

# Rancang Bangun Generator Magnet Permanen Fluks Aksial Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hydro Dengan Menggunakan Turbin Ulir Putaran Rendah

Miftakhur Nasrulloh  
NIM.1512228  
e-mail : miftakhurnasrulloh96@gmail.com

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda,MT  
Dosen Pembimbing 1

Ir. Ni Putu Agustini MT  
Dosen Pembimbing II

*Abstrak– Generator sebagai perubahan dari energy mekanik menjadi energy listrik. penggunaan aksial fluks permanen magnet generator satu fasa merupakan generator magnet permanen yang memiliki fluks aksial terhadap sumbu putarsehingga arah fluks searah dengan arah putaran rotor.sebagai penggerak putar generator menggunakan pikohidro atau pembangkit listrik tenaga air skala kecil.secara teknis pikohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air,turbin,generator .magnet permanen di gunakan untuk menghasilkan fluks magnet.perencanaan generator ini di desain dengan menggunakan dua rotor satu stator menghasilkan tegangan yang di rencanakan yaitu pada putaran 600 rpm dengan tegangan yang di hasilkan 20 volt dengan frekwensi 50 hz.turbin yang di rancang ini memiliki 2 buah sudu dan memiliki 6 buah jumlah ulir yang di mana ulirnya maupun sudunya tidak dapat di ubah ubah dan hasil pengukuran menghasilkan tegangan 16,9 volt*

**Kata Kunci :** Generator, Neodymium, pikohidro,Ulir

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Peningkatan jumlah penduduk saat ini menyebabkan kebutuhan energy listrik karena kemudahannya untuk di ubah lagi ke bentuk energy lain.di jawa timur ini cukup kaya dengan potensi energy terbarukan seperti energy air (minihidro,mikrohidro, pikohidro) dengan adanya potensi yang begitu besar dan bermanfaat penyusun tertarik untuk mengembangkan pembangkit listrik tenaga pikohidro,

Energi baru terbarukan merupakan energi alternatif yang harus dikembangkan agar penggunaan sumber energi listrik mulai bergeser kepada sumber yang terbarukan seperti energi angin, energi air, energi matahari maupun energi ombak. Untuk mengkonversi energi alam tersebut menjadi energi listrik dibutuhkan. dan Kebanyakan generator yang beredar dipasaran menggunakan kecepatan putar yang tinggi, diatas 1000 rpm. Sedangkan kebutuhan generator pada skala mikro adalah generator dengan kecepatan putaran rendah.

Generator mampu dimanfaatkan menjadi solusi atas masalah kelistrikan dimana generator

mampu menghasilkan listrik dari magnet permanen. Generator yang cocok untuk solusi ini adalah generator tipe magnet permanen fluks aksial. Generator tipe magnet permanen fluks aksial memiliki desain konstruksi yang sederhana sehingga pembuatannya akan lebih mudah dibandingkan dengan generator tipe lain. <sup>1)</sup>

Pada skripsi ini dilakukan perancangan dan pembuatan generator magnet permanen Neodymium (NdFeb), dengan desain generator berupa generator tipe fluks aksial dengan kecepatan putar 600 rpm menggunakan 10 jumlah kutub magnet permanen Neodymium (NdFeb).

### B. Rumusan Masalah

Sesuai pada latar belakang permasalahan yang akan dikupas pada skripsi ini meliputi sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang bangun generator magnet permanen fluks aksial putaran rendah
2. Bagaimana merancang bangun pembangkit listrik tenaga pikohido dengan menggunakan turbin ulir.

### C. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dan manfaat yang ingin dicapai dalam penulisan skripsi ini adalah :

1. Merancang dan membangun pembangkit listrik tenaga pikohidro dengan menggunakan turbin ulir sebagai penggerak generator

### D. Batasan Masalah.

Agar tidak menyimpang maksud dan tujuan awal dalam penyusunan skripsi ini maka penulis memberi batasan sebagai berikut :

1. Generator yang di gunakan adalah generator AC 1 Fasa dengan magnet permanen.
2. Tidak membahas Turbin air secara detail.
3. Tidak membahas rangkaian control secara detail

## II. METODOLOGI

### A. Teori Dasar

Pada generator terdapat dua bagian penting, yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian yang diam pada generator yang biasa dipakai untuk tempat kumparan

Rotor adalah yang bergerak pada generator di stator,

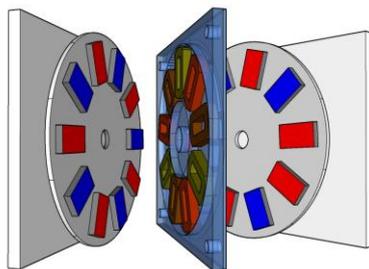
### B. Generator Aksial Fluks Magnet Permanen

Generator fluks aksial adalah suatu fluks aksial yang dapat mengkonversikan energi gerak menjadi energi listrik yang menghasilkan arus bolak – balik yang terdiri dari stator dan rotor dengan memiliki arah aliran fluks yang memotong stator secara aksial. Generator fluks aksial memiliki ukuran yang lebih kecil dari yang biasanya, dan sering dimanfaatkan untuk pembangkit listrik skala rendah.<sup>[2]</sup>

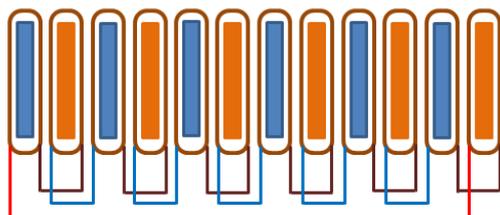
Konstruksi generator aksial terdiri dari 3 bagian utama yaitu rotor(bagian yang bergerak), stator(bagian yang diam) dan celah udara(jarak antara stator dan rotor). Rotor yang memiliki magnet permanen sebagai sumber medan magnet, kumparan stator sebagai tempat terjadinya induksi elektromagnetik, dan celah udara antara rotor dan stator.

