

**PRIME RESEARCH GRANT**

**LAPORAN AKHIR PENELITIAN**



**PROTOTIPE GENERATOR 1 FASA PUTARAN RENDAH  
DENGAN RADIAL ROTOR PERMANEN MAGNET**

**Oleh :**

**Ketua Pelaksana:**

Anwar Mujadin, S.T., MT. (12.01.3.1.0213)

**Anggota Pelaksana:**

Dr. Ir. Ahmad Husin Lubis M.Sc. (9903005073)

Musawir Muhammad Isa (0103518010)

Ahmad Idris (0103517002)

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

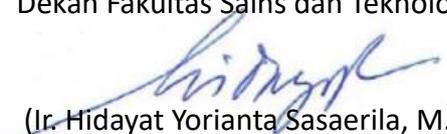
**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**NOVEMBER 2021**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**LAPORAN AKHIR PRIME RESEARCH GRANT**

1. Judul Pengabdian Masyarakat : Prototipe Generator 1 Fasa Putaran Rendah Dengan Radial Rotor Permanen Magnet.  
Bidang Ilmu : Teknik Elektro (Mekatronika)
2. Ketua Pelaksana
  - a. Nama lengkap dan gelar : Anwar Mujadin, S.T., M.T.
  - b. Jenis kelamin : Laki-laki
  - c. Golongan/pangkat/NIDN/NIDK/NIP : IIC/Pengatur Muda/12.01.3.1.0213
  - d. Jabatan Fungsional : Lektor
  - e. Jabatan Struktural : Ka.Lab Teknik Elektro
  - f. Fakultas / Program Studi : FST/Teknik Elektro
3. Jumlah Anggota Pelaksana
  - a. Nama Dosen : Dr. Ir. Ahmad Husin Lubis, M.Sc.
  - b. Jumlah Mahasiswa : 2
  - c. Jumlah Staf : -
  - d. Jumlah Alumni : -
4. Lokasi Penelitian : Lab. Dasar Teknik Elektro (R.612A)
5. Kerja sama dengan Institusi/Mitra
  - a. Nama Institusi/Mitra : -
  - b. Alamat : -
  - c. Telp/fax/E-mail : -
6. Lama Penelitian (dimulai dan diakhiri) : April 2021 - Oktober 2021
7. Biaya yang diajukan
  - a. Sumber dari universitas : Rp. 9.000.000,-
  - b. Sumber lain, sebutkan : -
  - c. Jumlah : -

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UAI

  
(Ir. Hidayat Yorianta Sasaerila, M.Sc., Ph.D)

Jakarta, 29 November 2021  
Ketua Pelaksana

  
(Anwar Mujadin S.T., M.T)

Menyetujui,  
Kepala LP2M Universitas Al Azhar Indonesia

( Dr. rer. nat. Yunus Effendi, S.Pd., M.Si., M.Sc.)

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	v
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	2
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Khusus Penelitian.....	2
1.4 Manfaat dan Urgensi penelitian .....	2
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	3
2.1 Permanen Magnet Generator Alternator .....	3
2.1.1 Jenis-jenis PMG .....	3
2.2 AVR Sebagai stabilator .....	6
2.3 Gearbox Motor DC .....	7
2.4 Power Supply dengan Travo Step Down .....	8
2.5 DC-DC Adjustable Step-Down Voltage Regulator Module .....	9
2.6 Formulasi Generator 1 fasa Radial Rotor Permanen Magnet.....	10
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b> .....	14
3.1 Langkah dan Strategi Penelitian.....	14
3.2 Mekanisme Pengumpulan data dan Karakterisasi dan Kalibrasi Prototipe .....	14
<b>BAB 4 HASIL dan PEMBAHASAN</b> .....	16
4.1 Simulasi dengan COMSOL_Multiphysics 5.6.0.280.....	16
4.2 Uji coba Pendahuluan.....	18
4.2.1 Jumlah Kutub dan Kumparan pada Stator.....	18
4.2.2 Jumlah Pole Magnet Permanen dalam Rotor.....	20
4.3 Perhitungan .....	21
4.4 Uji Coba.....	23
4.5 Analisa dan kesimpulan .....	26
<b>BAB 5 KESIMPULAN</b> .....	27
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	28
<b>LAMPIRAN- LAMPIRAN</b> .....	29

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	PMG excited generator [4].....	4
Gambar 2.2	Produk dari single phase 220V low rpm PMG permanent magnet generator alternator [5].....	5
Gambar 2.3	Circuit diagram dari AVR [6].....	6
Gambar 2.4	gearbox Motor DC 400 rpm [7] .....	7
Gambar 2.5	Power supply +5V dengan trafo stepdown. [8].....	8
Gambar 2.6	Arus dan tegangan pada power supply gelombang penuh (4 dioda)dengan ripple filter menggunakan kapasitor. [8].....	8
Gambar 2.7	Modul LM2506 DC-DC adjustable step-down voltage regulator [9]	9
Gambar 2.8	Konstruksi sederhana ultra capacitor, sebelum pengisian (kiri) setelah pengisian (kanan) [9].....	10
Gambar 4.1	Distribusi fluk magnetik untuk 24 slot stator.....	16
Gambar 4.2	Tegangan keluaran pada frekuensi 50 Hz dengan kecepatan 500 rpm.....	17
Gambar 4.3	Kerapatan fluk magnetik dan Back EMF saat rotor berotasi dengan gap celah udara .....	17
Gambar 4.4	kegiatan dalam modifikasi motor 1 phase menjadi geberator 1 fasa	18
Gambar 4.5	Jumlah kutub dan hubungan kumparan dalam grup.....	19
Gambar 4.6	Screenshoot kumparan berhasil dililit dalam stator 24 slot.....	19
Gambar 4.7	Konfigurasi susunan magnet neodymiun pada rotor.....	22
Gambar 4.8	Screenshoot radial rotor permanen magnet.....	21
Gambar 4.9	Setup konfigurasi pengukuran arus dan tegangan generator uji.....	23
Gambar 4.10	Bentuk pola tegangan keluaran dari generator .....	24
Gambar 4.11	Hubungan antara rpm dan tegangan keluaran (tanpa beban).....	25
Gambar 4.12	Daya terhadap variasi dan tegangan beban.....	24
Gambar L.1	Foto-foto pembelian bahan habis pakai .....	29
Gambar L.2	Foto foto kegiatan .....	30

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Spesifikasi teknis stator .....	18
Tabel 4.2	Sfsifikasi teknis rotor .....	20
Tabel 4.3	rpm terhadap tegangan keluaran Prototipe generator 1 fasa .....	24
Tabel 4.4	Pengukuran tegangan dan arus listrik untuk menentukan daya.....	25

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran L1	Foto barang habis pakai.....	29
Lampiran L2	Foto foto kegiatan.....	30

## RINGKASAN

Indonesia memiliki angka rasio elektrifikasi perdesaan mencapai 99,48% atau meningkat signifikan 84% dari 2014. Kendati begitu, masih ada 433 desa di Indonesia yang belum teraliri listrik. Secara terperinci, 433 desa tersebut terbagi di daerah Papua terdapat 325 desa, Papua Barat sebanyak 102 desa, Nusa Tenggara Timur sebanyak 5 desa, dan Maluku 1 desa. Menteri Koordinator Bidang Pembangunan Manusia dan Kebudayaan (Menko PMK) telah merekomendasikan pemenuhan kebutuhan listrik dengan memanfaatkan energi alternatif yang disesuaikan dengan ketersediaan kebutuhan anggaran dan karakteristik desa, baik dari sumber daya manusia (SDM), geografis, dan ketersediaan sumber energi. Kementerian atau lembaga terkait termasuk ESDM, PLN, Kemendes PDTT, serta mitra pembangunan swasta juga bersinergi memaksimalkan upaya pemanfaatan energi alternatif listrik yang tepat berdasarkan karakteristik daerah. Pemerintah menegaskan agar PLN ke depan berani mengalihkan pembangkit listriknya tidak hanya mengandalkan batu bara, tetapi juga energi baru terbarukan (EBT) seperti hydro power, bio thermal, ataupun bio massa sebagai alternatif pengembangan listrik.

Dari permasalahan tersebut, menyadari penuntasan masuknya listrik ke berbagai wilayah sangat krusial untuk mengangkat harkat penduduk daerah tersebut. Karena selain dapat mendorong peningkatan kualitas hidup masyarakat, juga sangat diperlukan untuk perkembangan berbagai usaha yang menopang kehidupan.

Pada penelitian ini melalui skema prime research grant UAI 2021, telah dibuatkan sebuah prototipe generator 1 fasa putaran rendah dengan radial rotor permanen magnet sebagai energi baru terbarukan (EBT) untuk menopang pasokan listrik untuk desa yang masih belum teraliri listrik. Penelitian difokuskan pada alih teknologi ilmu bahan generator listrik putaran rendah pada pemilihan kabel email (tembaga), bahan stator, jumlah slot stator, jumlah pole magnet dan dan pemilihan magnet permanen pada rotor. Rangka dari generator dapat dibuat dari motor induksi 0.5 HP.

Generator (propotip) berhasil dibuat dengan spesifikasi teknis 1 fasa, 92.72 VAC/50Hz/100W/500 rpm. Generator memiliki jumlah slot stator 24 dililit dengan kumparan-kumparan seri 6 group utara(U) dan 6 group selatan (S). Memiliki 12 pole magnet radial rotor. Poros rotor memiliki torsi 2,02 N.m/rad dengan daya mekanis sebesar 3601,6 Watt.

Prototipe bisa diproduksi massal (scaleup) dengan harga terjangkau baik oleh masyarakat maupun pihak pemerintah sebagai divais penghasil listrik mandiri. Luaran dari kegiatan ini terdiri dari kekayaan intelektual (KI) dan jurnal penelitian bereputasi.

