

Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid *Photovoltaic* dan Turbin Angin Sumbu Vertikal Menggunakan Generator Magnet Permanen Fluks aksial Tiga Fasa Putaran Rendah

¹Edy Surahman, ²Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
Institut Teknologi Nasional Malang Indonesia
¹edy1902ln@gmail.com, ²yusuf_nakhoda@lecturer.itn.ac.id

Abstrak – *Konsumsi energi saat ini semakin meningkat. Energi fosil yang digunakan terus menerus akan menipis, jadi dibutuhkan energi alternatif untuk mengatasi hal ini. Pada skripsi ini merancang dan membangun pembangkit listrik tenaga hybrid photovoltaic dan turbin angin vertical generator magnet permanen fluks aksial tiga fasa putaran rendah. Photovoltaic (panel surya) suatu peralatan yang mampu merubah energi cahaya menjadi energi listrik. Generator suatu mesin listrik berfungsi merubah energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik. Axial Fluks Permanen Magnet Generator (AFPMG) merupakan generator putaran rendah yang memanfaatkan magnet permanen sebagai sumber medan magnet. Energi penggerak generator menggunakan turbin angin sumbu vertical (PLTB) skala kecil. Photovoltaic yang dipakai mempunyai kapasitas daya sebesar 100 Wp. Sistem hybrid menggunakan sistem kontrol yang mampu menggabungkan dua buah output sumber menjadi satu. Sistem kontrol menggunakan penyatuan tegangan DC pada sistem hybrid photovoltaic dan turbin angin agar pengisian baterai dapat dilakukan. Kedua sumber tegangan di turunkan menjadi ± 12 volt menggunakan rangkaian reactifier penurun tegangan agar keluaran dari kedua sumber itu sama dan dapat digabungkan. Sehingga bisa dibuat pengisian baterai.*

Kata Kunci : *AFPMG, Photovoltaic, Turbin Angin Sumbu Vertikal, Penyatuan.*

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pengembangan *renewable energy* perlu dilakukan apalagi energi fosil saat ini terbatas. Melimpahnya *renewable energy* maka pembangkit skala kecil memanfaatkan *renewable energy* yang tak terbatas. Sistem hybrid merupakan alternative yang mampu diaplikasikan didaerah terpencil. Masalah beban yang tidak sama setiap saat, maka cara mengatasinya dengan kombinasi pembangkit listrik *renewable energy* guna mengatasi masalah tersebut. Salah satu kombinasi yang akan dibahas kali ini ialah kombinasi antara Pembangkit Tenaga Surya (PLTS) dengan Pembangkit Tenaga Bayu (PLTB).

Pembangkit Listrik ini ialah salah satu solusi yang tepat untuk sistem pembangkitan listrik yang menggunakan *renewable energy* (energy alam) yang tiap harinya besar energi takmampu perkiraan.

B. Rumusan Masalah

Sesuai dengan permasalahan yang ingin dikupas pada skripsi ini meliputi sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang pembangkit listrik tenaga hybrid dengan PLTS dan PLTB ?
2. Bagaimana membangun pembangkit listrik tenaga hybrid dengan PLTS dan PLTB ?
3. Bagaimana merancang generator magnet permanen fluks aksial tiga fasa untuk pembangkit listrik putaran rendah dengan kincir angin darrieus tipe H ?
4. Bagaimana membangun generator magnet permanen fluks aksial tiga fasa untuk pembangkit listrik putaran rendah dengan turbin angin darrieus tipe H ?
5. Bagaimana merancang pembangkit listrik tenaga surya ?
6. Bagaimana membangun pembangkit listrik tenaga surya ?

C. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dan manfaat yang dapat dicapai :

1. Merancang bangun suatu kombinasi pembangkit listrik hybrid dengan kombinasi photovoltaic dengan PLTB dengan generator magnet permanen fluks aksial tiga fasa satu stator dua rotor putaran rendah.
2. Kombinasi diatas digunakan dalam sistem pengisian baterai.

D. Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah antara lain :

1. Generator yang dibuat generator AC tiga fasa fluks aksial putaran rendah.
2. Menggunakan satu buah sell surya 100 Wp.
3. Putaran yang direncanakan adalah 500 rpm dengan jumlah magnet 12 kutub.

4. Turbin angin yang dipakai yaitu darrieus tipe H.
5. Tidak membahas sistem kendali isi ulang baterai secara terperinci.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

Sistem pembangkitan listrik terdiri dari lebih satu suatu pembangkitan dengan sumber yang berbeda biasanya disebut dengan sistem hybrid.

Tujuan sistem hybrid ialah untuk menyatukan dua atau lebih suatu sistem pembangkit energi listrik, agar mampu mensupport kelemahan masing-masing pembangkit supaya dapat mencapai keandalan suatu sistem yang baik pada saat mencapai beban penuh.

Sistem hybrid sebagai alternatif pembangkit yang dapat diaplikasikan pada wilayah yang sulit dicapai jaringan PLN.

Pada proses penggabungan dua sumber memerlukan alat sinkronisasi. Output tegangan dari kedua sumber yang tidak sama dan besaran yang berbeda pula maka proses penggabungan sistem tegangan DC adalah cara yang mudah. Untuk memudahkan proses penggabungan maka masing-masing sumber di turunkan tegangan menjadi 12 volt.