- *Prinsip Kerja Generator Aksial*

Prinsip kerja generator aksial hampir sama dengan generator sinkron pada umumnya dimana rotor sebagai penghasil medan magnet yang akan menginduksi kumparan pada stator prinsip dasar generator tegangan bolak balik menggunakan hukum *faraday*.



Gambar 2.1 Generator Axial Rotor Ganda



Gambar 2.2 Rangkaian Kumparan Stator Generator Fluks aksial

Generator dengan magnet permanen yang mana sumber eksitasinya berdasarkan dari magnet permanen pada rotor. Adapun kekurangan dan kelebihan generator magnet permanen sebagai berikut<sup>[2]</sup>:

Kelebihan generator magnet permanen sebagai berikut :

- Desain yang simple (sederhana).
- Umur generator lebih lama (*reliable*).
- Tidak membutuhkan sumber arus listrik *Direct Current* (DC).

Kekurangan generator magnet permanen :

- Tidak efektif jika menggunakan magnet permanen dengan hasil fluks magnet kurang bagus.
- energi daya listrik terbatas sejauh kemampuan magnet dalam membentuk medan magnet, sehingga tidak cocok digunakan untuk skala besar.

#### 1) Kecepatan Putar Generator

Prinsip dasar generator AC menggunakan hubungan antara kecepatan putar rotor dan frekuensi generator dapat. Kecepatan putar kuat medan stator dan frekuensi dari generator yang berbanding terbalik dengan jumlah kutub berdasarkan putaran permenit hal ini dapat di nyatakan dalam persamaan berikut ini<sup>(5)</sup> :

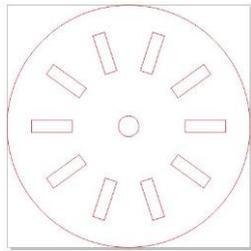
$$n_g = \frac{120 \times f}{p} \text{ (rpm)} \dots\dots\dots(2-1)$$

Keterangan :

- $n_g$  = Putaran generator (rpm)
- $f$  = frekwensi (Hz)
- $p$  = jumlah kutub magnet

#### 2) Rotor Magnet Permanen

Dalam menghasilkan medan magnet di generator magnet yang digunakan untuk menghasilkan fluks magnet adalah magnet *neodymium*. Magnet *neodymium* juga dikenal sebagai NdFeB, yang digunakan adalah magnet batang material *rare-earth*, bertipe *neodymium-iron-boron* merupakan sejenis magnet tanah jarang, terbuat dengan campuran logam *neodymium*. *Tetragonal Nd2Fe14B* memiliki struktur yang sangat tinggi *uniaksial anisotropi magnetocrystalline* (HA ~7 Tesla). Senyawa ini memberikan potensi untuk memiliki koersivitas yang tinggi yaitu ketahanan mengalami kerusakan *magnetic*<sup>[5]</sup>



Gambar 2.3 Desain rotor generator

a) *Densitas Fluks Maksimum*

Nilai kerapatan fluks magnet maksimum adalah :

$$B_{max} = B_r \times \frac{L_m}{L_m + \delta} \text{ (T)} \dots\dots\dots(2-2)$$

Keterangan :

- $B_{max}$  = kerapatan fluks (T)
- $B_r$  = Residual Induction (T)
- $L_m$  = tinggi magnet (m)
- $\delta$  = jarak celah udara (m)

b) *Luasan Medan Magnet*

Perancangannya letak magnet permanen pada rotor generator sebagai berikut ini :

$$A_{magn} = \frac{\pi(ro^2 - ri^2) - \tau f(ro - ri)N_m}{N_m} \text{ (m}^2\text{)} \dots\dots\dots(2-3)$$

Keterangan :

- $A_{magn}$  = luasan magnet (m<sup>2</sup>)
- $\pi$  = phi (3.14 atau 22/7)
- $ri$  = radius dalam magnet (m)
- $ro$  = radius luar magnet (m)
- $\tau f$  = jarak antar magnet (m)
- $N_m$  = jumlah magnet

c) *Fluks Maksimal*

Untuk mencari fluks maksimal dari magnet permanen yang dihasilkan menggunakan persamaan berikut :

$$\Phi_{max} = A_{magn} \times B_{max} \text{ (Wb)} \dots\dots\dots(2-4)$$

Keterangan :

- $\Phi_{max}$  = fluks maksimal (Wb)
- $A_{magn}$  = luasan magnet (m<sup>2</sup>)
- $B_{max}$  = kerapatan fluks (T)

3) *Jumlah Kumputaran Stator*

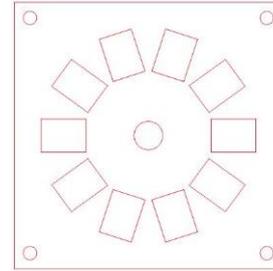
Sedangkan jumlah kumputaran stator ( $N_s$ ) yang dibutuhkan untuk statornya menggunakan persamaan berikut<sup>[2]</sup> :

$$N_s = p \times \frac{N_{ph}}{2} \dots\dots\dots(2-5)$$

Keterangan :

- $N_s$  = jumlah kumputaran stator
- $N_{ph}$  = jumlah fasa

$p$  = jumlah kutub magnet



Gambar 2.4 Desain stator generator

4) *Jumlah Lilitan Stator Tembaga*

Menentukan jumlah lilitan ini, merupakan salah satu hal yang terpenting dalam perancangan generator fluks aksial yang mana nanti jumlah banyaknya lilitan di pengaruhi beberapa parameter.