**Kata Kunci** : Generator Listrik 1 Fasa Putaran Rendah 100W 50Hz 500 RPM

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Indonesia memiliki angka rasio elektrifikasi perdesaan mencapai 99,48% atau meningkat signifikan 84% dari 2014. Kendati begitu, masih ada 433 desa di Indonesia yang belum teraliri listrik. Secara terperinci, 433 desa tersebut terbagi di daerah Papua terdapat 325 desa, Papua Barat sebanyak 102 desa, Nusa Tenggara Timur sebanyak 5 desa, dan Maluku 1 desa. Menteri Koordinator Bidang Pembangunan Manusia dan Kebudayaan (Menko PMK) telah merekomendasikan pemenuhan kebutuhan listrik dengan memanfaatkan energi alternatif yang disesuaikan dengan ketersediaan kebutuhan anggaran dan karakteristik desa, baik dari sumber daya manusia (SDM), geografis, dan ketersediaan sumber energi. Kementerian atau lembaga terkait termasuk ESDM, PLN, Kemendes PDTT, serta mitra pembangunan swasta juga bersinergi memaksimalkan upaya pemanfaatan energi alternatif listrik yang tepat berdasarkan karakteristik daerah [1]. Pemerintah menegaskan agar PLN ke depan berani mengalihkan pembangkit listriknya tidak hanya mengandalkan batu bara, tetapi juga energi baru terbarukan (EBT) seperti *hydro power*, *bio thermal*, ataupun bio massa sebagai alternatif pengembangan listrik [2][3].

Dari permasalahan tersebut, menyadari penuntasan masuknya listrik ke berbagai wilayah sangat krusial untuk mengangkat harkat penduduk daerah tersebut. Karena selain dapat mendorong peningkatan kualitas hidup masyarakat, juga sangat diperlukan untuk perkembangan berbagai usaha yang menopang kehidupan.

Pada penelitian ini melalui skema prime research grant UAI 2021, akan dibuatkan sebuah prototipe generator 1 fasa putaran rendah dengan radial rotor permanen magnet sebagai energi baru terbarukan (EBT) untuk menopang pasokan listrik untuk desa yang masih belum teraliri listrik. Penelitian difokuskan pada alih teknologi ilmu bahan generator listrik putaran rendah pada pemilihan kabel email (tembaga), bahan stator, jumlah pole stator, dan pemilihan magnet permanen pada rotor. Rangka dari generator dapat dibuat dari motor induksi 3 fasa  $\frac{3}{4}$  pk.

Generator 1 fasa putaran rendah dengan radial rotor permanen magnet, saat ini sudah ada dipasaran (buatan China), namun masih dijual dengan harga yang sangat fantastis

(mahal). Diharapkan dengan penelitian ini mampu mengetahui alih teknologi bahan pembuatan generator putaran rendah, sebagai divais penghasil listrik langsung 220VAC/50 Hz.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Saat ini teknis konservasi energi maupun energi terbarukan difokuskan pada skala besar dengan peralatan pendukung yang cukup mahal. Padahal, konservasi energi walaupun skala kecil mampu menopang kehidupan manusia, terutama pada daerah yang belum terjamah aliran listrik. Generator listrik 1 fasa putaran rendah dengan radial rotor permanen magnet belum banyak dijamah sebagai bahan penelitian. Namun generator listrik putaran rendah dengan rotor axial permanen magnet yang dimplementasikan pada pembangkit listrik micro hydro maupun turbin angin, sudah cukup banyak penelitiannya bahkan jurnalnya. Padahal generator listrik putaran rendah dengan radial rotor permanen magnet memberikan performa keluaran daya yang optimal, tanpa memerlukan peralatan pendukung (lebih praktis).

## **1.3. Tujuan khusus Penelitian**

Tujuan penelitian adalah membuat prototip generator 1 fasa putaran rendah dengan radial rotor permanen magnet mampu membangkitkan listrik 220VAC pada putaran rendah  $\pm 300$  putaran per menit (*low rpm*) pada daya keluaran  $\pm 300$ W tanpa melakukan inversi elektronik dari *direct current* (DC) ke *alternating current* (AC). Prototipe dibuat dari merekayasa (*replace*) rangka motor induksi 3 fasa  $\frac{3}{4}$  PK. Prototip mampu menggantikan generator micro hydro dan turbin angin skala kecil.

## **1.4. Manfaat dan urgensi penelitian**

Manfaat hasil penelitian adalah prototip generator listrik 1 fasa putaran rendah mampu dimplementasikan secara luas untuk kebutuhan listrik daerah pedalaman wilayah Indonesia yang belum tersinggung pasokan listrik. Sehingga urgensi penelitian ini menjadi tolok ukur membantu pihak pemerintah akan kelangsungan energi terbarukan yang kontinyu.

## BAB II TINJAUN PUSTAKA

### 2.1 Permanen Magnet Generator Alternator

Permanent magnet generator (PMG) adalah pembangkit listrik dengan Magnet permanen.

PMG memiliki fungsi sebagai pembangkit listrik untuk sistem eksitasi pada sebuah Generator listrik AC 3 fase. PMG terdiri dari [2] :

- a. Rotor. Rotor adalah bagian yang berputar dan merupakan magnet permanen yang berfungsi untuk menghasilkan medan magnet.
- b. Stator. Stator berupa Gulungan yang tidak berputar (tetap). Gulungan PMG Stator akan menerima medan magnet yang berputar yang dihasilkan PMG Rotor. Melalui proses berputarnya medan magnet (PMG Rotor) yang diterima Gulungan PMG Stator, maka pada ujung-ujung gulungan PMG Stator akan menghasilkan listrik.

#### 2.1.1 Jenis-Jenis PMG

PMG terdiri dari 3 jenis yaitu [3] :

- a. PMG-excited generators. Prinsip kerja dari PMG excited generator

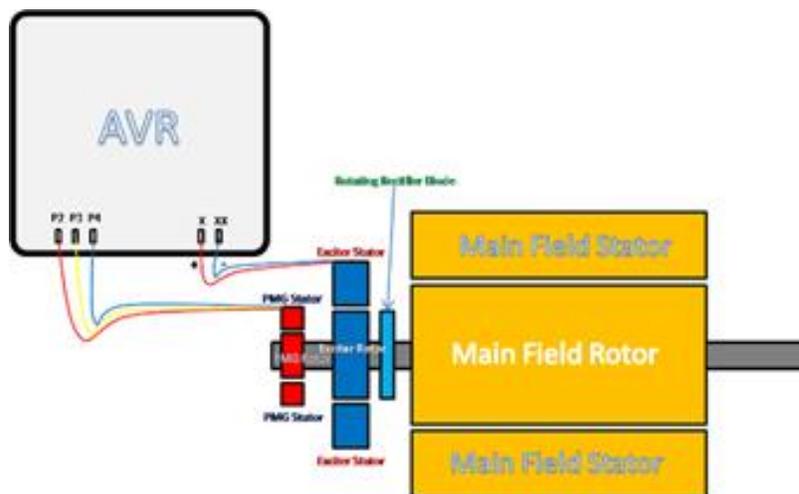
PMG Rotor ikut berputar saat mesin penggerak generator dioperasikan. Medan magnet dari PMG Rotor yang berputar kemudian diterima oleh gulungan pada PMG Stator. Karena medan magnet yang dihasilkan, PMG Rotor memotong penghantar pada gulungan PMG stator, maka akan menghasilkan tegangan listrik pada ujung gulungan PMG stator. Listrik yang dihasilkan PMG Stator adalah Listrik arus bolak-balik (AC) 3 fase dengan besar tegangan berkisar antara 150VAC – 180VAC. Lalu tegangan yang dihasilkan PMG Stator dialirkan ke *automatic voltage regulator* (AVR).

Terminal kabel gulungan PMG stator pada AVR biasanya disimbolkan dengan huruf P2, P3, P4. Tegangan listrik AC dari PMG Stator kemudian diubah atau disearahkan menjadi tegangan listrik DC oleh AVR. Besar tegangan dari PMG Stator yang awalnya 150VAC – 180VAC, kemudian disearahkan dan besar tegangannya juga diturunkan oleh AVR, Tegangannya menjadi berkisar antara 13VDC – 60VDC.

Kemudian tegangan listrik 13VDC- 60VDC tersebut dari AVR dialirkan ke gulungan stator eksiter (Exciter Field Stator). Terminal kabel untuk Tegangan keluaran dari AVR menuju Gulungan stator eksiter ini, pada AVR biasanya disimbolkan dengan huruf X dan XX. Karena Gulungan Eksiter stator diberi tegangan, maka akan menghasilkan medan magnet. Medan magnet ini akan ditangkap oleh gulungan Eksiter rotor (Exciter Rotor), sehingga gulungan Eksiter rotor akan menghasilkan listrik. Listrik yang dihasilkan dari gulungan eksiter rotor berupa tegangan arus bolak-balik atau AC 3 fase, kemudian disearahkan dengan menggunakan diode yang ada pada *rotating rectifier*.

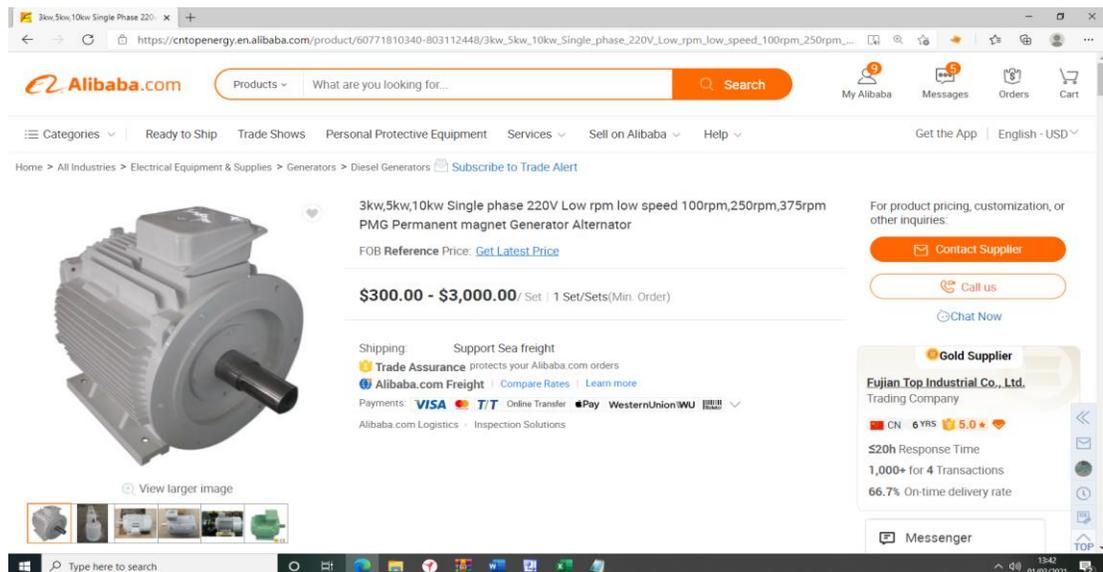
Tegangan DC yang dihasilkan rotating rectifier kemudian dialirkan menuju gulungan utama ada rotor (Main Field Rotor), sehingga Rotor utama pada generator tersebut menghasilkan medan magnet. Medan magnet dari Rotor utama inilah yang ditangkap oleh gulungan utama sator (Main Field Stator), sehingga gulungan utama pada Stator menghasilkan listrik. Listrik yang dihasilkan dari Gulungan Utama pada Stator inilah yang menjadi Tegangan listrik keluaran utama sebuah generator (output Voltage) dan dialirkan menuju jaringan instalasi listrik.