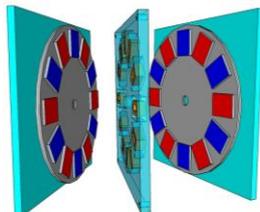
B. Generator Fluks Aksial Magnet Permanen

Generator fluks aksial adalah mesin fluks aksial yang mampu merubah energi mekanik menjadi energi listrik yang memproduksi arus bolak-balik yang konstruksinya terdiri dari rotor dan stator yang pemotongan aliran fluks secara aksial.

Generator aksial mempunyai bagian yaitu rotor, stator dan celah udara. Rotor tempat magnet permanen sebagai sumber medan magnet yang nantinya mampu menimbulkan fluks magnet. Kumparan terletak pada stator yang nantinya sebagai wadah terjadinya induksi elektromagnetik. Celah udara jarak rotor dengan stator.

- *Prinsip Kerja Generator Aksial*

Generator aksial hampir sama dengan generator pada umumnya, rotor penghasil medan magnetic yang akan menginduksi kumparan pada stator.



Gambar 2.1 Generator Aksial Dua Rotor Satu Stator

C. Rangkaian Tiga Fasa.

Stator fasa 3 pada dasarnya terdiri tiga kumparan serupa yang bergeser 120°. Masing-masing fasa R, S dan T mempunyai kumparan yang nilainya

sama. Untuk mendapatkan tegangan output generator 3 fasa maka dibedakan 2, sambungan (Y) dan delta.

- *Sambungan (Y)*

Pada sistem ini masing-masing ujung kawat dihubungkan jadi satu agar didapat titik netral. Titik netral dapat dihitung nilai tegangan fasa – netral, dan membentuk sistem 3 fasa yang seimbang dengan nilai magnitude. $V_{line} = \sqrt{3} \cdot V_f = 1,73V_f$.

- *Hubungan delta*

Pada delta/segitiga ini ujung dan pangkal kumparan saling dihubungkan. Ujung kumparan R dengan pangkal kumparan S, ujung kumparan S dengan pangkal kumparan T dan ujung kumparan T dengan pangkal kumparan R.

1. Perencanaan Generator

Generator dirancang nilai frekuensi 50 Hz pada rpm 500 .

a. Perencanaan Kecepatan Putar

Kecepatan medan pada stator dikalikan frekuensi generator berbanding balik dengan jumlah kutub rotor. Dapat diperoleh melalui cara ini :

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

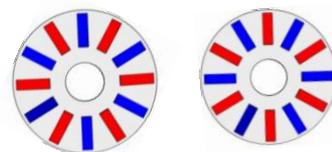
Diketahui :

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

$$p = 12 \text{ Kutub}$$

b. Perencanaan Rotor dengan Magnet Permanen

Rotor disusun dari dua buah magnet permanen saling berhadapan menghadap stator dengan syarat berbeda kutub magnet. Tujuan agar terjadi gaya Tarik menarik sehingga terjadi induksi elektromagnetik pada stator yang berada di antara dua buah rotor. Dapat dilihat gambar dibawah :



Gambar 2.2 Kutub Magnet

Menentukan jumlah kutub setiap rotor pada perencanaan dapat dasari oleh rumus berikut :

$$f = \frac{p}{2} \times \frac{n}{60} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

$$n = \text{rpm}$$

$$p = \text{Jumlah Kutub Rotor}$$

$$f = \text{Frekuensi}$$

c. Menentukan Jeneis Magnet

Magnet yang di pakai pada perencanaan kali ini magnet permanen type NdFeb. Magnet ini memiliki maksimum *energy product* (BHmax) paling tinggi 440KL/m³, tipe magnet yang di gunakan pada perancangan ini memiliki ukuran 50 x 15 x 6 (mm)

d. *Menentukan Densitas Fluks Magnet.*

Untuk menentukan berapa fluks dapat didasari dengan rumus berikut :

$$B_{\max} = B_r \times \frac{L_m}{L_m + \delta} \text{ (T)} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

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

e. *Luasan Area Medan Magnet.*

Luasan area medan magnet menentukan luasan piringan dari rotor. Syarat luasan stator bahwa mengikuti luasan rotor bertujuan agar sinkron antara kutub magnet permanen dengan kumparan. Rumusnya sebagai berikut :

$$A_{\text{magn}} = \frac{\pi(ro^2 - ri^2) - \tau f(ro - ri)N_m}{N_m} \text{ (m}^2\text{)} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

- A_{magn} = luasan magnet (m²)
- π = phi (3.14 atau 22/7)
- ri = radius dalam magnet (m)
- ro = radius luar magnet (m)
- τf = jarak antar magnet (m)
- N_m = jumlah magnet

f. *Flukis Maksimal*

Pada perancangan rotor dengan desain silinder dalam mencari fluks magnet menggunakan rumus berikut :

$$\Phi_{\max} = A_{\text{magn}} \times B_{\max} \text{ (Wb)} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

- Φ_{\max} = fluks maksimal (Wb)
- A_{magn} = luasan magnet (m²)
- B_{\max} = kerapatan fluks (T)

g. *Jumlah Kumpan Stator*

Jenis penghantar yang digunakan ialah kawat email atau kawat tembaga. Kawat tembaga ialah bahan utama pembuatan kabel listrik.