5) *Tegangan Induksi*

Sedangkan untuk tegangan dari induksi generator pada generator yang di bangkitkan dapat di hitung melalui persamaan<sup>[5]</sup> :

$$E_{rms} = 4.44 \times N \times f \times \Phi_{max} \times \frac{N_s}{N_{ph}} \text{ (Volt)} \dots\dots(2-6)$$

Keterangan :

- $E_{rms}$  = tegangan dari induksi generator (Volt)
- $N$  = jumlah lilitan
- $f$  = frekuensi (Hertz)
- $\Phi_{max}$  = fluks maksimal (Wb)
- $N_s$  = jumlah kumputaran stator
- $N_{ph}$  = jumlah fasa

6) *Daya keluaran Generator*

Sedangkan untuk daya dari generator yang dibangkitkan dapat dihitng melalui persamaan berikut

$$P = V \times I \times \cos \phi \dots\dots\dots(2-7)$$

Keterangan :

- $P$  = Daya Nyata (Watt)
- $V$  = tegangan generator (Volt)
- $I$  = arus (Ampere)

7) *Pembangkit Listrik Tenaga Air*

Pikohidro suatu istilah yang dipakai dalam instalasi pembangkit listrik yang menggunakan sumber energi air. Memanfaatkan kondisi air yang bisa sebagai sumber daya penghasil energi listrik dengan kapasitas debit aliranair dan ketinggian jatuh air tertentu sesuai dari pemasangannya. Semakin besar kapasitas dari debit aliran maupun ketinggianjatuh air dari instalasi maka semakin besar pula energi yang bisa diolah untuk menghasilkan energi listrik. Berdasarkan keluran yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga air dibedakan atas<sup>[6]</sup>:

1. *Large hydro* : lebih dari 100 MW
2. *Medium hydro* : antara 25 MW sampai 100 MW
3. *Small hydro* : antara 1 MW sampai 25 MW

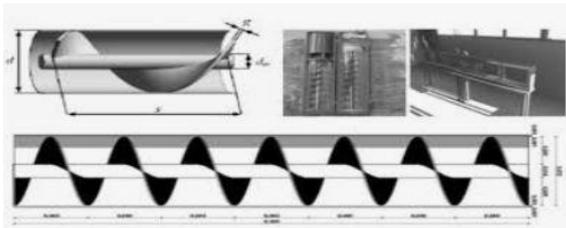
- 4. *Mini hydro* : antara 100 KW, sampai 1 MW
- 5. *Micro hydro* : antara 5 KW sampai 100 KW
- 6. *Pico hydro* : berkisar kurang dari 5 KW

1) *Turbin Air*

Turbin air sudah dikembangkan sejak pada abad 19 dan dipakai secara meluas untuk pembangkitan listrik tenaga air. Turbin air merubah energi potensial dari air menjadi energi mekanis yaitu gerak putar. Energi mekanis dirubah, dengan generator listrik menjadi tenaga listrik. Berdasarkan pada prinsip kerja dari turbin dalam merubah energi potensial dari aliran air menjadi energi mekanis. Turbin air merupakan komponen penggerak mula, dimana air sebagai *fluida* kerjanya.

a) *Turbin Ulir*

sudu pada turbin reaksi ini mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu sudu dan perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga runner (bagian turbin yang berputar) dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini di kelompokkan sebagai turbin reaksi. Performa turbin merupakan daya mekanik yang di hasilkan dari sebuah turbin. Untuk mendapatkan nilai tersebut maka data yang di perlukan adalah rpm dan torsi. Untuk mendapatkan performa turbin dengan tingkat efisiensi yang tinggi, maka tingkat ketelitian sangat di perlukan dalam merencanakan setiap komponen komponen turbin. Turbin *Archimedes screw* (ulir) adalah turbin yang beroperasi pada ketinggian rendah dengan kapasitas aliran yang tinggi bahkan beroperasi pada kapasitas aliran yang rendah.



Gambar 7.1 Turbin Ulir

b) *Performa Turbin Ulir*

Performa turbin merupakan dari sebuah turbin. Untuk mendapatkan performa turbin ulir dengan tingkat efisiensi yang tinggi, maka tingkat ketelitian sangat di perlukan dan di perhatikan dalam merencanakan dari setiap komponen-komponen turbin, turbin ulir adalah turbin yang bekerja pada ketinggian yang sangat rendah dengan kapasitas air yang tinggi atau bahkan juga dapat bekerja pada kapasitas yang sangat rendah

- Keuntungan
  - Sudu-sudu dapat bekerja dengan kapasitas rendah
  - Hanya memerlukan ketinggian yang rendah
- Kekurangan

- disposisi poros hanya dalam arah vertikal
- sudu-sudu tetap tidak dapat diubah-ubah

2) *Cara Kerja pembangkit listrik pikohidro*

- a. Air disalurkan melalui pintu masuk air yang sudah disesuaikan untuk memperoleh debit air yang diinginkan.
- b. Aliran air akan melalui saluran pipa pesat (*penstock*) dan menyebabkan tekanan air yang meningkat.
- c. Air dari saluran pipa pesat selanjutnya akan menuju sudu-sudu turbin sehingga turbin air dapat berputar.
- d. Putaran dari turbin air yang tersambung dengan poros putar akan membuat rotor generatorpun juga ikut berputar.
- e. Generator bagian dari rotor yang berputar menimbulkan terjadinya perubahan kuat medan magnet diantara kumparan stator dan rotor sehingga akan terjadi GGL.