Pada Gambar 2.1 diperlihatkan PMG excited generator [4]



**Gambar 2.1** PMG excited generator [4].

- b. Self excited generator. AVR menerima tegangan keluaran dari gulungan utama generator, dan digunakan sebagai suplai untuk dikirimkan ke gulungan exciter. Selain itu Tegangan yang diterima AVR dari gulungan utama digunakan sebagai Sensing atau Sensor. seberapa besar tegangan yang dihasilkan oleh generator tersebut. Besarnya tegangan yang dikirimkan AVR ke gulungan exciter disesuaikan dengan tegangan keluaran generator yang diterima (sensing) AVR dari Gulungan utama Generator (Output Voltage). Jika tegangan keluaran yang dihasilkan Generator kurang dari tegangan yang diinginkan, maka AVR akan mengirimkan tegangan yang lebih ke gulungan exciter, lalu AVR akan mengurangi suplai tegangan ke gulungan exciter jika tegangan yang disensornya dari gulungan utama Generator sudah mencapai nilai tegangan yang diinginkan. “Semakin tinggi tegangan yang dikirimkan ke gulungan exciter, akan semakin besar tegangan keluaran (output Voltage) dari generator tersebut.
- c. Non excited generator. Generator ini tidak memerlukan exciter. Coil stator akan langsung menerima fluk magnet dari rotor PMG . Tegangan coil dari stator adalah tegangan AC. Generator ini dikenal dengan low rpm speed PMG generator alternator. Pada Gambar 2.2 diperlihatkan produk dari single phase 220V low rpm PMG permanent magnet generator alternator [5]



**Gambar 2.2** Produk dari single phase 220V low rpm PMG permanent magnet generator alternator [5].

## 2.2 AVR Sebagai stabilator

AVR juga berfungsi sebagai pengatur tegangan jatuh (Droop Voltage) pada Generator yang dioperasikan secara paralel. Generator yang dioperasikan secara paralel harus memiliki besar tegangan yang sama antara masing-masing Generator yang diparalelkan tersebut. Namun ada kalanya saat beban yang diterima mengalami lonjakan, atau terjadi beban / Arus yang tiba-tiba naik secara mendadak, akan menyebabkan tegangan dari generator akan jatuh (Droop Voltage). Ketidak seimbangan beban akan menyebabkan Generator yang menanggung beban arus lebih tinggi akan mengalami Over load (Kelebihan beban) dan trip. AVR akan mendeteksi terjadinya tegangan jatuh (Droop Voltage) dan tetap menjaga kondisi tegangan masing – masing Generator tetap stabil, meski mengalami lonjakan arus atau beban yang mendadak. Dalam mendeteksi Droop Voltage, AVR dilengkapi dengan sistem atau alat yang disebut dengan Droop kit (Droop CT). Droop kit terpasang pada kabel keluaran dari gulungan utama generator, untuk sensor beban atau Ampere yang melewati kabel gulungan utama tersebut. Pada Gambar 2.3 diperlihatkan circuit diagram dari AVR [6].



Gambar 2.3 Circuit diagram dari AVR [6].

### 2.3 Gearbox Motor DC

GearBox adalah salah satu komponen atau suatu alat khusus yang diperlukan untuk menyesuaikan daya atau torsi (moment/daya) dari putaran motor. Keluaran dari gearbox ini menghasilkan tenaga yang lebih besar sesuai dengan aplikasi yang dibutuhkan. Tenaga yang besar tadi kemudian dapat disalurkan ke aplikasi lainnya baik berupa perubahan translasi maupun rotasi. Pada penelitian ini Gearbox motor DC digunakan sebagai penggerak rotasi rotor generator yang berputar pada kecepatan 300-400 rpm. Gearbox motor dipilih yang memiliki torsi 6,5kg/cm. Pada Gambar 2.4 diperlihatkan gearbox Motor DC 400 rpm. [7].



**Gambar 2.4** diperlihatkan gearbox Motor DC 400 rpm [7]

Umumnya motor DC berputar dengan kecepatan 10000 rpm. Dengan menggunakan rangkaian gearbox kecepatan putar tersebut dapat diturunkan dengan perbandingan 1:21. Sehingga semula putarannya 10000 rpm melalui gearbox putarannya menjadi  $\pm 400$  rpm. Kecepatan 400rpm tadi dinaikan torsi menjadi 6,5kg/cm. Torsi dengan 6,5kg/cm mampu memutar rotor silindris permanen magnet generator.

Gearbox Motor DC 400RPM (Geared Motor 12VDC 400RPM)

Spesifikasi :

Kecepatan : 400rpm

Tegangan : 12V

Perbandingan gear : 1:21

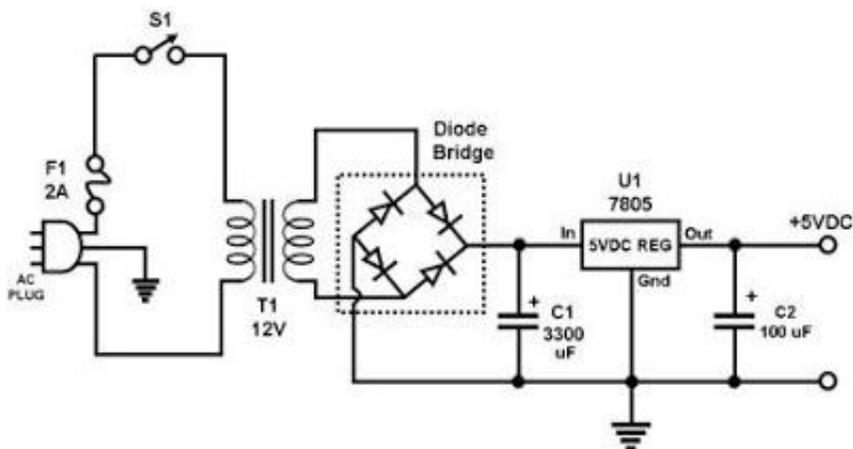
Torsi : 6,5kgcm

Dapat dioperasikan mulai tegangan 3V – 12V

Data terukur saat dioperasikan pada tegangan 12V

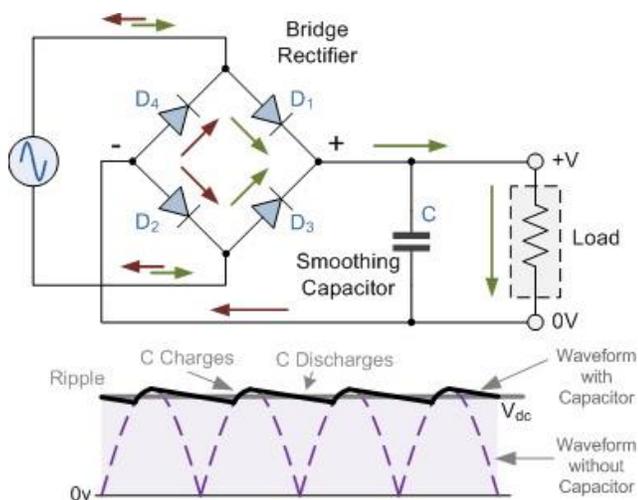
## 2.4 Power Supply dengan Travo Step Down

Power Supply dengan transformator step down adalah power supply yang dibuat dengan menggunakan cara kerja transformator Stepdown atau Trafo penurun tegangan, yakni tegangan dari 220VAC diturunkan menjadi tegangan tertentu, kemudian di ubah menjadi tegangan searah (DC) menggunakan beberapa komponen penyearah seperti diode dan kapasitor. Pada Gambar 2.5 diperlihatkan power supply +5V dengan trafo stepdown.



**Gambar 2.5** Power supply +5V dengan trafo stepdown. [8].

Pada Gambar 2.6 diperlihatkan arus dan tegangan pada power supply gelombang penuh (4 dioda) berikut dengan ripple filter menggunakan kapasitor.



**Gambar 2.6** Arus dan tegangan pada power supply gelombang penuh (4 dioda) dengan ripple filter menggunakan kapasitor. [8]

## 2.5 DC-DC Adjustable Step-Down Voltage Regulator Module

Modul konverter DC-DC kompak ini adalah untuk menurunkan tegangan DC tinggi ke tegangan lebih rendah. Modul ini menggunakan IC buck konverter LM2596, yang bekerja hingga arus hingga 2A (dengan heatsink) dan memiliki efisiensi hingga 92%. Keluaran dari modul ini dapat diatur dari tegangan antara 1.5V-35VDC dengan tegangan masukan kisaran dari 4.5V-40VDC. Cukup dengan memutar trimpot, tegangan keluaran bisa diatur sesuai dengan kebutuhan. Pada Gambar 2.7 diperlihatkan Modul LM2506 DC-DC adjustable step-down voltage regulator [9]



**Gambar 2.7** Modul LM2506 DC-DC adjustable step-down voltage regulator [9]

Spesifikasi teknis dari Modul LM2506 DC-DC adjustable step-down voltage regulator antara lain:

Input Voltage: 4.5-40 VDC

Output Voltage: 1.5-35 VDC

Voltage Differential Required: Output Current: 2A, 3A with external heatsink or cooling

Full load temperature rise: 40°C

Voltage Regulation +/- 0.5%

Dynamic Response Speed: 5% 200µs

Efficiency: up to 92% (at 40VDC input, efficiency reduces as input voltage drops)