Menentukan jumlah lilitan dapat didasari dengan menggunakan persamaan tegangan induk generator :

$$E_{\text{rms}} = \frac{E_{\text{maks}}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} N \cdot f \cdot \Phi_{\text{max}} \cdot \frac{N_s}{N_{\text{ph}}} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana :

- E_{rms} = Tegangan induksi (Volt)
- N = Jumlah lilitan per kumparan
- f = Frekwensi (Hz)
- Φ_{max} = Fluks magnet (Wb)
- N_s = Jumlah kumparan

N_{ph} = Jumlah fasa

h. *Tegangan Keluaran Generator*

Berdasarkan nilai keluaran tegangan pada generator adalah 30 volt. Dalam perencanaan pasti terdapat perbedaan , dapat mengacu pada :

$$E_{\text{rms}} = \frac{E_{\text{maks}}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} N \cdot f \cdot \Phi_{\text{max}} \cdot \frac{N_s}{N_{\text{ph}}} \dots\dots\dots (8)$$

Dimana :

- E_{rms} = Tegangan induksi (Volt)
- N = Jumlah lilitan per kumparan
- f = Frekwensi (Hz)
- Φ_{max} = Fluks magnet (Wb)
- N_s = Jumlah kumparan
- N_{ph} = Jumlah fasa

i. *Menentukan Frekuensi (Hz)*

Pada perencanaan diinginkan frekuensi sebesar 50 Hz, karena nilai standar di Indonesia adalah sebesar 50 Hz. Rumus yang di gunakan :

$$f = \frac{P}{2} \times \frac{n}{60} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana :

- f = Frekuensi (Hz)
- n = Kecepatan putar rotor (rpm)
- P = Jumlah kutub rotor

j. *Daya pada Generator*

Pada perancangan generator magnet permanen tipe aksial diharapkan daya keluaran sebesar 70 watt. Dalam perhitungan menggunakan persamaan :

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \text{Cos}\phi \dots\dots\dots (10)$$

Dimana :

- P = Daya Nyata (VA)
- V = (volt)
- I = Arus 2 A

D. *Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)*

Pembangkit listrik tenaga bayu adalah salah satu alternatif pembangkit listrik dengan energi baru terbarukan vdan ramah lingkungan yang ada di Indonesia. PLTB ialah memanfaatkan energi kinetic angin yang melewati area efektif turbin untuk mebngerakkan turbin/kincir angin..

E. *Turbin Angin Vertikal Darrieus Tipe H*

Turbin angin darrieus adalah turbin angin vertikal yang mempunyai efisiensi tinggi dan mempunyai torsi yang pada saat kecepatan angin yang tinggi. Pada perencanaan ini menggunakan jumlah sudu sebanyak 4. Kontruksi dari turbin darrieus ini juga memilikik kontruksi yang sederhana.

1. *Rumus Perhitungan*

Rumus yang digunakan dalam perhitungan angin pada skripsi kali ini sebagai berikut :

a. Rumus energi Kinetik

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \dots\dots\dots(11)$$

Dimana :

- E_k = Energi Kinetik (J)
- m = Massa benda (k_g)
- v = Kecepatan Benda (m/s)

b. Rumus Daya Angin

Daya angin ialah daya yang timbul oleh tiap luasan sudu, sehingga digolongkan sebagai energi potensial. Daya angin bergerak dalam satuan waktu dapat ditulis pada rumus :

$$\begin{aligned} \text{Daya} &= \text{Kerja/Waktu} \\ &= \text{Energi Kinetik / Waktu} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_m &= \frac{1}{2} m \cdot v^2 / t \\ &= \frac{1}{2} (\rho \cdot A \cdot d) \cdot v^2 / t \\ &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 (d/t) \longrightarrow d/t = v \\ &= \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \dots\dots\dots(12) \end{aligned}$$

Dimana :

- P_{in} = Daya yang disediakan oleh angin (watt)
- ρ = Massa jenis aliran ($\frac{kg}{m^3}$)
- v = Kecepatan angin (m/s)
- A = Luas penampang sapuan sudu (m^2)

c. Perhitungan Torsi

Perhitungan torsi didapat dari :

$$T = F \times l \dots\dots\dots(13)$$

Dimana :

- l = Jarak lengan torsi ke poros (m)
- F = Besaran gaya (N)

d. Perhitungan Daya Kincir

Perhitungan Daya Kincir didasari pada persamaan :

$$\begin{aligned} P_{out} &= T \times \omega \\ P_{out} &= T \times \frac{\pi \times n}{30} \dots\dots\dots(14) \end{aligned}$$

Dimana :

- T = Torsi
- n = Putaran Poros

F. Photovoltaic

Photovoltaic sering disebut panel surya, suatu alat yang terdiri banyak sel surya yang mengkonversi energy cahaya menjadi energy listrik. Ada beberapa factor yang mempengaruhi kinerja dalam penggunaannya. Factor diantaranya :

- Suhu permukaan panel
- Kecepatan tiup angin
- Radiasi solar matahari

- Keadaan atmosfer bumi
- Orientasi panel atau array PV
- Posisi sel surya terhadap matahari

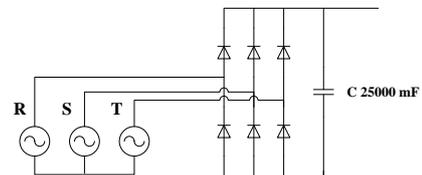
Prinsip kerja sel surya pada saat sel surya pada keadaan tidak mendapat sinar matahari maka prinsip kerja berubah seperti diode.



Gambar 2.3 Panel Surya

G. Penyearah Tiga Fasa

Penyearah gelombang sinusoida (regulator/rectifier) adalah bagian dari rangkaian elektronika daya fungsinya sebagai pengubah sumber tegangan AC menjadi sumber tegangan DC. Penyearah dibuat dengan cara, menggunakan sebuah diode. Untuk membuat rangkaian penyearah diode menggunakan sumber tegangan generator dan trafo.