3) *Performa pembangkit listrik pikohidro*

a) *Debit Air*

Tingkat debit air (Q) dapat di dapatkan dengan cara berbeda tapi metode yang lebih sesuai biasa diukur dengan kecepatan aliran air dari sungai dengan kecepatan aliran air dari sungai dengan ditempatkan pada saluran pipa air yang terdapat luas penampang sungai daerah di tempat pengukuran yang sama dengan menggunakan persamaan berikut<sup>[3]</sup>:

$$Q = v \times A \text{ (m}^3\text{/s)} \dots\dots\dots(2-8)$$

Keterangan :

- Q = debit aliran air (m<sup>3</sup>/s)
- A = luas penampang pipa pesat (m<sup>2</sup>)
- V = kecepatan aliran air (m/s)

b) *Ketinggian Pipa Pesat*

Tinggi air terjun juga disebut tekanan air yaitu diciptakan oleh perbedaan elevasi antara asupan tingkat air dan rumah dari turbin air. Tinggi air dapat diperoleh dengan jarak vertikal atau sebagai tekanan. Terlepas dari ukuran debit air, semakin tinggi akan menghasilkan tekanan yang lebih besar, dan karena itu *output* daya yang lebih tinggi pada turbin air. Dihitung dengan persamaan yang berikut ini<sup>[3]</sup> :

$$H_n = H_g - H_{loss} \text{ (m)} \dots\dots\dots(2-9)$$

Keterangan :

- H<sub>n</sub> = tinggi efektif (m)
- H<sub>g</sub> = tinggi kotor (m)
- H<sub>loss</sub> = tinggi rugi-rugi, sekitar 6% dari tinggi kotor<sup>[6]</sup> (m)

c) *Kecepatan Spesifikasi Turbin*

Kecepatan spesifik memberi indikasi geometri turbin dan itu adalah titik awal untuk rinci desain. Terdapat berbagai cara untuk menentukan kecepatan tertentu ( $n_s$ ) dari turbin hidro. Untuk perancangan ini menggunakan persamaan berikut<sup>[3]</sup> :

$$n_s = \frac{n_t \times \sqrt{Q}}{H_n^{3/4}} \dots \dots \dots (2-10)$$

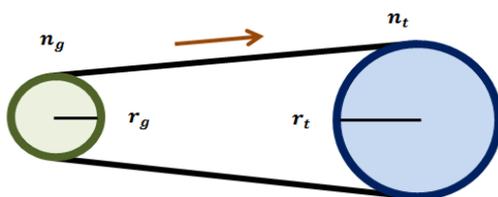
Keterangan :

- $n_s$  = kecepatan spesifik
- $n_t$  = kecepatan turbin (rpm)
- Q = debit air (m<sup>3</sup>/s)
- $H_n$  = ketinggian efektif (m)

d) Penggunaan Belt dan Pully

Sebuah cara yang mudah untuk mentransmisikan daya dari satu poros satu ke poros yang lain<sup>[4]</sup>.

- Kelebihan
  - Lebih ringan
  - Mudah dibentuk
  - Murah
- Kekurangan
  - Kekuatan yang lebih rendah
  - Mudah *fatigue* (lelah), lebih mudah patah saat ada gangguan pada struktur logamnya



Gambar 2.5 Penggunaan Pulley

Dengan demikian menggunakan persamaan sebagai berikut<sup>[10]</sup> :

$$\frac{n_t}{n_g} = \frac{r_g}{r_t} \dots \dots \dots (2-11)$$

Keterangan :

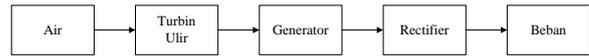
- $n_t$  = putaran turbin (rpm)
- $n_g$  = putaran generator (rpm)
- $r_t$  = jari-jari pulley turbin (m)
- $r_g$  = jari-jari pulley generator (m)

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Pendahuluan

Dalam bab ini akan mengupas dari perancangan dan pembuatan keseluruhan alat mulai dari generator magnet permanen, pembangkit listrik tenaga pikohidro dengan menggunakan turbin ulir

B. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air



Gambar 3.1 Blok Diagram pembangkit listrik skala pikohidro

Penjelasan blok Diagram

- Turbin Air ulir  
Turbin ulir mengubah energy potensial dari aliran air menjadi energy mekanis dan energy mekanis di rubah dengan generator listrik menjadi listrik.
- Generator  
Generator merupakan bagian dari sebuah mesin listrik prinsip bekerjanya berputar yang dapat mengubah energy mekanik dari sebuah rotor atau gerak putar menjadi energy listrik dengan menggunakan induksi elektromagnetik.
- Rectifier  
Regulator (*Rectifier*) atau disebut dengan penyearah gelombang sinusioda adalah suatu bagian dari rangkaian elektronika daya yang fungsinya sebagai pengubah sumber tegangan AC menjadi sumber tegangan searah DC.

C. Perencanaan Generator Aksial

Generator ini di rancang untuk bekerja pada frekwensi 50 Hz dan berputar pada kecepatan 600 ratio permenit. Tegangan keluaran di rancang 20 volt pada kondisi tanpa beban,

1) Perencanaan Kecepatan Putar

Hubungan antara kecepatan medan putar stator (rpm) dan frekuensi generator yang berbanding terbalik dengan jumlah kutub berdasar putaran permenit hal ini dapat di tentukan dengan cara sebagai berikut :

- Diketahui : f = frekuensi 50Hz
- p = jumlah kutub 10

$$n_g = \frac{120 \times f}{p} \text{ (rpm)}$$

$$n_g = \frac{120 \times 50}{10}$$

$$n_g = 600 \text{ rpm}$$

2) Perencanaan Rotor magnet permanen

Pada perancangan rotor ini menggunakan rotor dari bahan Plat Aluminium dengan diameter 30 cm . Supaya rotor yang dirancang dapat menghasilkan 10 buah kutub dengan magnet *neodymium*, maka rotor tersebut di bentuk supaya dapat dimasukkan magnet.