Switching Frequency: 150kHz

Non-Isolated, Bucking Step-Down design

Current-Limited / Over-Current Protection

Operating Temperature Range: -40°C ~ +85°C

## 2.6 Formulasi Generator 1 fasa Radial Rotor Permanen Magnet

Rangka (rumah) dan inti stator pada motor induksi fase-tiga ( ) sebagai material bekas dapat dimanfaatkan kembali untuk perolehan tenaga (daya) listrik melalui alternator fase-tunggal [10]. Rangka stator sebagai tempat keberadaan inti stator [12][13]. Inti stator untuk penempatan belitan stator pada proses pembangkitan tegangan listrik pada alternator fase-tunggal maupun fase-tiga [12]. Pemanfaatan kembali rangka dan inti stator bekas berupa tahapan-tahapan pengkondisian ulang terhadap rangka dan inti stator, pembentukan belitan stator, dan pabrikasi struktur rotor bermagnet permanen fluks radial [11]. Rotor merupakan elemen berputar pada alternator [12][13]. Rotor dengan magnet permanen merupakan bagian dari generator yang tersusun secara berselang-seling dengan kutub berbeda-beda dari sejumlah magnet mengikuti bentuk lingkaran [14][15][16][17][18]. Pembentukan belitan stator, dipengaruhi oleh jumlah alur pada stator, luas masing-masing alur, pemilihan luas penampang dan tipe kawat email untuk kumparan, tipe penggulangan kumparan dan penentuan jumlah kutub [12] [19][13]. Penyesuaian terhadap struktur akhir belitan stator merupakan dasar untuk pabrikasi struktur rotor bermagnet permanen fluks radial. Pabrikasi tersebut berupa pembuatan inti rotor untuk perletakan magnet permanen fluks radial dan poros rotor sebagai penghubung ke poros penggerak mula. Keberadaan magnet permanen fluks radial pada inti rotor, didasarkan kepada dimensi dan nilai kerapatan fluks magnet yang tersedia di pasaran, jumlah magnet, dan penyusunannya pada inti rotor [15][17][18]. Sejumlah persamaan diperlukan untuk penghitungan. Jumlah kutub generator arus bolak-balik tergantung kepada kecepatan rotor dan frekuensi dari gaya gerak listrik (ggl) yang dibangkitkan [11][12][19][15][13], hubungan tersebut ditunjukkan seperti persamaan berikut:

$$f = \frac{p.n}{120} \quad (2.1)$$

dengan:

f = frekuensi tegangan, [hertz];

p = jumlah kutub kutub pada rotor

n = kecepatan putar rotor, [rpm, root per minute].

Untuk perhitungan tegangan keluaran alternator, dipengaruhi oleh beberapa tahapan yang harus dihitung terlebih dahulu, yaitu kerapatan fluks magnet maksimum, area luas magnet, dan fluks maksimum yang dihasilkan. Kerapatan fluks magnet maksimum [14] dihitung dengan persamaan:

$$B_{Max} = B_r \frac{h_m}{h_m + \delta} \quad (2.2)$$

Dimana:

$B_{max}$  = kerapatan fluks magnet maksimum, (Tesla)

$B_r$  = kerapatan fluks magnet (Tesla)

$H_m$  = tinggi magnet (m)

$\delta$  = celah udara (m)

Keliling rotor dihitung dengan persamaan :

$$K_r = \Pi \cdot d_r \quad (2.3)$$

dimana  $K_r$  = keliling rotor (m); dan  $d_r$  = diameter rotor (m)

Keliling rotor tidak termagneti dihitung dengan persamaan [14]:

$$K_{r0} = df \cdot N_{df} \quad (2.4)$$

Dimana:

$K_{r0}$  = keliling rotor tidak termagneti (m)

$df$  = jarak antar magnet (m)

$N_{df}$  = Jumlah jarak antar magnet

Keliling rotor termagneti dapat dihitung dengan persamaan [14].

$$K_{r1} = K - K_{r0} \quad (2.5)$$

Dimana :

$K_{r1}$  = keliling motor tidak termagnetasi

Persentase keliling rotor termagneti dihitung dengan [14]:

$$K_{r1} \% = \frac{K_{r1}}{K} \cdot 100\% \quad (2.6)$$

Area (luas) permukaan magnet dihitung dengan persamaan [14]

$$A_m = (i_m \cdot w_m) \cdot 2 \cdot K_{r1} \% \quad (2.7)$$

Dimana  $A_m$  = area luas permukaan magnet ( $m^2$ );  $W_m$  = lebar permukaan magnet (m)

Fluk maksimum yang dihasilkan dihitung dengan persamaan [14]:

$$\theta_m = A_m \cdot B_{mak} \quad (2.8)$$

dimana  $\theta_m$  = fluks maksimum (weber).

Tegangan keluaran alternator terdiri atas sejumlah tegangan per grup kumparan yang dihubungkan secara seri. Tegangan per grup kumparan dihitung dengan persamaan [12][19][13]:

$$E_{group\_kumparan} = 4,44 \cdot N \cdot f \cdot \theta_{mak} \cdot \frac{N_k}{N_f} \quad (2.9)$$

Dimana :

$E_{group\_kumparan}$  = tegangan per grup kumparan (Volt)

$N$  = Jumlah lilitan

$N_k$  = jumlah grup kumparan

$N_f$  = Jumlah fasa

Tegangan keluaran total alternator  $E_{Belitan}$  diperoleh dari tegangan setiap 6 grup kumparan dipasang seri,  $E_{Belitan}$  dihitung dengan persamaan :

$$E_{belitan} = E_{group\_kumparan} \cdot 6 \quad (2.10)$$

Daya alternator teoritis yang dihasilkan [12][19][13]

$$S = V \cdot I \quad (2.11)$$

$S$  = daya (VI);  $V$  = tegangan keluaran (Volt); dan  $I$  = Arus (Ampere)

Penghitungan untuk kecepatan putaran sudut, torsi mekanis, dan daya mekanis didasarkan kepada persamaan (2.1) tentang kecepatan putaran poros rotor. Kecepatan putaran sudut ( $\omega$ ) dihitung [12][19][13] dengan persamaan

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot n}{60} \quad (2.12)$$

$\omega$  = kecepatan sudut poros rotor (rad./det.)

Torsi mekanis merupakan gaya yang digunakan untuk penggerakan sesuatu dengan jarak dan arah tertentu [5]. Hasil kali gaya dan jarak adalah torsi mekanis, maka sebelum ditentukan torsi mekanis harus diketahui terlebih dahulu nilai gaya dihitung dengan persamaan [12][19][13]:

$$F = m \cdot a \quad (2.13)$$

$F$  = gaya (Newton, N);

$m$  = massa (kg)

$a$  = percepatan gravitasi ( $9,81 \text{ m/S}^2$ )

Torsi mekanis lintasan translasi dihitung dengan persamaan [12][19][13]:

$$\tau_{translasi} = F \cdot l \quad (2.14)$$

dimana:

$\tau_{translasi}$  = torsi mekanis lintasan translasi (N.m)

$l$  = jarak lintasan (meter,m)

Konversi lintasan translasi ke bentuk putaran (lintasan rotasi) dilakukan melalui perubahan terhadap nilai satu putaran sama dengan dua  $\pi$  radian atau  $2 \cdot 3,142$  radian, sehingga satu putaran sama dengan 6,284 radian (6,284 rad.), sehingga diperoleh hubungan [12][19][13] :

$$\tau_{\text{translasi}} = 6,284 \cdot \tau_{\text{rotasi}} \quad (2.15)$$

Daya mekanis dihitung dengan persamaan [12][19][13] :

$$P_m = \tau_{\text{rotasi}} \cdot \omega \quad (2.16)$$

Dimana:

$P_m$  = daya mekanis (Watt)

$\tau_{\text{rotasi}}$  = torsi mekanis lintasan rotasi (N.m/rad)

Berdasarkan latar belakang tersebut, diperlukan pembentukan belitan stator sesuai jumlah alur pada inti stator dan luas masing masing alur dan pabrikasi struktur inti rotor beserta rumah magnet untuk peletakan magnet permanen fluks radial. Keberadaan magnet permanen pada rotor generator berfungsi sebagai pengganti kumparan medan rotor, sehingga tidak diperlukan eksitasi tambahan. Saat magnet permanen pada rotor diputar, maka tegangan induksi dalam belitan stator dibangkitkan. Sebuah generator dengan magnet permanen fluks radial merupakan bentuk khas dari kutub generator magnet permanen dalam belitan jangkar yang berputar konstan [16][17][20][21][18].

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

Dalam metodologi penelitian ini akan dibahas mengenai langkah dan strategi menyelesaikan penelitian, yang dibagi dalam beberapa kriteria diantaranya mengenai: pencarian referensi, waktu dan tempat penelitian, mekanisme pengumpulan data karakterisasi, dan yang terakhir ditutup dengan pengujian performa hasil rancang bangun (prototip) seperti dijelaskan berikut:

#### **3.1 Langkah dan strategi penelitian**

Langkah dan strategi penelitian antara lain:

a. Pencarian Referensi

Pencarian referensi diawali dengan studi literatur mengenai fitur produk berikut harga pasar competitor saat ini. Pencarian referensi diakhiri dengan mengumpulkan data yang berhubungan dengan rancang bangun sistem pendukung hardware beserta sistem pendukung mekanikal.

b. Waktu dan tempat penelitian.

Waktu penelitian dilakukan pada jam kerja, diluar aktivitas praktikum mahasiswa selama 8 bulan. Semua kegiatan penelitian dilakukan di Laboratorium Elektro Program Studi Teknik Elektro.

c. Divais generator 1 fasa yang disempurnakan.

#### **3.2 Mekanisme pengumpulan data dan karakterisasi dan Kalibrasi Prototipe**

Pengumpulan data akan dilakukan sepenuhnya melalui hasil eksperimen. Pengambilan data hasil karakterisasi prototipe generator putaran rendah dengan rotor permanen magnet silindris antara lain:

a. Karakterisasi Tegangan EMF pada kutub stator dengan variasi coil terbuat dari bahan alumunium, tembaga dan campuran antara tembaga-alumunium.

b. Karakterisasi stator. struktur belitan terhadap jumlah alur dan luas masing-masing alur. Karakterisasi tipe kumparan (koil) terhadap jumlah kumparan dalam kutub.

c. Rancang bangun struktur rotor Magnet permanen neodmium (NdFeB) silindris terhadap Jumlah, luas, dan kerapatan fluk magnetik untuk menghasilkan Tegangan EMF yang optimal dengan gaya gerak listrik (GGL) yang nominal.