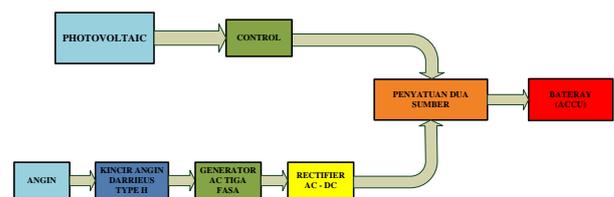
Gambar 2.4 Rangkaian Penyearah Tiga Fasa

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Pendahuluan

Bab ini mengupas perencanaan dan pembuatan keseluruhan alat mulai dari perencanaan pembangkit tenaga hybrid, generator magnet permanen, pembangkit listrik bayu, pembahasan photovoltaic.

B. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid



Gambar 3.1 Blok Diagram Perencanaan

Penjelasan Blok Diagram :

➤ Photovoltaik

Photovoltaic adalah berbagai sel surya yang mampu mngubah energi cahaya menjadi energi listrik.

- Kincir Angin
Kincir angin berfungsi untuk mengkonversi energi potensial angin menjadi energi mekanis. Energi mekanis tersebut dirubah jadi energi listrik dengan generator
- Generator
Generator adalah mesin listrik yang mengubah energi gerak menjadi energi listrik melalui induksi elektromagnetik.
- Penyatuan Dua Sumber
Penyatuan dua sumber ini menggunakan penyatuan tegangan DC. Karena penyatuan DC lebih mudah. Kedua sumber tersebut tegangan keluaran diubah menjadi tegangan DC dengan nilai yang sama sebelum proses penyatuan atau sinkronisasi.
- Baterai (*Accu*)
Baterai berfungsi sebagai penyimpanan sebelum mengalirkan atau mensuplay ke beban.

C. Perencanaan Generator Aksial

Generator dirancang frekuensi 50 Hz pada kecepatan putar 500 rpm.:

1. Perencanaan Kecepatan Putar

Rumusnya sebagai berikut

Diketahui :

- f = frekuensi 50 Hz
- p = jumlah kutub 12

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

$$n_g = \frac{120 \times 50}{12}$$

$$n_g = 500 \text{ rpm}$$

2. Perencanaan Rotor Magnet Permanen

Rotor direncanakan menggunakan 12 buah kutub 3 fasa. Kutub terdiri dari magnet permanen ND-35 ukuran 50mm x 15mm x 6mm. Posisi magnet satu dengan yang lain adalah berbeda kutub. Pada perancangan rotor menggunakan magnet permanen jenis *neodymium* dengan cara menentukan nilai besaran berikut :

a. Menentukan Nilai Kerapatan Fluks Magnet

Nilai besaran kerapatan fluks (B_{max}) yang dihasilkan.

Diketahui :

- $B_r = 1.17 \text{ T}$ (NdFeB tipe N35)
- p = panjang 50 mm
- l = lebar 15 mm
- L_m = tebal 6 mm
- δ = celah udara minimal 2 mm

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

$$= 1,17 \cdot \frac{0,6}{0,6+0,2}$$

$$= 0,8775 \text{ T}$$

b. Menentukan Luasan Magnet Permanen

Luasan area medan magnet menentukan luasan piringan dari rotor. Syarat luasan stator bahwa

mengikuti luasan rotor bertujuan agar sinkron antara kutub magnet permanen dengan kumparan.



Gambar 3.5 Rotor Generator Magnet Permanen

Perancangan letak magnet permanen pada rotor , luasan magnet (A_{magn}) dapat dicari :

Diketahui : $\pi = 3.14$ atau $22/7$

- r_o = radius luar magnet 12 cm
- r_i = radius dalam magnet 7 cm
- r_f = jarak antar magnet 4.6 cm
- N_m = jumlah magnet 12 buah

$$A_{magn} = \frac{\pi \cdot (r_o^2 - r_i^2) - r_f \cdot (r_o - r_i) \cdot N_m}{N_m}$$

$$= \frac{3,14 (0,12^2 - 0,07^2) - 0,046 (0,12 - 0,07) \cdot 12}{12}$$

$$= 0.00018584 \text{ m}^2$$

c. Menentukan Fluks Maksimum Magnet Permanen

Untuk mencari fluks maksimal magnet permanen yang dihasilkan maka didasari dengan persamaan berikut :

Diketahui :

- A_{magn} = luas magnet (m^2)
 - B_{max} = kerapatan fluks (Wb)
- Maka fluks maksimal adalah :

$$\Phi_{max} = A_{magn} \times B_{max} \text{ (Wb)}$$

$$= 0.00018584 \times 0.8775$$

$$= 0.0001630746 \text{ Wb}$$

3. Perencanaan Kumparan Stator

Jumlah kumparan 12 buah. Nilai ini dapat dari jumlah magnet pada rotor yang berjumlah 12 kutub. Dikarenakan agar keliling stator menyamakan keliling rotor. Ini dipertimbangkan agar semua kumparan tersapu sepenuhnya oleh fluks magnetic.

4. Menentukan Jumlah Lilitan

Kawat tembaga supreme, bahan utama dari kawat generator. Kawat ini buatan Indonesia yang memiliki kualitas export.