Gambar 3.2 Magnet Permanen Neodymium

a) Menentukan Nilai kerapatan fluks magnet  
Nilai besaran fluks ( $B_{max}$ ) Yang di hasilkan  
Di hasilkan :

$$\begin{aligned} B_r &= 0,071411061 \text{ T (NdFeB tipe N35)} \\ p &= \text{panjang } 50 \text{ mm} \\ l &= \text{lebar } 15 \text{ mm} \\ L_m &= \text{tebal } 6 \text{ mm} \\ \delta &= \text{celah udara minimal } 2 \text{ mm} \\ &= 0,071411061 \times \frac{0,006}{0,006 + 0,002} \\ &= 0,0538058 \end{aligned}$$

b) Menentukan Luasan Magnet Permanen

Rotor generator berfungsi sebagai Penghasil medan magnet di gunakan magnet permanen. Magnet permanen yang dipakai adalah magnet persegi (battang) berjenis NdFeB dengan jumlah magnet yang digunakan 10 buah.



Gambar 3.3 Rotor Magnet Permanen

Perencanaan letak magnet permanen pada rotor generator, luasan magnet ( $A_{mag}$ )  
Diketahui

$$\begin{aligned} \pi &= \text{pi (3.14 atau } 22/7) \\ r_o &= \text{radius luar magnet } 13 \text{ cm} \\ r_i &= \text{radius dalam magnet } 8 \text{ cm} \\ r_f &= \text{jarak antar magnet } 6.5 \text{ cm} \\ N_m &= \text{jumlah magnet } 10 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{magn} &= \frac{\pi(r_o^2 - r_i^2) - \pi f(r_o - r_i)N_m}{N_m} \text{ (m}^2\text{)} \\ &= \frac{\pi(0,013^2 - 0,08^2) - 6,5(0,013 - 0,08) \cdot 10}{10} \end{aligned}$$

$$A_{mag} = 0,002063466 \text{ m}^2$$

c) Menentukan Fluks Maksimum Magnet Permanen

Untuk mencari fluks maksimal dari magnet permanen yang dihasilkan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} A_{max} &= \text{Luasan area magnet permanen } 0.002063466 \text{m}^2 \\ B_{max} &= \text{kerapatan fluks } 0,0538058 \text{T} \end{aligned}$$

Maka fluks maksimal adalah :

$$\begin{aligned} \Phi_{max} &= A_{magn} \times B_{max} \text{ (Wb)} \\ &= 0.002063466 \times 0.0538058 \\ &= 0,0001110265 \text{ Wb} \end{aligned}$$

3) Perencanaan Kumpran Stator

Kumpran – kumpran tersebut dibuat dari kawat tembaga dengan ukuran 0.9 mm dengan kumpran 10 buah menyesuaikan dengan magnet permanen.



Gambar 3.4 kumpran stator

Sedangkan jumlah kumpran stator ( $N_s$ ) yang di butuhkan untuk statornya menggunakan persamaan berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } N_{ph} &= \text{jumlah fasa } 2 \text{ (Fasa dan Netral)} \\ p &= \text{jumlah kutub magnet } 10 \end{aligned}$$

maka jumlah kumpran stator adalah:

$$N_s = p \times \frac{N_{ph}}{2}$$

$$N_s = 10 \times \frac{2}{2}$$

$$N_s = 10 \text{ kumpran}$$

4) Perencanaan jumlah lilitan

Jumlah kumpran 10 buah. Nilai ini didapatkan dari besarnya jumlah magnet pada rotor, agar keliling stator menyesuaikan keliling rotor. Pertimbangan lain adalah agar kumpran dapat sepenuhnya terlewati oleh fluks magnetik.

Diketahui :

$$N = \text{jumlah lilitan}$$

$$f = \text{frekuensi } 50 \text{ Hz}$$

$$\Phi_{max} = \text{fluks maksimum } 0.000138 \text{ Wb}$$

$$N_s = \text{jumlah kumpran } 10$$

$$N_{ph} = \text{jumlah fasa } 1$$

$$E_{rms} = 4.44 \times N \times f \times \Phi_{max} \times \frac{N_s}{N_{ph}}$$

$$= 4.44 \times N \times 50 \times 0.0001110265 \times 10/1$$

$$N = 83 \text{ lilitan}$$



Gambar 3.5 lilitan Generator

5) *Perencanaan Tegangan Keluaran*

Generator yang dirancang memiliki 10 buah pasang kutub 1 fasa. Kutub-kutub disusun dari magnet permanen NDFeB-35 berdimensi 60 mm x 15mm x 5 mm. Magnet –magnet ini di susun pada poros nilon yang dipasang pada puli untuk membentuk rotor magnet. Magnet-magnet ini disusun secara melingkar dengan kutub utara berhimpitan dengan kutub selatan yang saling tarik menarik.



Gambar 3.6 Generator magnet permanen

Tegangan induksi pada generator yang dibangkitkan dengan rumus sebagai berikut :  
Diketahui :

- N = jumlah lilitan 83
- f = frekuensi 50 Hz
- $\Phi_{max}$  = fluks maksimum 0,0001110265 Wb
- $N_s$  = jumlah kumparan 10
- $N_{ph}$  = jumlah fasa 1

$$E_{rms} = 4.44 \times N \times f \times \Phi_{max} \times \frac{N_s}{N_{ph}} \text{ (Volt)}$$

$$= 4,44 . 83 . 50 . 0,0001110265 . 10$$

$$E_{rms} = 20 \text{ v}$$

6) *Perencanaan Daya Generator Satu Fasa*

Spesifikasi daya yang di rencanakan sebesar dengan tegangan 20 volt factor daya yang di asumsikan 0,8 dan arus 2 Amper maka daya yang akan di hasilkan menggunakan persamaan berikut ini :

- P = Daya nyata (watt)
- V = Tegangan keluaran generator 30 V
- I = Arus 2 (A)
- P = V.I.  $\cos \phi$
- P = 20. 2. 0,8
- = 32 Watt.