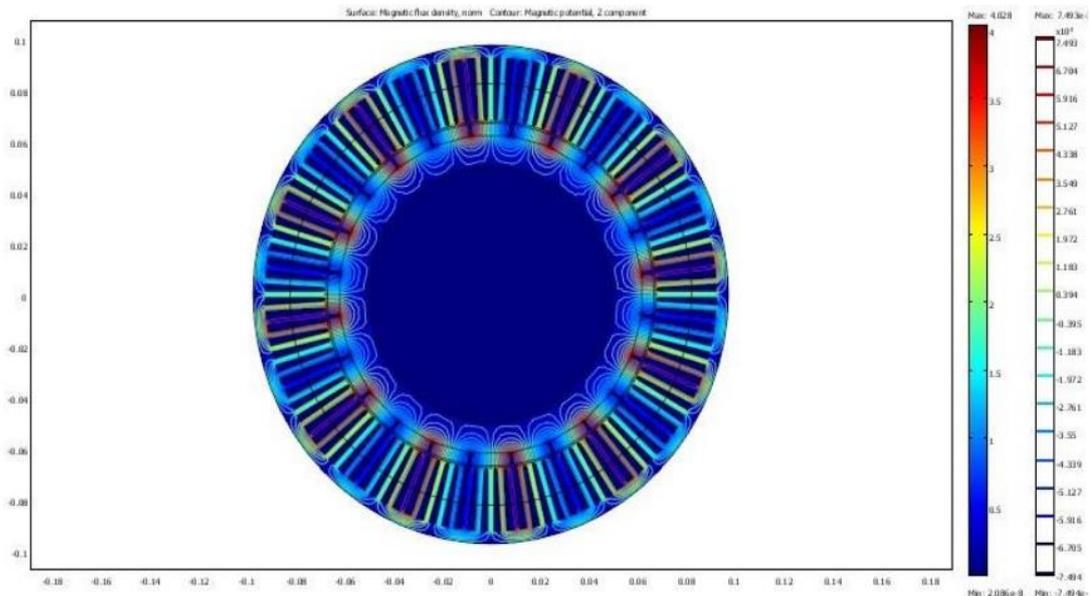
- d. Pengujian performa generator terutama pada kestabilan tegangan keluaran 220V/50Hz dengan variasi beban (antara 10W-300W).
- e. Pengujian rugi-rugi daya dan efisiensi dari generator termasuk dengan pengujian *power factor* dari protototipe generator tersebut.

## BAB 4

### HASIL dan PEMBAHASAN

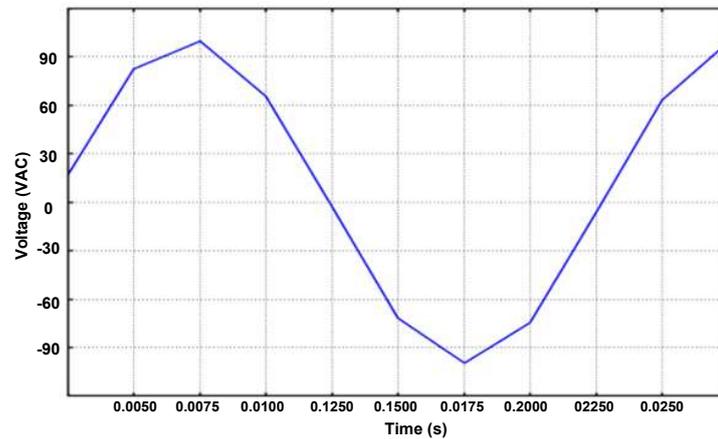
#### 4.1 Simulasi dengan COMSOL\_Multiphysics 5.6.0.280

Peneliti menggunakan pendekatan simulasi untuk melihat pergerakan rotor dengan magnet permanen menghasilkan *electromagnetic field* (EMF) induksi dalam lilitan stator yang telah ditentukan. Tegangan yang dihasilkan dihitung sebagai fungsi dari waktu selama rotasi. Model juga menunjukkan pengaruh tegangan dari parameter material, kecepatan putaran, dan jumlah lilitan pada stator. Bagian tengah rotor terdiri dari baja karbon anil yang memiliki permeabilitas relatif tinggi. Pusatnya dikelilingi oleh beberapa blok permanen magnet kuat NdFeB N52 yang disinter, statornya terbuat dari bahan permeabel yang sama dengan pusat rotor, membatasi medan dalam loop tertutup melalui lilitan di sekitar kutub stator. Pada Gambar 4.1 diperlihatkan distribusi fluk magnetik untuk 24 slot stator.



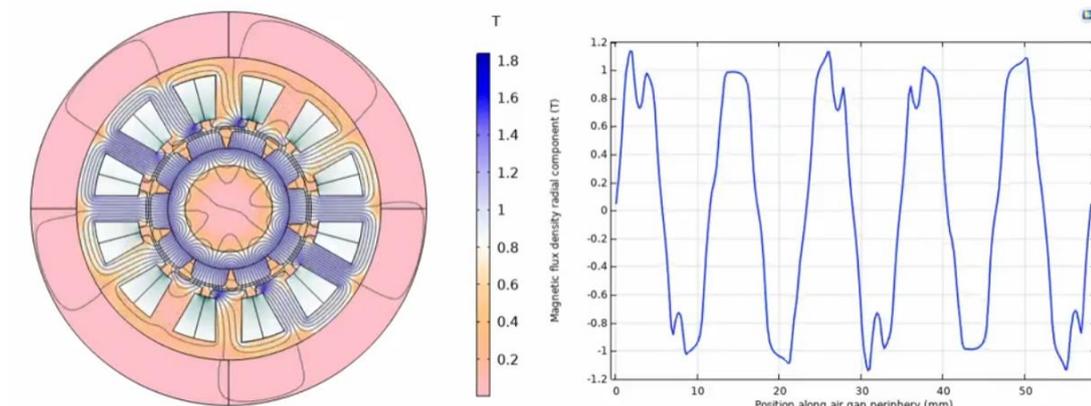
**Gambar 4.1** Distribusi fluk magnetik untuk 24 slot stator.

Pada Gambar 4.2 diperlihatkan grafik simulasi frekuensi keluaran pada rpm 500. Terlihat pada Gambar 4.2 diperlihatkan juga tegangan keluaran maksimum adalah sebesar 92Vp (Voltage peak) dengan frekuensi output 50Hz (periode 50 ms) digambarkan satu jangkah sebesar 0.0025s (2.5 ms).



**Gambar 4.2** Tegangan keluaran pada frekuensi 50 Hz dengan kecepatan 500 rpm

Pada Gambar 4.3 diperlihatkan kerapatan fluk magnetik dan Back EMF saat rotor berotasi dengan gap celah udara.



**Gambar 4.3** Kerapatan fluk magnetik dan Back EMF saat rotor berotasi dengan gap celah udara

Dengan menggunakan plot kerapatan fluks magnet, kita dapat menyelidiki distribusi kerapatan fluks pada inti besi. Pada beberapa bagian geometri, slot stator dapat membentuk *bottleneck*, yang dapat mendorong nilai kerapatan fluks magnet ke daerah saturasi kurva B-H. Di tempat lain, itu cukup lebar untuk menyebabkan daerah dengan intensitas medan magnet yang rendah, dimana didaerah tersebut akan memiliki torsi yang sangat rendah. *Bottleneck* tidak dapat dihilangkan karena daerah tersebut adalah tempat untuk memasukan kumparan dari kawat email. *Bottleneck* dapat dieliminasi dengan pemilihan bahan Bagian selain baja karbon anil yang memiliki permeabilitas relatif tinggi.

## 4.2 Uji coba Pendahuluan

Uji coba pendahuluan dilakukan menggunakan motor 1 fasa AC ½ HP yang akan dimodifikasi menjadi geberator 1 fasa. Pada Gambar 4.4 diperlihatkan kegiatan dalam modifikasi motor 1 phase AC ½ HP menjadi geberator 1 fasa.



**Gambar 4.4** kegiatan dalam modifikasi motor 1 phase menjadi geberator 1 fasa

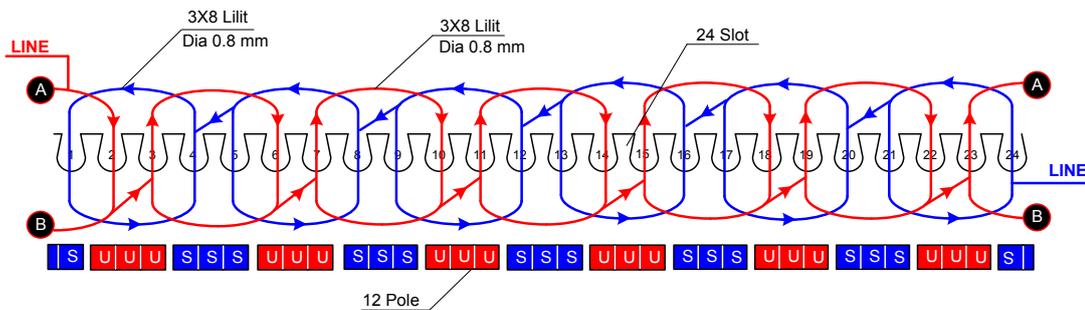
### 4.2.1 Jumlah Kutub dan Kumparan pada Stator

Spesifikasi teknis dari stator diperlihatkan pada Tabel 4.1

**Tabel 4.1** Spesifikasi teknis stator

No	Nama	Ukuran (mm)
1	Jumlah slot	24
2	Kedalaman Stator	42
3	Luas slot	25
4	Lebar besi stator	50
5	Lebar slot tampak belakang	60
6	Lebar slot tampak depan	50
7	Lebar stator dari depan ke belakang	110
9	Panjang slot	150

