar.

Berikut hasil pengukuran tahanan jangkar, sebagai berikut :

Tabel 4.8 Pengujian tahanan jangkar

Tahanan Jangkar (Ω)		
Fasa R	Fasa S	Fasa T
10,6	10,6	10,6

Pada pengujian tahanan jangkar dapat mengetahui tahanan jangkar tanpa melakukan pengukur secara langsung.

#### 4.4 Pengujian Hubungan wye

Pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan Fasa R, S dan T dengan hubungan wye. Tegangan yang diukur yaitu Fasa RS, fasa ST, dan fasa TR menggunakan volmeter digital. Adapun hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4.9 Pengujian Hubungan wye**

Kecepatan Nominal	Fasa RS (Vac)	Fasa ST (Vac)	Fasa TR (Vac)
600	10,6	10,8	10,7
750	15,3	15,1	15,2
1000	20,7	20,6	20,5
1200	24,0	25,6	25,4

Berdasarkan pengujian hubungan wye bahwa perubahan tegangan dipengaruhi kecepatan nominal yang mana semakin besar kecepatan nominal maka semakin besar tegangan Line to line.

#### 4.5 Pengujian Hubungan Delta

Pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan Fasa R, S dan T dengan hubungan delta. Tegangan yang diukur yaitu Fasa RS, fasa ST, dan fasa TR menggunakan volmeter digital. Adapun hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4.10 Pengujian Hubungan Delta**

Kecepatan Nominal (RPM)	Fasa R (Vac)	Fasa S (Vac)	Fasa T (Vac)
600	7,4	7,4	7,5
750	9,2	9,2	9,3
1000	12,3	12,9	12,6
1200	14,2	14,2	14,2

Berdasarkan pengujian hubungan delta bahwa perubahan tegangan dipengaruhi kecepatan nominal yang mana semakin besar kecepatan nominal maka semakin besar tegangan Line to line. Pada pengujian hubungan wye lebih besar tegangannya dari hubungan delta.

#### 4.6 Pengujian hubung singkat

Pada pengujian mula-mula arus medan dibuat menjadi nol dan terminal jangkar dihubung singkat melalui amperemeter. Lalu arus jangkar diperbesar dengan menaikkan arus medan secara

bertahap hingga tercapai nilai arus jangkar maksimum yang masih aman sekitar 125% - 150 %.

Berikut hasil pengujian hubungan singkat, sebagai berikut :

**Tabel 4.11 Pengujian hubungan singkat**

Arus Generator		
Fasa R 48 mA	Fasa S 48 mA	Fasa T 48 mA

Berdasarkan pengujian hubungan singkat ini dapat kita ketahui arus nominal saat terjadi hubungan singkat sehingga dapat memasang pengaman arus pada generator fluks radial tersebut. Selain itu kita dapat mengetahui spesifikasi generator dengan arus maksimal yaitu 48 mA

#### 4.7 Regulasi Tegangan

Regulasi tegangan merupakan persentase perubahan tegangan terminal generator dari kondisi beban nol menjadi kondisi beban penuh. Regulasi tegangan dapat dihitung dengan Persamaan berikut :

$$VR = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\%$$

Dimana :

VNL = Tegangan tanpa beban

VFL = Tegangan bebaban

Menghitung regulasi tegangan ini, mengambil data dari pengujian beban nol dan pengujian berbeban pada beban 661Ω dengan kecepatan nominal 750 rpm. Adapun hasil perhitungan regulasi tegangan dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 4.12 Regulasi Tegangan**

Fasa	Tegangan berbeban (Vac)	Tegangan tanpa beban (Vac)	Regulasi Tegangan (%)
R	8,7	10,1	16,1
S	8,9	10,2	16,8
T	9,1	10,3	13,2

Berdasarkan tabel diatas bahwa regulasi tegangan pada beban 661Ω dengan kecepatan nominal 750rpm pada fasa R sebesar 16,1%, fasa S sebesar 16,8% dan fasa T sebesar 13,2%.

## V. PENUTUP

Pada Bab V Penutup ini, berdasarkan perancangan dan pengujian generator fluks radial dapat dibuat kesimpulan dan saran. Adapun kesimpulan dan saran sebagai berikut :

### 5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan sebagai berikut :

- a. Kecepatan nominal pada generator fluks radial berbanding lurus terhadap tegangan fasa R, S, dan T yang mana pada kecepatan nominal 750 rpm sehingga menghasilkan tegangan fasa S : 10,1 Vac, tegangan fasa R : 10,2 Vac dan tegangan fasa T : 10,3 Vac.
- b. Setiap perubahan beban generator fluks radial dapat mempengaruhi tegangan dan arus yang semakin besar beban maka semakin kecil tegangan sedang arus semakin besar.
- c. Pada pengujian berbeban dan pengujian tanpa beban terjadi penurunan tegangan akibat beban tersebut, yang mana regulasi tegangannya pada fasa R sebesar 16,1%, fasa S sebesar 16,8% dan fasa T sebesar 13,2%.

### 5.2 Saran

Adapun saran dari laporan generator fluks radial, sebagai berikut :

- a. Menggunakan magnet neodinium yang lebih tebal supaya medan magnet semakin besar.
- b. Menggunakan kawat email yang diameter bervariasi supaya dapat melihat diameter mana yang terbaik.

## DAFTAR PUSTAKA

Atmojo, P.A. 2011. *Analisis Unjuk Kerja Rancang Bangun Generator Axial Cakram Tunggal sebagai Pembangkit Listrik Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Sarvonius*, Skripsi, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Indonesia, Depok.

Putra S. *Perancangan Elementer Generator Axial Tipe Rotor Ganda*, Skripsi, Program Studi Teknik Elektro, UMRAH, Depok.

Putra A.E. 2014. *Perancangan dan Pembuatan generator Fluks Radial Satu Fasa Menggunakan Lilitan Kawat Sepeda Motor dengan Variasi*