Luasan yang diperoleh ditempat lilitan kawat tembaga, jumlah lilitan pada satu kumparan $N = 175$ lilitan.



Gambar 3.7 Tempat Kumbaran

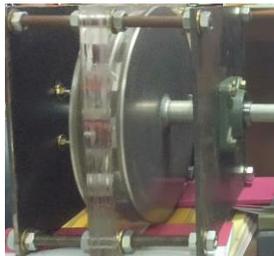
Gambar 3.7 luasan yang diperoleh dari tempat diatas jumlah lilitan satu kumparan $N = 175$ lilitan.



Gambar 3.8 Jumlah Lilitan Generator

5. Perencanaan Tegangan Keluaran

Generator dirancang dengan 12 buah pasang kutub tiga fasa. Kutub disusun menggunakan magnet permanen dimensi $50 \times 15 \times 5$.



Gambar 3.9 Generator Fluks Aksial Tiga Fasa.

Tegangan Induksi yang dibangkitkan dengan rumus berikut :

Diketahui :

- N = jumlah lilitan 180
- F = frekuensi 50 Hz
- Φ_{max} = fluks maksimum 0,0001630746Wb
- N_s = jumlah kumparan 12
- N_{ph} = jumlah fasa 3

$$E_{rms} = 4,44 \times N \times f \times \Phi_{max} \times \frac{N_s}{N_{ph}}$$

$$= 4,44 \times 175 \times 50 \times 0,0001630746 \times 4$$

$$= 25,3 \text{ volt}$$

6. Menghitung Frekuensi

Perancangan generator fluks aksial ingin menghasilkan frekuensi sebesar 50 Hz, nilai 50 Hz tersebut nilai standart yang ada di Indonesia. Menghitung nilai frekuensi dapat menggunakan persamaan berikut :

Dimana :

- f = Frekuensi (Hz)
- n = Kecepatan putar rotor (rpm)
- P = Jumlah kutub rotor

$$f = \frac{p}{2} \times \frac{n}{60}$$

$$f = \frac{12}{2} \times \frac{500}{60}$$

$$f = 6 \times 8,334$$

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

7. Keluaran Daya Generator

Dalam perancangan generator ini untuk menghitung daya keluaran dapat menggunakan rumus :

Dimana :

P = Daya Nyata (Watt)

V = Tegangan (volt)

I = Arus 2 A

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$= \sqrt{3} \times 25,3 \times 2 \times 0,8$$

$$= 70,11 \text{ Watt}$$

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$$

$$= \sqrt{3} \times 25,3 \times 2$$

$$= 87,6 \text{ VA}$$

D. Perencanaan Photovoltaic

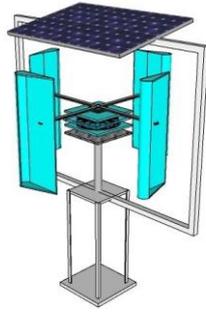
Photovoltaic sering disebut panel surya, suatu alat yang terdiri banyak sel surya yang mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik. Pada perencanaan berikut menggunakan photovoltaic yang memiliki kapasitas 100 Wp. Adapun beberapa factor yang mempengaruhi kinerja dari sel surya diantaranya ialah radiasi solar sel, suhu permukaan panel, keadaan atmosfer bumi, posisi sel surya terhadap matahari, dll.

E. Perancangan Turbin Angin Darrieus Tipe H

Konstruksi turbin angin sumbu vertikal sangatlah banyak salah satunya merupakan turbin angin jenis darrieus type H yang memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Turbin angin yang digunakan adalah turbin angin jenis darrieus type H. turbin jenis darrieus yang digunakan memiliki 4 buah sudu. Turbin ini dirancang untuk berputar pada 600 Rpm.

F. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

Dalam merancang pembangkit listrik tenaga hybrid, menggunakan kombinasi antara satu buah photovoltaic dengan PLTB menggunakan kincir angin darrieus tipe H dengan generator magnet permanen fluks aksial tiga fasa.



Gamabar 3.9 Desain Hybrid PV-PLTB

1. Perancangan Kombinasi PLTB dengan PV

Hal yang harus diperhatikan dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga hybrid, kombinasi antara PLTB dengan PV adalah :

Tabel 3.1 Spesifikasi Generator

Nama Komponen	Keterangan
Rotor	
Jenis Magnet	NdFeB (N52)
Jumlah Magnet	10
Ukuran Magnrt	P = 50 mm
	L = 15 mm
	T = 5 mm
Stator	
Jenis Kawat	Tembaga
Jumlah Lilitan	180
Jumlah Kumparan	12
Ukuran Kawat	D = 0.7 mm
Keluaran	
Tegangan	21,9 VAC
Arus	2 Ampere
Daya	87,6
Rpm	500 rpm
Fasa	3
Frekuensi	50 Hz
Photovoltaic	
Module type	SP 100 M36
Rated Max. Power (Pmax)	100 W
Current at Pmax(Imp)	5,75 A
Voltage at Pmax (Vmp)	17,4 V
Short Circuit Currebt (Isc)	6,08 A
Open Circuit Voltage (Voc)	22,4 V
Dimension (mm)	1020 x 670 x 35
Number of Cells	36
Max. System Voltage	700 V
Temperature Range	-45 C -180 C

Module type	SP 100 M36
Turbin	
Tinggi Rangka	± 3 Meter
Model Turbin	Vertikal
Jenis dan Tipe Turbin	Darrieus Tipe H
Jumlah Sudu	4
Panjang Lengan Sudu	50
Tinggi Sudu	76



Gambar 3.10 Konstruksi Kombinasi PLTB - PV

2. Peforma Turbin:

a. Rumus Daya Angin.