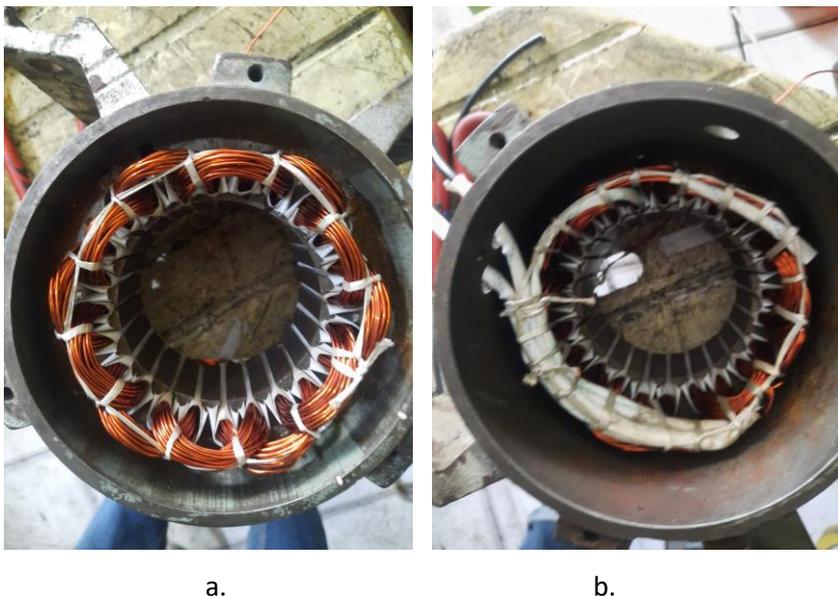
Kumparan tembaga 0.8 mm ditempatkan dalam 24 slot stator dengan konfigurasi 3 buah kawat dililit sekaligus dalam slot. Tiap slot mampu menampung 8 buah lilitan. Jumlah kutub dan hubungan kumparan dalam grup diperlihatkan pada Gambar 4.5.



**Gambar 4.5** Jumlah kutub dan hubungan kumparan dalam grup

Pada Gambar 4.6 terlihat bahwa kawat tembaga dililit dalam slot antara kumparan kutub utara (U) dan kutub selatan (S) dibuat saling berlawanan arah. kumparan stator terbentuk dalam 12 grup kumparan dan masing-masing grup kumparan terdiri atas tiga kumparan yang digulung dalam satu lapis ikatan (*lap winding*), kumparan dibuat seri tersusun secara seri agar diperoleh arus dan daya yang optimal.

Pada Gambar 4.6 diperlihatkan screenshot kumparan yang telah berhasil dililit dalam stator dengan 24 slot.



**Gambar 4.6** Screenshot kumparan berhasil dililit dalam stator 24 slot.

- a. Kumparan sebelum dirapihkan    b. Kumparan setelah dirapihkan

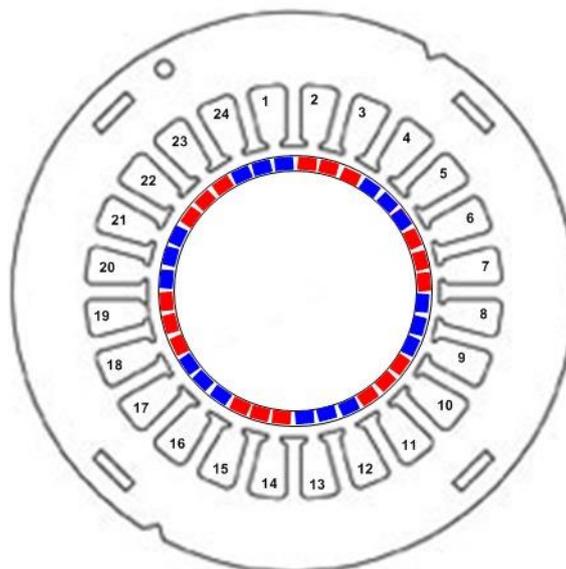
#### 4.2.2 Jumlah Pole Magnet Permanen dalam Rotor

Urutan dalam pengerjaan rotor pertama pengukuran diameter dan panjang aluminium sebagai bahan dasar inti rotor. Kedua pengukuran keliling inti rotor untuk penentuan letak magnet permanen. Ketiga pengukuran diameter dan panjang poros rotor. Spesifikasi teknis dari rotor diperlihatkan pada Tabel 4.2 berikut:

**Tabel 4.2** Spesifikasi teknis rotor

No	Nama	Ukuran
1	Tinggi penampang magnet	40 mm
2	Penampang magnet (rumah magnet)	55 mm
3	Lebar penampang magnet	40 mm
4	Ukuran celah antara rotor dengan stator	5mm
5	Masa Total rotor dengan magnet	1,32 kg

Radial rotor satu fasa dipasang menggunakan permanen magnet dengan konfigurasi satu kutub pole Utara (U) maupun selatan (S) terdiri dari tiga batang magnet neodinium. Magnet dipasang pada rotor secara simetris dan persisi kemudian di lem menggunakan lem khusus tahan panas. Pada Gambar 4.7 diperlihatkan konfigurasi susunan magnet neodinium pada rotor.



**Gambar 4.7** Konfigurasi susunan magnet neodinium pada rotor.

Magnet yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan magnet neodymium berukuran dimensi berturut-turut panjang, lebar dan tinggi 20x5x5x5mm, magnet ini dipilih karena memiliki kerapatan fluk magnetik sebesar 2500 gauss atau setara dengan 250mT, Jumlah kutub (pole) disesuaikan dengan jumlah kutub kumparan yaitu sama sebanyak 12 kutub. Magnet dipasang sedemikian rupa sehingga sehingga pada sudut 180° kutub saling berlawanan. Total kutub adalah 6 buah kutub utara (U) dan 6 buah kutub selatan (S).

Pada Gambar 4.8 diperlihatkan screenshot radial rotor permanen magnet yang telah berhasil dipasang pada rumah aluminium rotor.



**Gambar 4.8** Screenshot radial rotor permanen magnet

### 4.3 Perhitungan

- Menentukan rpm putaran untuk menghasilkan frekuensi jala-jala 1 fasa sebesar 50 Hz maka dari persamaan (2.1) rotor harus diputar pada kecepatan :

$$p = f. (120/12) = 50.10 = 500 \text{ rpm}$$

Sehingga generator harus diputar pada 500 rpm agar menghasilkan frekuensi keluaran sebesar 50 Hz. Frekuensi 50Hz adalah frekuensi jala-jala listrik di Indonesia, frekuensi harus dibuat tepat agar tidak merusak peralatan listrik elektronik yang peka terhadap toleransi frekuensi masukan seperti *switching power supply*.

- Sesuai dengan spesifikasi teknis magnet neodymium jenis N52 memiliki kerapatan fluks magnet  $B_r = 0,52$  Tesla, dengan tinggi magnet  $h_m = 0,005$ m dan celah udara  $\delta = 0,005$ m sehingga kerapatan fluk magnet maksimum dapat dihitung sebagai (2.2) :

$$B_{Max} = B_r \frac{h_m}{h_m + \delta} = 0,52. (0,005)/(0,005+0,005) = 0,26 \text{ Tesla}$$

- Keliling rotong dihitung dari persamaan (2.3) dan Tabel (4.2) dimana nilai  $d = 0,55$  m maka diperoleh  $K = \pi \cdot d = 3,142 \cdot 0,55 = 1,7281$ . Keliling rotor tidak termagneti dihitung dengan persamaan (2.4), dimana jarak antara magnet  $df = 0,003$  m dan jumlah jarak antar magnet  $Ndf = 12$  sehingga diperoleh keliling rotor tidak termagneti  $K_{r0} = df \cdot Ndf = 0,003 \cdot 12 = 0,36$  m.

Keliling rotor termagneti dihitung dengan persamaan (2.5), diperoleh

$$K_1 = K - K_{r0} = 1,7281 - 0,36 = 1,3681 \text{ m.}$$

Persentase keliling rotor termagneti dihitung dengan persamaan (2.6) yaitu

$$K_{r1} \% = \frac{K_{r1}}{K} \cdot 100\% = 1,361/1,7281 \cdot 100\% = 78,8 \%$$

- Area (luas) magnet dihitung dengan persamaan (2.7), dimana nilai  $l_m = 0,04$  m dan lebar permukaan magnet  $W_m = 0,017$  m sehingga diperoleh  $A_m = (i_m \cdot w_m) \cdot 2 \cdot K_{r1} \% = 0,04 \cdot 0,01781 \cdot 2 \cdot K_{r1} \% = 0,04 \cdot 0,01781 \cdot 2 \cdot 0,788 = 0,0112$  m<sup>2</sup>. Fluks magnet maksimum dihitung dengan persamaan (2.8), sehingga diperoleh  $\Theta_m = A_m \cdot B_{mak} = 0,0112 \cdot 0,26 = 0,0029$  weber. Jumlah lilitan  $N = 8.3 = 24$  tiap goup, Tegangan keluaran alternator per grup kumparan dihitung dengan persamaan (2.9),

$$\begin{aligned} \text{diperoleh } E_{group\_kumparan} &= 4,44 \cdot N \cdot f \cdot \Theta_{mak} \cdot \frac{N_k}{N_f} \\ &= 4,44 \cdot 24 \cdot 50 \cdot 0,0029 \cdot (1/1) = 15,45 \text{ Volt.} \end{aligned}$$

maka tegangan keluaran alternator total (6 grup kumparan seri) dapat dihitung dengan persamaan (2.10) diperoleh :

$$E_{belitan} = E_{group\_kumparan} \cdot 6 = 15,45 \cdot 6 = 92,72 \text{ Volt}$$

- Spesifikasi kawat email yang digunakan dengan luas penampang  $\pi (1/2 \cdot 0,8)^2 = 1,005$  mm<sup>2</sup>, diperoleh arus maksimum pada sebesar 0,7 ampere, sehingga daya yang dihasilkan alternator secara teoritis dihitung dengan persamaan (2.11) dan diperoleh daya sebesar  $92,72 \times 0,77 = 71,4$  VA .