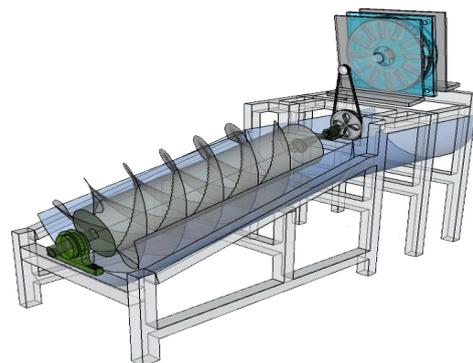
*D.Perencanaan Turbin Air ulir*

Sedangkan untuk turbin air yang di gunakan berjenis turbin ulir,sudu rotornya tidak dapat di rubah. Turbin ulir yang di gunakan terdiri dari 6 buah ulir dan 2 buah sudu di tempatkan dalam satu poros turbin ini di rancang dengan kecepatan 1200 Rpm. Putaran selanjutnya akan di transmisikan menggunakan pully dan belt untuk di salurkan ke rotor generator, sehingga putaran generator terpenuhi sesuai dengan perencanaanya

1) *Perancangan Pembangkit Listrik Skala Pikhidro*

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga air khususnya skala pikohidro adalah :

| Spesifikasi Generator Magnet Permanen |                                    |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| ➤ Rotor                               |                                    |
| Bahan :                               | Akrilik                            |
| Jenis Magnet :                        | NdFeB (N35)                        |
| Jumlah Magnet :                       | 10                                 |
| Ukuran Magnet :                       | P = 50 mm<br>L = 15 mm<br>T = 6 mm |
| ➤ Stator                              |                                    |
| Bahan :                               | Akrilik                            |
| Jenis Kawat :                         | Tembaga                            |
| Jumlah lilitan :                      | 83                                 |
| Jumlah kumparan :                     | 10                                 |
| Ukuran Kawat :                        | D = 0,9                            |
| ➤ Keluaran                            |                                    |
| Tegangan :                            | 20 Vac                             |
| Arus :                                | 2 Ampere                           |
| Daya :                                | 32 Watt                            |
| Rpm :                                 | 600 rpm                            |
| Fasa :                                | 1Ø                                 |
| Frekwensi :                           | 50 Hz                              |
| Spesifikasi Turbin Air                |                                    |
| ➤ Turbin Air                          |                                    |
| Jenis Turbin :                        | Turbin Reaksi                      |
| Tipe Turbin :                         | Turbin Archimedes                  |
| Panjang Turbin :                      | 1,5 m                              |
| Jumlah Sudu :                         | 2 Buah                             |
| Jumlah Ulir :                         | 7 Buah                             |
| Bahan Turbin :                        | Plat Besi                          |



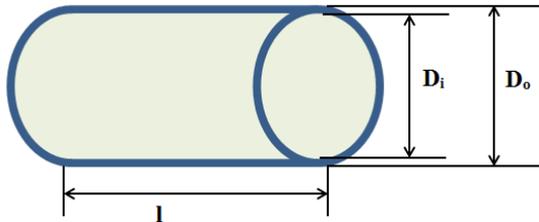
Gambar 3.8 Kontruksi pembangkit listrik skala pikohidro

1) *Peforma Turbin*

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan turbin air jenis propeller untuk pembangkit listrik tenaga air skala pikohidro adalah :

a) *Debit Air*

Perhitungan debit ditentukan pada area yang ada di pengujian, diarea ini yang akan dibuat untuk mendapatkan debit aliran air yang sudah tersedia.



Gambar 3.2.1 Desain Pipa Pesat

Diketahui :

- Q = Debit air (m<sup>3</sup>/s)
- V = Kecepatan Air 0,82 m/s
- A = Luas penampang 0,0246 m<sup>2</sup> dari pipa ukuran 10 inchi

$$Q = V \times A \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$= 0,82 \text{ m}^2 \times 0,0246 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,02 \text{ m}^3\text{/s atau 20 liter/s}$$

b) *Menentukan ketinggian pipa pesat*

Head merupakan tinggi jatuh air atau dari permukaan air ke dasar terdalam tempat sudu sudu berada pada rumah turbin

Diketahui

$$H_g = \text{tinggi kotor } 0.356 \text{ m}$$

$$H_{\text{loss}} = \text{tinggi rugi-rugi, sekitar } 6\% \text{ dari tinggi kotor (m)}$$

$$H_n = H_g - H_{\text{loss}} \text{ (m)}$$

$$= 0,356 - 0,006$$

$$H_n = 0,35 \text{ m}$$

c) *Penggunaan Belt Dan Pulley*

Sebuah cara yang umum dan sederhana untuk mentransmisikan daya dari satu poros ke poros yang lain adalah dengan menggunakan sabuk (*belt*) melewati roda katrol (*pulley*) yang terpasang pada poros (*shaft*). Aplikasinya untuk mensalurkan putaran turbin air dengan putaran generator sehingga putaran sesuai dengan yang diharapkan.

Dengan demikian menggunakan persamaan sebagai berikut :

Diketahui :

$$n_t = 300 \text{ rpm}$$

$$n_g = 600 \text{ rpm}$$

$$r_t = \text{jari-jari pulley turbin } 0.2 \text{ m}$$

Maka pesamaan untuk menentukan diameter pulley generator adalah

$$\frac{n_t}{n_g} = \frac{r_g}{r_t}$$

$$\frac{300}{600} = \frac{r_g}{0.2}$$

$$r_g = \frac{300 \times 0.2}{600}$$

$$r_g = 0,1 \text{ m}$$

Jadi diameter pulley pada generator adalah 2 cm dan juga untuk diameter pulley turbin adalah 4 cm.

D. *Peralatan Penunjang*

1) *Multimeter*

Multimeter atau avometer adalah sebuah alat elektronik yang yang digunakan untuk mengukur tegangan , arus , dan daya.kemudian dari daya tersebut dapat di hitung energi yang di hasikan dari waktu turbin air beroperasi.



Gambar 3.2.3 Multimete

2) *Tachometer*

Tachometer adalah suatu alat uji yang dibuat dan didesain untuk mengukur kecepatan putaran pada sebuah objek.