Diketahui :

$$\begin{aligned} \text{Rata - rata kecepatan angin} &= 5 \text{ m/s} \\ \text{Massa jenis udara} &= 1,18 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Luas penampang} &= 1,6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Maka dapat dihitung :

$$\begin{aligned} P_{in} &= \frac{1}{2} \rho A v^3 \\ P_{in} &= \frac{1}{2} \times 1,18 \times 1,6 \times 5^3 \\ P_{in} &= 118 \text{ watt} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Torsi

Diketahui :

$$\begin{aligned} \text{Besaran gaya (F)} &= 1,37 \text{ N} \\ \text{Jarak lengan torsi ke poros} &= 0.5 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka dapat dihitung :

$$\begin{aligned} T &= F \times l \\ T &= 1.37 \times 1 \\ T &= 1.37 \text{ N.m} \end{aligned}$$

c. Perhitungan Daya Kincir

Diketahui :

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan angin} &= 5 \text{ m/s} \\ \text{Putaran poros} &= 600 \text{ rpm} \\ \text{Torsi} &= 1,37 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka dapat dihitung :

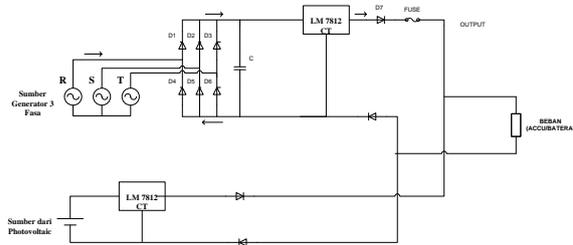
$$\begin{aligned} P_{out} &= T \times \omega \\ P_{out} &= T \times \frac{\pi \times n}{30} \\ P_{out} &= 1,37 \times \frac{3,14 \times 600}{30} \\ P_{out} &= 86,036 \text{ watt} \end{aligned}$$

G. Peralatan Penunjang

1. Penyearah dan Sistem Penyatuan Sumber Tegangan DC.

Penyearah generator 3 fasa sendiri sudah dijelaskan diatas, bawasannya sumber tiga fasa dapat disearahkan enjadi tegangan DC dengan 3 dioda.

Untuk sistem penyatuan sistem DC sendiri adalah mengubah nilai tegangan kedua sumber menjadi DC dan mengubah nilai tegangan keluaran menjadi sama. Setelah nilai tegangan kedua sumber sama maka penggabungan kedua sumber dapat dilakukan.



Gambar 3.11 Alat Penggabungan Sumber DC

2. Baterai

Baterai adalah sebuah sel atau elemen sekunder dan merupakan sumber arus listrik searah. Fungsi lain dari baterai adalah untuk menampung arus listrik, dan berfungsi sebagai sumber.

3. Multimeter

Multimeter atau avometer adalah sebuah alat elektronik yang berfungsi untuk mengetahui nilai tegangan, arus, frekuensi dll

4. Tachometer

Tachometer berfungsi untuk mengetahui kecepatan putar.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA ALAT

A. Pendahuluan

Dalam bab ini mengetahui *energy* yang didapatkan oleh turbin serta mengetahui besar tegangan yang dihasilkan, serta tegangan photovoltaic.

B. Pengujian

Pengujian generator magnet peranen fluks aksial dilakukan agar mengetahui perbandingan hasil perencanaan dan pengukuran generator. Pengujian ini harus menggunakan alat ukur dalam keadaan baik.

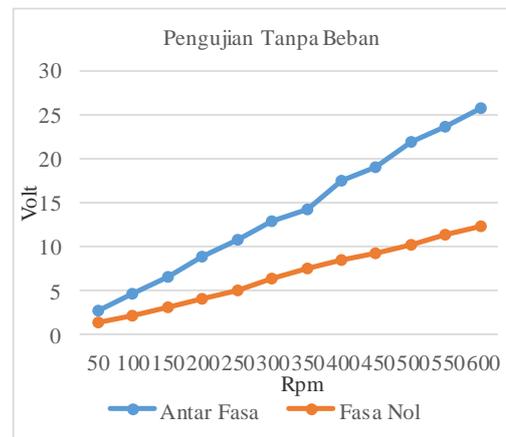
1. Tanpa Beban

Pengukuran keluaran generator dilakukan jum'at, 21 Juni 2019. Data yang didapat dari pengujian harusnya tegangan, arus, dan rpm yang dilakukan bertempat di kampus 2 ITN Malang Gedung Lab Elektro Laboratorium Konversi Energi Elektrik lantai 1 sampai selesai guna mengetahui karakteristik dari generator itu, berikut hasil pengukuran generator yang didapat.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Generator Tanpa Beban

No	Frekuensi (Hz)	Rpm	Tegangan Stator (Volt)	
			Antar Fasa (R-S)	Fasa Nol (R-N)
1	6.1	50	2.6	1.2
2	11.39	100	4.5	2.1
3	15.2	150	6.4	2.9
4	20.9	200	8.7	4.0
5	25	250	10.7	4.9
6	29.6	300	12.9	6.3
7	34.7	350	14.2	7.5
8	39.7	400	17.5	8.3
9	44	450	18.9	9.1
10	50.1	500	21.9	10.1

Berdasarkan table diatas bahwasannya kecepatan berbanding lurus dengan nilai tegangan.