Kecepatan sudut dihitung dengan persamaan (2.12), sehingga diperoleh

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot n}{60} = 2 \cdot 2,14 \cdot 50 \cdot 500 / 60 = 1783 \text{ rad/det}$$

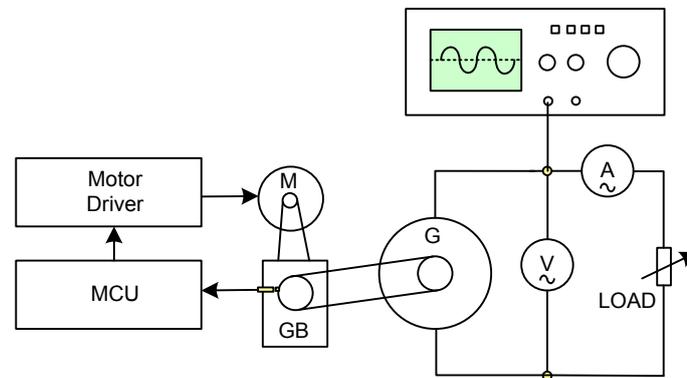
- Gaya dihitung dengan persamaan (2.13) dengan nilai massa total rotor 1,32 kg dan nilai percepatan gravitasi dipilih 9,81 m/s<sup>2</sup>, maka diperoleh nilai gaya =  $1,32 \cdot 9,81 = 11,772$  newton. Torsi mekanis lintasan translasi dihitung dengan persamaan (2.14) dengan diketahui jarak atau panjang lintasan berupa keliling

poros rotor 0,172 m berbentuk rotasi, sehingga digunakan persamaan (2.15) dan diperoleh  $= 11,772 \times 0,07 \times = 2,02 \text{ N.m/rad}$ .

- Daya mekanis dihitung dengan persamaan (2.16),  $P_m = \tau_{\text{rotasi}} \cdot \omega = 2,02 \cdot 1783 = 3601,6 \text{ Watt}$ .

#### 4.4 Uji Coba

Beberapa pengujian dilakukan untuk mendapatkan modifikasi output generator satu fasa 50 Hz. Tes ini adalah pengamatan bentuk keluaran tegangan keluaran generator. Pengamatan dibagi 2 yaitu pengamatan daya (arus dan tegangan) dengan beban dan pengamatan tanpa beban. Pada Gambar 4.9 diperlihatkan beban setup konfigurasi pengukuran arus dan tegangan generator uji.

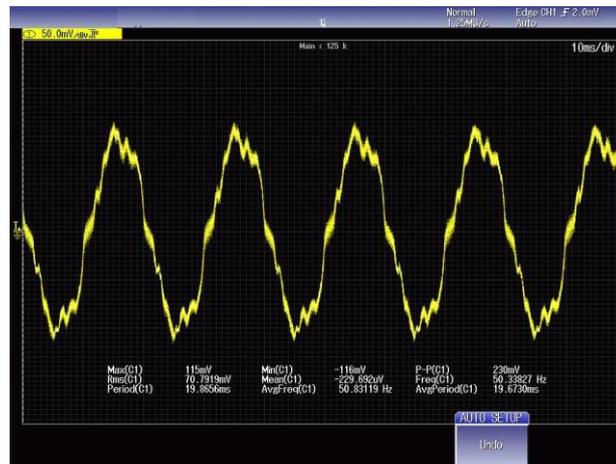


**Gambar 4.9** Setup konfigurasi pengukuran arus dan tegangan generator uji.

Pada Gambar 4.10 terlihat generator (G) diputar menggunakan gearbox (GB) 3:1. Antara GB dan G dihubungkan dengan *belt* dengan torsi 1:1. GB dihubungkan dengan motor DC pada kecepatan 1500 rpm, sehingga G pada kecepatan penuh sebesar 500 rpm. Kecepatan sudut dari G dipantau oleh proximity menuju ke Microcontroller unit (MCU), MCU mampu mengendalikan motor pada variasi kecepatan, sehingga kecepatan G juga bisa divariasikan.

Bentuk pola tegangan keluaran dari generator ditunjukkan pada Gambar 4.10 dan dihasilkan tidak sinusoidal murni. Ini terjadi karena ada riak di puncak gelombang keluaran terminal belitan utama dan belitan bantu. Tegangan riak disebabkan oleh adanya celah (gap) pemasangan permanen magnet dan jarak antara magnet dengan stator terutama yang tidak seragam. Setiap kerapatan masing-masing kumparan kutub juga memiliki celah udara sehingga mempengaruhi fluk medan magnet ke kumparan.

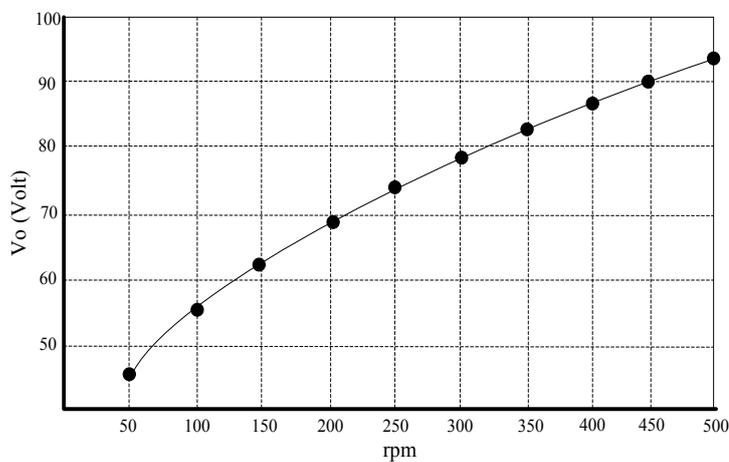
Ripple tegangan ini bisa dieliminasi dengan cara tiap kumparan diikat dan dibeli lak (cat) coil khusus kumparan.



**Gambar 4.10** Bentuk pola tegangan keluaran dari generator

Hasil pengamatan kecepatan (rpm) terhadap keluaran tegangan generator 1 fasa tanpa beban diperlihatkan pada Tabel 4.2. Kemudian digambarkan dalam grafik yang diperlihatkan pada Gambar 4.11.

**Tabel 4.3** rpm terhadap tegangan keluaran Prototipe generator 1 fasa



No	rpm	Tegangan (VAC rms)
1	50	25,5
2	100	57,2
3	150	63,4
4	200	69,8
5	250	74,4
6	300	78,9
7	350	83,6
8	400	87,3
9	450	90,1
10	500	94,2

**Gambar 4.11** Hubungan antara rpm dan tegangan keluaran (tanpa beban)

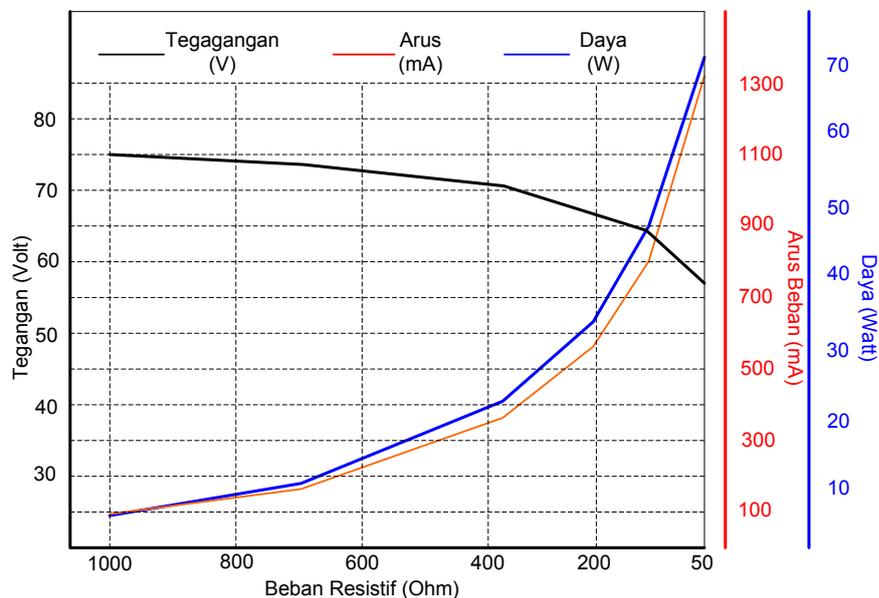
Berdasarkan Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa dengan perubahan variasi kecepatan pengendali generator dari 50 rpm menjadi 500 rpm, tegangan keluaran dari generator 1 fasa berubah pada kisaran 25,5 Volt hingga 94,2 Volt. Kenaikan setiap 50 rpm mengakibatkan perubahan tegangan sebesar rata-rata 7,6 Volt. Bila dilihat secara seksama bahwa tegangan mendekati linier dengan gradien sebesar 0,152.

Berdasarkan formulasi  $E = K \cdot \Phi \cdot n$  dimana  $E$  adalah gaya gerak listrik (e.m.f) dalam Volt,  $K$  adalah konstanta mesin (jenis dan konstruksi mesin),  $\Phi$  adalah fluks dalam weber dan  $n$  adalah kecepatan rotasi (putaran/detik). Sehingga tegangan gaya gerak listrik (V) berbanding lurus dengan  $n$  (rpm).

Pengukuran daya generator 1 fasa terhadap variasi beban dengan rpm awal dibuat 500 rpm diperlihatkan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.4** Pengukuran tegangan dan arus listrik untuk menentukan daya

No.	RL (Ohm)	V (volt)	I (mA)	P (Watt)
1	1000	75,2	102,7	7,72
2	800	73,8	150,4	11,10
3	600	72,1	210,2	15,16
4	400	71,2	350,5	24,96
5	200	67,4	590,2	39,78
6	50	57,3	1302	74,60



**Gambar 4.12** Daya terhadap variasi dan tegangan beban

Beban resistif bekerja berdasarkan prinsip kerja resistor (hambatan), sehingga arus listrik yang melewatinya akan terhambat dan akibatnya alat listrik tersebut menghasilkan panas. Beban resistif tidak mempengaruhi gelombang tegangan dan arus, sehingga posisi gelombang tegangan dan arus tetap sefasa.

Dari gambar 4.12 terlihat bahwa semakin kecil nilai resistansi beban maka semakin besar arus yang melewati beban dan tegangan jepit drop dari semula 94,2 Volt (tanpa beban Tabel 4.2 ) menjadi 57,3 Volt (pada beban 5 Ohm) sehingga perlu pengendalian rpm pada beban berlebih (over load) agar tegangan jepit tetap konstan.