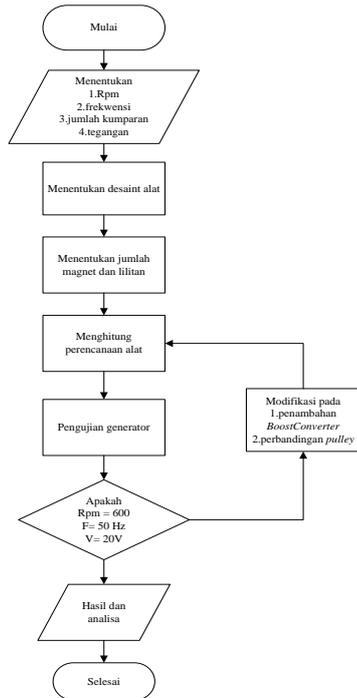
Gambar 3.2.4 Tachometer

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA ALAT

A. *Pendahuluan*

Dalam bab ini untuk mengetahui energi yang dihasilkan turbin air serta untuk mengetahui berapa besar tegangan yang mengalir baik tegangan minimal maupun tegangan maksimalnya.

- Pengujian pembangkit listrik tenaga air menggunakan turbin air



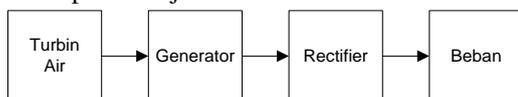
Gambar 4.2 Flowchart Pengujian pembangkit listrik tenaga air

B. Prosedur pengujian

Pengujian ini dilakukan dengan tanpa menggunakan beban lampu tetapi langsung ke baterai, hal ini bertujuan untuk melihat pengaruh pembebanan terhadap daya dan arus yang dihasilkan generator terhadap baterai :

1) Pengujian Parameter Generator

1. Melakukan pengujian dan pengukuran keluaran generator terlebih dahulu dengan tanpa beban dan berbeban untuk mengetahui performa generator itu sendiri sesuai dengan Gambar 4.1 .
2. Merangkai dan menghubungkan keluaran generator dengan alat ukur seperti multimeter dan tachometer untuk mengetahui tegangan, arus, dan rpm.
3. Menghubungkan rotor generator dengan penggerak mula yaitu motor yang bias diatur kecepatan putarnya.
4. Mencatat semua hasil dari pengukuran sesuai yang dilakukan dalam pengujian.
5. Menganalisa pengujian dan pengukuran dari peralatan yang dibuat secara umum dengan pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah perangkat yang telah direalisasikan dapat bekerja



Gambar 4.3 Blok diagram pengujian Generator

C. Pengujian

Pengujian generator magnet permanen fluks aksial satu fasa dilakukan untuk mengetahui perbandingan hasil dari perencanaan generator dengan pengukuran generator. Dalam pengujian dan pengukuran generator haruslah alat ukur dalam keadaan baik untuk meningkatkan akurasi dari pengujian.

1) Tanpa Beban

Pengukuran generator yang dilakukan pada tanggal hari dan tanggal Rabu, 26 juni 2019. pengambilan data tegangan, arus, dan rpm yang dilakukan selama 1 jam (15.30-16.30) untuk mengetahui karakteristik generator bertempat di kampus 2 ITN Malang Gedung Lab Elektro Laboratorium Konversi Energi Elektrik lantai 1, berikut hasil pengukuran generator.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Generator Tanpa Beban

| No | rpm | Hz   | V ac | V dc |
|----|-----|------|------|------|
| 1  | 50  | 4,8  | 1    | 0,8  |
| 2  | 100 | 10,7 | 2,7  | 2    |
| 3  | 150 | 12,4 | 3,7  | 2,9  |
| 4  | 200 | 17,3 | 5,9  | 3,2  |
| 5  | 250 | 22   | 6,9  | 4,8  |
| 6  | 300 | 25,2 | 8,3  | 6    |
| 7  | 350 | 29,4 | 9,3  | 6,8  |
| 8  | 400 | 33,8 | 10,6 | 8    |
| 9  | 450 | 37   | 11,8 | 9,8  |
| 10 | 500 | 41,8 | 13,3 | 11,2 |
| 11 | 550 | 44,2 | 14,5 | 12,1 |
| 12 | 600 | 50,6 | 16,9 | 14,7 |
| 13 | 650 | 54   | 17,5 | 15,2 |
| 14 | 700 | 59,2 | 18,5 | 16,3 |

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran pada hari dan tanggal Senin, 26 juni 2019, diketahui kecepatan putar adalah 600 rpm, dengan ini diperoleh tegangan sebesar 16,9 Volt AC dan frekuensi kerja generator pada 50 Hz. Faktor dalam Konstruksi Pembuatan

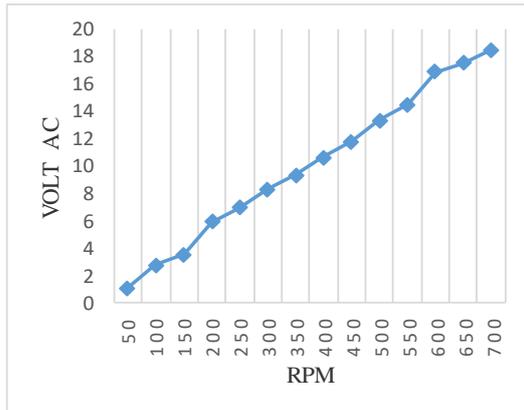
Diketahui :

- $K_s$  = reduction factor (0.85 - 0.95)
- $E$  = tegangan pengukuran 16,9 Volt
- $E_{rms}$  = tegangan perencanaan 20 Volt