Gambar 4.5 Grafik Tegangan AC dan Rpm Generator Tanpa Beban

Grafik diatas diperoleh darihasil pengukuran pada 21 Juni 2019. Pengisian baterai tegangan harusnya lebih 12 volt maka generator minimal berputar pada putaran 300 rpm dengan tegangan keluaran sebesar 12,9 volt.

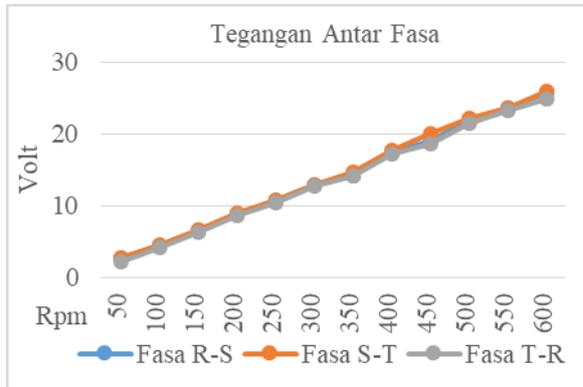
2. Pengujian Generator Antar Fasa

Pada pengujian ini generator yang dikopel dengan motor akan diukur keluaran tegangan menggunakan voltmeter digital. Bertujuan untuk mengetahui kinerja generator.

Tabel 4.3 Tegangan Antar Fasa pada Generator

No	Frekuensi	Rpm	Tegangan (volt)		
			Fasa RS	Fasa ST	Fasa TR
1	6.1	50	2.6	2.7	2.2
2	11.39	100	4.5	4.5	4.1
3	15.2	150	6.4	6.6	6.2
4	20.9	200	8.7	8.9	8.5
5	25	250	10.7	10.8	10.3
6	29.6	300	12.9	12.9	12.6

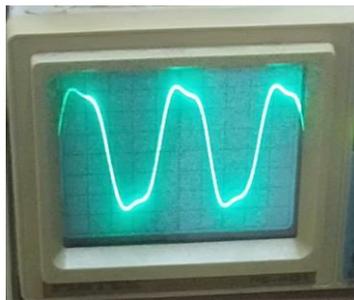
7	34.7	350	14.2	14.6	14.2
8	39.7	400	17.5	17.7	17.1
9	44	450	18.9	20	18.5
10	50.1	500	21.9	22.1	21.5
11	55.1	550	23.5	23.6	23.2
12	60.1	600	25.7	25.9	24.9



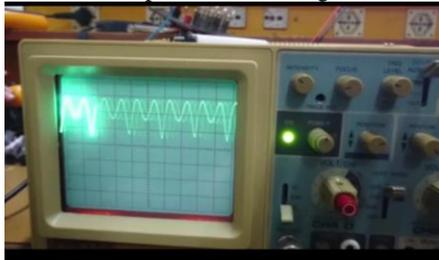
Gambar 4.7 Grafik Tegangan AC Hubungan Bintang
Pada table dan grafik diatas menunjukkan bawasannya tegangan antar fasa generator adalah seimbang

3. Pengujian Gelombang Generator pada Osiloskop

Pengujian gelombang keluaran generator dilakukan untuk mengetahui hasil gelombang keluaran generator, apakah berbentuk sinusoida atau tidak.



Gambar 4.8 Tampilan Gelombang AC Generator



Gambar 4.9 Tampilan Gelombang DC Generator Setelah Dioda

4. Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

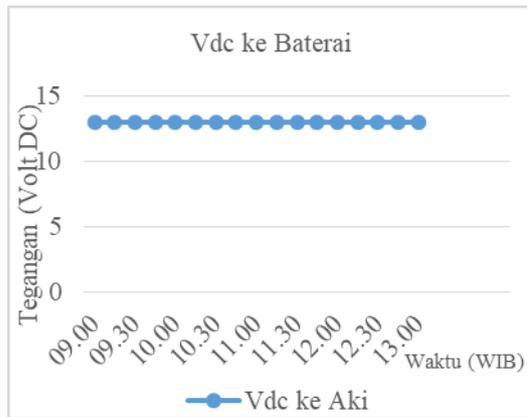
Pengujian dan pengukuran keseluruhan alat pembangkit listrik tenaga hybrid kombinasi PV dan PLTB mulai dari generator, turbin angin sumbu vertical jenis darrieus type H dan photovoltaic.

Pengujian dilakukan pada tanggal 28 Juni 2019. Pengambilan data dilakukan mulai jam 09.00-14.00 untuk mengetahui karakteristik pembangkit secara keseluruhan. Namun kecepatan angin yang paling normal pada jam 09.00-13.00 sedangkan cahaya matahari normal hanya sesekali cahaya tertutup awan. Lokasi yang dipakai untuk mengaplikasikan alat di Pantai Bajulmati yang beralamatkan Jalan Lintas Selatan Rt/Rw 42/05 Gajahrejo, Umbulrejo, Gajahrejo, Gedangan, Malang, Jawa Timur berikut hasil pengukuran.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Pengisian Baterai Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

No	Waktu	Rpm Generator	Vac Generator (Volt)	Vdc Generator (Volt)
1	09.00	80	2.9	2.5
2	09.15	90	3.4	3.2
3	09.30	120	5.5	5.1
4	09.45	100	4.5	4.1
5	10.00	90	4	3.8
6	10.15	80	3.9	3.4
7	10.30	65	3,1	2.8
8	10.45	50	2.6	2.2
9	11.00	75	3,5	3.1
10	11.15	65	3.1	2.8
11	11.30	85	3,7	3.3
12	11.45	95	4,2	3.8
13	12.00	105	4.8	4.4
14	12.15	90	4	3.6
15	12.30	88	3.9	3.2
16	12.45	90	4	3.6
17	13.00	100	4.5	3.1