#### 4.5 Analisa dan kesimpulan

Dari hasil uji coba simulasi, uji pendahuluan, perhitungan dan pengukuran dapat ditarik analisa sebagai berikut:

- a. Kerapatan fluk magnetik dalam slot berbanding lurus dengan torsi generator dimana torsi bekerja cukup baik 85 % dari torsi beban penuh (Gambar 4.3).
- b. Hasil simulasi dan perhitungan, untuk membuat generator 1 fasa pada tegangan 220V dan frekuensi 50Hz sulit untuk di realisasi pada reverse engineering dari motor induksi 0.5 HP. Karena Motor 0.5 HP menghasilkan tegangan maksimum efektif rata-rata adalah 60VAC sedangkan jumlah lilitan berbanding lurus dengan tegangan keluaran, maka untuk menaikkan tegangan menjadi 220V, diperlukan sebuah motor induksi untuk di reverse engineering menjadi generator, pada kapasitas 2 HP.
- c. motor induksi akan memiliki rpm konstan walaupun diberikan variasi beban asalkan masih dalam batas spesifikasi teknis pabrikan (beban maksimum). Karena motor induksi terus diberi supply oleh jala-jala listrik, maka kumparan tidak akan kehilangan pluk magnetik dan EMF.

Berbeda dengan generator permanen magnet, selama generator diputar pada rpm konstan maka akan menghasilkan tegangan jepit konstan untuk variasi beban sesuai spesifikasi. Dari hasil percobaan terukur bahwa, rpm akan menurun diikuti dengan tegangan jepit menurun pada beban yang semakin mengecil. ini disebabkan karena nilai resistansi beban berbanding terbalik dengan perubahan arus terhadap waktu dalam kumparan. Semakin kecil besaran beban maka akan semakin besar arus yang melewati beban tersebut, mengakibatkan fluk magnetik dikumparan menjadi besar dan mengakibatkan kekuatan saling tarik antara magnet stator dan rotor yang mengakibatkan rpm generator akan menurun.

- d. Diperlukan sebuah pengendalian elektronik agar kecepatan rpm di generator konstan, Pengendali mampu menyeimbangkan sistem untuk mempertahankan tegangan konstan pada variasi beban. Sistem pengendali loop tertutup dengan penggerak motor dan gearbox dengan metode pengendali fuzzy maupun PID menjadi sebuah pilihan.

## BAB 4

### KESIMPULAN

Dari hasil uji coba simulasi, uji pendahuluan, perhitungan dan pengukuran dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kerapatan fluks magnet pada inti besi bagian geometri, slot stator dapat membentuk *bottleneck*, yang dapat mendorong nilai kerapatan fluks magnet ke daerah saturasi kurva B-H. dimana di daerah tersebut akan memiliki torsi yang sangat rendah. *Bottleneck* tidak dapat dihilangkan karena daerah tersebut adalah tempat untuk memasukan kumparan dari kawat email. *Bottleneck* dapat dieliminasi dengan pemilihan bahan Bagian selain baja karbon anil yang memiliki permeabilitas relatif tinggi. Kerapatan fluks magnetik dalam slot berbanding lurus dengan torsi generator.
- b. Dari hasil perhitungan untuk membangkitkan frekuensi keluaran sebesar 50Hz maka generator harus diputar pada kecepatan 500 rpmn dengan slot stator berjumlah 24 dengan kumparan seri 6 group utara(U) dan 6 group selatan (S). Tegangan keluaran maksimum adalah 92.72V dan sesuai dengan hasil simulasi dengan Comsole. Ditunjukkan pula poros rotor memiliki torsi 2,02 N.m/rad dengan daya mekanis sebesar 3601,6 Watt. artinya motor penggerak untuk menjalankan generator 1 fasa ini harus memiliki torsi dan daya mekanis diatas generator.
- c. Hasil simulasi dan perhitungan, untuk membuat generator 1 fasa pada tegangan 220V dan frekuensi 50Hz sulit untuk direalisasi dari *reverse engineering* motor induksi 0.5 HP. Karena Motor 0.5 HP menghasilkan tegangan maksimum efektif rata-rata adalah 60VAC sedangkan jumlah lilitan berbanding lurus dengan tegangan keluaran, maka untuk menaikkan tegangan menjadi 220V, diperlukan sebuah motor induksi untuk di *reverse engineering* menjadi generator minimal pada kapasitas 2 HP. Keadaan ini disebabkan karena keterbatasan slot untuk menyimpan jumlah lilitan.
- c. Pada generator permanen magnet, selama generator diputar pada rpm konstan maka akan menghasilkan tegangan jepit konstan untuk variasi beban sesuai spesifikasi. Dari hasil percobaan terukur bahwa, rpm akan menurun diikuti dengan tegangan jepit menurun pada beban yang semakin mengecil. ini disebabkan karena nilai resistansi beban berbanding terbalik dengan perubahan arus terhadap waktu dalam kumparan. Semakin kecil besaran beban maka akan semakin besar arus yang

melewati beban tersebut, mengakibatkan medan magnetik dikumparan menjadi besar sehingga membentuk saling tarik antara magnet stator dan rotor yang mengakibatkan rpm generator akan menurun.

Saran, penelitian dapat dilanjutkan dengan penambahan unit pengendalian elektronik agar kecepatan rpm di generator konstan, Pengendali mampu menyeimbangkan sistem untuk mempertahankan tegangan konstan pada variasi beban. Sistem pengendali loop tertutup dengan penggerak motor dan gearbox pada metode pengendalian fuzzy maupun PID menjadi sebuah alternatif pilihan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bisnis.com. Masalah Energi.  
<https://ekonomi.bisnis.com/read/20200406/44/1223112/waduh-masih-ada-433-desa-di-indonesia-belum-teraliri-listrik>. [diakses 15 Feb 2021].
- [2] Suara.com, “Ini Penyebab Ratio Elektrifikasi Indonesia Rendah,” suara.com. [Online]. Available: <https://www.suara.com/bisnis/2016/01/07/121425/ini-penyebab-ratio-elektifikasi-indonesiarendah>. [Accessed: 01-Jan-2021].
- [3] antaranews.com, “Energi bersih jadi fokus peningkatan rasio elektrifikasi nasional,” Antara News. [Online]. Available: <https://www.antaranews.com/berita/666887/energi-bersih-jadi-fokus-peningkatan-rasioelektifikasi-nasional>. [Accessed: 06-Jan-2021].
- [4] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). 2017. Indonesia Energy Outlook 2017. Jakarta: KDT Perpustakaan Nasional RI.
- [5] Dirjen Ketenagalistrikan (DJK). 2017. Buku Statistik Ketenagalistrikan 2017. Jakarta: Kementerian Energi, Sumberdaya dan Mineral (ESDM)
- [6] A.A. Tatevosyan, V.V. Fokina, "The study of the electromagnetic field of the synchronous magnetoelectric generator," International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2016, Proceedings, art. no. 7147255, 21-23 May 2015.
- [7] Erol, Kurt, Halil Gör, Mehmet Demirtas. 2014. “Theoretical and experimental analyses of a single phase permanent magnet generator (PMG) with multiple cores having axial and radial directed fluxes” in Energy Conversion and Management 77 (2014), pp. 163–172
- [8] Atabiq, F., Budiana, B., J, A. F., Syahri, I., & Saputra, I. (2019). Modification Of Two Poles Single Phase Induction Motor As Wind Pico Generator. Jurnal Integrasi Vol.11 No.1, 72
- [9] Muhammad Suprpto, Firda Herlina. (2018). “Perancangan Prototipe Generator Axial Magnet Permanen 3 Phase”, Jurnal Teknik Mesin Uniska, Vol. 03 No. 02 Mei 2018. P-ISSN 2502-4922, e-ISSN 2615-0867.
- [10] O.A. Lysenko, "The research of axel-box 24-pole generators for communications systems of freight railway wagons," Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines, Dynamics, 2016 - Proceedings, art. №. 7819040, 15-17 November 2016.
- [11] Smith, Nigel P.A. 2001. Motor as Generators for Micro-hydro Power (pp. 39-41). Warwickshire: Intermediate Technology Development Group(ITDG).
- [12] Fitzgerald, A.E., Charles Kingsley, Jr., Stephen D. Umans. 2003. Electric Machinery (pp. 2-37). New York: McGraw-Hill.
- [13] Chapman, Stephen J. 2012. Electric Machinery Fundamentals (pp. 4-11). New York: McGraw-Hill.
- [14] Hsu, John S. 1998. Flux Guides for Permanent-Magnet Machines (pp. 1-7). Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory

- [15] Meier, Alexandra von. 2006. *Electric Power Systems: A Conceptual Introduction* (pp. 96-97). New Jersey: Wiley-IEEE Press
- [16] Aleksashkin, Anton, Aki Mikkola. 2008. *Literature Review on Permanent Magnet Generators Design and Dynamic Behavior* (Research Report 77, Department of mechanical Engineering, Faculty of Technology, pp. 20-56), Lappeenranta (Finland): Lappeenranta University of Technology.
- [17] Strous, T.D. 2010. *Design of a Permanent Magnet Radial Flux Concentrated Coil Generator for a Range Extender Application*. MSc. Thesis Report (pp. 12-22), Delft: Delft University of Technology.
- [18] Erol, Kurt, Halil Gör, Mehmet Demirtas. 2014. "Theoretical and experimental analyses of a single phase permanent magnet generator (PMG) with multiple cores having axial and radial directed fluxes" in *Energy Conversion and Management* 77 (2014), pp. 163–172.
- [19] Wildi, Theodore. 2006. *Electrical Machines, Drive, and Power Systems* (pp. 3-36). New Jersey: Prentice Hall.
- [20] Pop, Adrian Augustin, et.al. 2013. *Axial-flux vs. Radial-flux Permanent-Magnet Synchronous Generator for Micro-wind Turbine Application*" in *Proceeding of EPE'13 ECCE Europe*, Lille, France, pp. P.1-P.10



**LAMPIRAN-LAMPIRAN**

## LAMPIRAN 1.

 <p>Motor AC ½ HP</p>	 <p>Kawat Tembaga 1.8</p>	 <p>cairan Insulasi kawat tembaga</p>
 <p>Permanen Magnet 5x5x20 N52 Neodymium Magnet</p>	 <p>Mika film 0,15</p>	 <p>Solder besar 200W</p>
 <p>Lem Epoxy</p>	 <p>Kunci pass 8 model T</p>	 <p>Tracker bearing</p>
 <p>Kunci Inggris</p>	 <p>Jangka Sorong</p>	 <p>Gergaji besi</p>

Gambar L1. Foto-foto pembelian bahan habis pakai