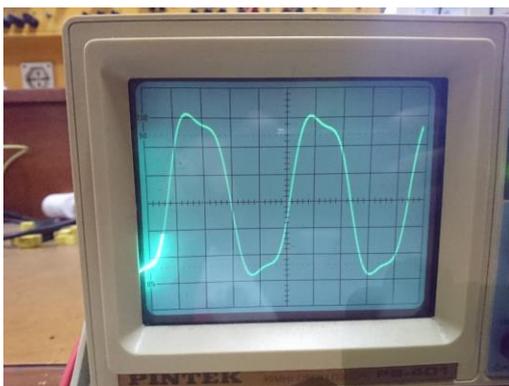
$$K_s = \frac{E}{E_{rms}} \dots\dots\dots(4-1)$$

$$k_s = \frac{16,9}{20}$$

$K_s = 0,85$



Gambar 4.4 Grafik Tegangan AC dan Rpm Generator



Gambar 4.5 Gelombang AC generator

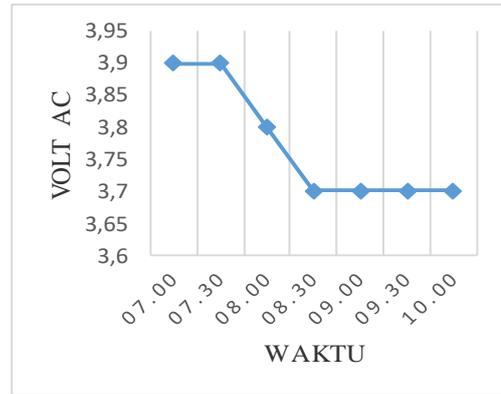
Grafik diatas diperoleh dari hasil pengukuran pada tanggal 26 Juni 2019, memperlihatkan bahwa kecepatan putar generator (rpm) berbanding lurus dengan tegangan (Volt) yaitu semakin tinggi rpm maka tegangan juga semakin tinggi.

2) *Pengujian pembangkit listrik skala pikohidro*

Pengukuran dari keseluruhan alat yang dilakukan pada tanggal 29 Juni 2019 pengambilan data tegangan, arus, dan rpm yang dilakukan selama 3 jam (07.00-10.00) untuk mengetahui karakteristik seluruh pembangkitan listrik dengan lokasi yang digunakan untuk mengaplikasikan alat di sungai Brantas Kelurahan punten kecamatan bumiaji kota batu.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Pembangkit Listrik Skala Pikohidro

| No | Waktu | Rpm | V AC |
|----|-------|-----|------|
| 1  | 07.00 | 158 | 3,9  |
| 2  | 07.30 | 158 | 3,9  |
| 3  | 08.00 | 156 | 3,8  |
| 4  | 08.30 | 153 | 3,7  |
| 5  | 09.00 | 150 | 3,7  |
| 6  | 09.30 | 150 | 3,7  |
| 7  | 10.00 | 154 | 3,7  |



Gambar 4.5 Grafik tegangan dan waktu generator dengan turbin air

Pada grafik diatas menunjukkan performa turbin air.dalam uji lapangan kecepatan putar generator rata rata 150 – 158 Rpm di sebabkan oleh kecepatan air yang stabil.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari Penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Turbin air sebagai energi alternatif untuk pembangkit listrik dengan tenaga air sebagai penggerak turbin.sebagai energy terbarukan.
2. Generator ini bekerja pada kecepatan 600 rpm dan dengan frekwensi 50,6 Hz. Perencanaan menghasilkan tegangan AC dengan sebesar 20 Volt dan untuk hasil pengukuran menghasilkan tegangan 16,9 Volt
3. Semakin banyak jumlah dari lilitan, fluks maksimum, dan jumlah kumparan pada generator juga mempengaruhi tegangan yang dihasilkan pada generator. Semakin besar diameter kawat email maka semakin besar kemampuan kapasitas hantar arus generator.
4. Kecepatan putar generator (rpm) berbanding lurus dengan tegangan (Volt) yaitu semakin tinggi rpm maka tegangan juga semakin naik, mengakibatkan garis gaya magnet yang memotong lilitan generator semakin cepat sehingga GGL yang dihasilkan semakin besar.
5. Setelah melalui penyearah dari tegangan 16,9 Volt AC turun menjadi 14,7 Volt DC penurunan dikrenakan adanya rugi-rugi diode murni tanpa penambahan apapun.
6. Debit air pada saat pengujian lapangan adalah 0,02 m<sup>3</sup>/s yang dapat memutar turbin air. Bila debit air semakin besar maka kecepatan putar turbin semakin besar pula hal ini berbanding lurus antara debit air dan rpm.

REFERENSI

- [1] PLTAPikohydroteori dasar<http://bonkadhafadli.blogspot.com/2013/02/pykohydro-teori-dasar.html>
- [2] Shpetim Lajqi, Naser Lajqi, Beqir Hamidi. (2016). “ *Design and Constructio of Mini Hydropower Plant with Propeller Turbine*”. Faculty of Mechanical Engineering, University of Prishtina “Hasan Prishtina”. Vol. 2, No. 1.
- [3] Unknow.”Pengertian Dan Rumus Fluks MagnetikDalamFisika”,<http://rumusrumus.com/fluks-magnetik/>. Diakses tanggal 2 februari 2018
- [4] Fanni Fattah. “*Rancang Bangun Alat Pengerak Pasir Otomatis*”. Dosen Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Tangerang.
- [5] Sukmadi, Tejo dkk . “*Perancangan Generator Fluks Aksial Putaran Rendah Magnet Permanen Jenis Neodymium (NdFeB) Dengan Variasi Celah Udara*”. Jurusan Teknik Elektro. Universitas Diponegoro. Semarang.
- [6] Shukla, Ravi Shankar,. and Parashar, Charu. (2017). “*Design of Propeller Turbine for Micro Hydro Power Station Using CFD*”. Department of Civil Engineering Maulana Azad National Institute of Technology (MANIT). Bhopal India. Volume Issue 7 pp 37- 41.