No	Waktu	V Pv (Volt)	Vdc ke Aki (volt)	Arus Generator (A)	Arus PV (A)
1	09.00	19.45	12	0.01	3.5
2	09.15	19.46	12	0.01	3.5
3	09.30	19.50	12	0.02	3.5
4	09.45	20.15	12	0.02	3.5
5	10.00	20.15	12	0.01	3.5
6	10.15	20.15	12	0.01	3.5
7	10.30	20.15	12	0.01	3.5
8	10.45	20.15	12	0.01	3.5
9	11.00	20.36	12	0.01	3.7
10	11.15	20.36	12	0.01	3.7
11	11.30	20.40	12	0.01	3.7
12	11.45	20.45	12	0.01	3.9
13	12.00	21.15	12	0.01	3.9
14	12.15	21.15	12	0.01	3.9
15	12.30	20.90	12	0.01	3.9
16	12.45	20.85	12	0.01	3.8
17	13.00	20.85	12	0.01	3.8



Gambar 4.10 Grafik Tegangan DC ke Baterai.

Data diatas menunjukkan bahwa pembangkit yang bekerja lebih dominan adalah PLTS atau Photovoltaic. Arus dari Photovoltaik lebih dominan dikarenakan tegangan yang dihasilkan dapat maksimal.

Tegangan baterai mula 10.7 Volt setelah pengisian 4 jam lamanya tegangan baterai naik menjadi 11.5 Volt dengan nilai arus rata-rata 3.5 Ampere. Tegangan naik dikarenakan terjadi pengisian baterai.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari penelitian yang dilaksanakan maka didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Generator bekerja pada putaran 500 rpm dengan nilai frekuensi 50 Hz dengan nilai tegangan 21.9 volt
2. Pengukuran yang dilakukan di pantai bajulmati untuk mengetahui kinerja alat secara keseluruhan, namun saat pengaplikasian photovoltaic lebih dominan menghasilkan energy listrik sebagai sumber pengisian baterai.
3. Penggabungan dua sumber memakai penggabungan sumber DC yaitu menurunkan kedua tegangan menjadi 12 volt menggunakan sebuah kiprok sepeda motor.
4. Pengisian baterai dominan mendapatkan arus listrik yang dihasilkan photovoltaic dengan nilai tegangan yang masuk ke baterai rata-rata sebesar 12.8 – 13.6 volt dengan nilai arus rata-rata 3.5 Ampere
5. Tegangan pada baterai mula-mula sebesar 10.7 setelah pengecasan selama 4 jam naik menjadi 11.5 volt

REFERENSI

- [1] Jati W. Dimas. Sukmadi Tejo, Karnoto. (2013). "Perancangan Generator Fluks Aksial Putaran Rendah Permanen Jenis Neodymium (NdFeB) Dengan Variasi Celah Udara". Semarang: Universitas Diponegoro-Fakultas Teknik

- [2] Studi Teknik Elektro Unsoed, Program Studi Teknik Pertanian Unsoed, Program Studi Agribisnis Unsoed.
- [3] Napitupulu H. Farel, Napitupulu K. Ekawira. " Uji Performasi Turbin Angin Tipe Darrieus –H Dengan Profil Sudu Naca 0012 dan Analisa Perbandingan Efisiensi Menggunakan Variasi Jumlah Sudu dan Sudut Pitch". Sumatera Utara: Universitas Teknik Mesin, Fakultas Teknik.
- [4] Gunandhi Albert, Mulyono Julius. (2007). "Prototipe Penyatuan Sumber Tegangan DcC pada Sistem Hybrid PLN dengan Energi Terbarukan". Surabaya: Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya-Fakultas Teknik
- [5] Banartama Athur Zulfakar, Dr. Ir. Windarto Joko, MT. "Sistem Tenaga Listrik Hybrid (PLTH) yang Dibuat di Kedubes Austrian". Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia: Mahasiswa dan Dosen Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro



VI. BIODATA PENULIS

Penulis lahir di Mojokerto, Jawa Timur pada tanggal 04 Juni 1997, anak pertama Dari Bapak Jani dan Ibu Samiaseh. Penulis memulai pendidikan pada tahun 2003 di SDN WONODADI 1 dan lulus pada tahun 2009. Kemudian penulis melanjutkan dengan menempuh pendidikan di SMP Negeri 2 Kutorejo pada tahun 2012. Pada tahun 2012 penulis melanjutkan menempuh pendidikan di SMK Negeri 1 Pungging dengan mengambil Jurusan Teknik Instalasi Tenaga Listrik kemudian lulus pada tahun 2015. Setelah lulus dari SMK penulis melanjutkan studi di perguruan tinggi Institut Teknologi Nasional Malang. Kali ini penulis memilih Program Studi Teknik Elektro S-1 dengan Peminatan Teknik Energi Listrik, Fakultas Teknologi Industri dan diwisuda pada tanggal 28 September 2019 dengan judul "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Photovoltaic dan Turbin Angin Sumbu vertikal Menggunakan Generator Magnet Permanen Fluks Aksial Tiga Fasa Putaran Rendah"