

PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN MENGGUNAKAN GENERATOR DC DI PELABUHAN TANJUNG PERAK SURABAYA

Arya Dimas Priyambodo

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : aryapriyambodo@mhs.unesa.ac.id

Achmad Imam Agung

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : imamagung@yahoo.com

Abstrak

Sepanjang sejarah manusia kemajuan-kemajuan besar dalam kebudayaan selalu diikuti oleh meningkatnya konsumsi energi listrik. Peningkatan tersebut berhubungan langsung dengan tingkat kehidupan masyarakat serta kemajuan industrialisasi. Penggunaan bahan bakar meningkat secara tajam. Disisi lain bahan bakar fosil makin lama makin menipis oleh sebab itu diperlukan alternatif sumber energi yang dapat memenuhi kebutuhan energi. Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan perencanaan prototype pembangkit listrik tenaga angin di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen, hal-hal yang perlu diperhatikan dalam melaksanakan penelitian eksperimen antara lain adalah pengenalan material yang digunakan dalam percobaan, mencatat berbagai hal yang berhubungan dengan penelitian dapat berupa data kuantitatif tentang performance penelitian yang dilakukan, kemudian dilanjutkan dengan melakukan analisis. Kesimpulan pada penelitian ini dengan kecepatan angin rata-rata 9.0 m/s mampu memutar turbin angin dengan rpm turbin sebesar 96 rpm dan rpm generator sebesar 1045 rpm, dapat menghasilkan tegangan sebesar 10.5 volt dengan arus pengisian baterai tanpa beban sebesar 0,30 A dan arus pengisian baterai dengan beban sebesar 0,38 A.

Kata Kunci : Energi Terbarukan, Kecepatan Angin, Turbin Angin Horizontal.

Abstract

Throughout human history major advances in culture have always been followed by increasing consumption of electricity. This increase is directly related to the level of people's lives and the progress of industrialization. The use of fuel has increased. Other side, fossil fuels are increasingly depleting because of that, alternative energy sources are needed that can meet energy needs. The purpose of this study was to plan a wind power plant prototype at the Port of Tanjung Perak Surabaya. In this study using the experimental method, the things that need to be considered in carrying out experimental research include the introduction of the material used in the experiment, recording various things related to the research can be quantitative data about the performance of the research carried out, then proceed with the analysis. The conclusion of this study with an average wind speed of 9.0 m / s capable of rotating wind turbines with turbine rpm of 96 rpm and generator rpm of 1045 rpm, it can produce a voltage of 10.5 volts with a battery charging current without a load of 0,30 A and battery charging current with a load of 0.38 A.

Keywords : Renewable Energy, Wind Speed, Horizontal Wind Turbines.

PENDAHULUAN

Salah satu sumber energi yang banyak digunakan adalah energi fosil. Sayangnya energi ini termasuk energi yang tidak dapat diperbaharui dan jika energi fosil ini habis maka diperlukan sumber-sumber energi baru. Pada tahun 2014, cadangan minyak bumi sebesar 3,6 miliar barel, gas bumi sebesar 100,3 TCF dan cadangan batubara sebesar 32,27 miliar ton. Bila diasumsikan tidak ada penemuan cadangan baru, berdasarkan rasio R/P

(Reserve/Production) tahun 2014, maka minyak bumi akan habis dalam 12 tahun, gas bumi 37 tahun, dan batubara 70 tahun. Cadangan ini bahkan akan lebih cepat habis dari tahun yang disebut diatas karena kecenderungan produksi energi fosil yang terus meningkat (BPPT, 2016).

Energi angin adalah udara yang bergerak dari tekanan tinggi menuju ke tekanan rendah atau sebaliknya yaitu dari suhu udara yang rendah ke suhu udara yang lebih tinggi. Energi angin merupakan salah satu sumber

energi baru dan terbarukan yang dapat dimanfaatkan masyarakat untuk memenuhi kebutuhan energi. Salah satu pemanfaatan potensial energi angin adalah untuk menggerakkan turbin. Turbin tersebut dapat menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik atau dapat pula menggerakkan pompa air untuk memompa air tanah.

Pemanfaatan energi angin sebagai pembangkit listrik merupakan pemanfaatan energi terbarukan yang paling berkembang saat ini. Pemanfaatan energi angin dapat dilakukan di daerah landai maupun dataran tinggi, bahkan dapat diterapkan di laut. Diharapkan dengan diberdayakannya Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Indonesia, akan menjadi salah satu solusi sumber energi alternatif.

Pada skripsi ini dilakukan dengan tujuan memaparkan suatu hasil Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Alasan penulis melakukan penelitian di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dikarenakan salah satu faktor yang mempengaruhi kecepatan angin adalah keadaan topografi, daratan atau lautan dan adanya pepohonan ketiga hal tersebut sangat berpengaruh pada kerja laju angin. Apabila angin menerpa topografi daratan maka akan mengikuti keadaan permukaan daratan jika angin menerpa topografi lautan maka angin akan lebih bebas bergerak dan adanya pepohonan sangat berpengaruh pada pergerakan angin semakin sempit dan sedikit. Lokasi dari Pelabuhan Tanjung Perak sendiri merupakan perbatasan antara daratan dan lautan tanpa terhalang bangunan gedung dan pepohonan seperti ditengah kota sehingga lokasi tersebut diharapkan dapat memanfaatkan angin lokal yang berhembus seperti angin darat yang terjadi ketika pada malam hingga dini hari dan angin laut yang terjadi ketika pada pagi hingga menjelang sore hari. Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin dapat menjadi dasar dalam pemanfaatan dan pengembangan lebih lanjut energi terbarukan khususnya energi angin guna mencukupi kebutuhan energi listrik.

KAJIAN PUSTAKA

Energi Terbarukan

Energi alternatif merupakan energi yang dapat digunakan sebagai pengganti energi yang berasal dari bahan bakar konvensional. Sedangkan definisi dari energi terbarukan merupakan energi yang berasal dari proses alam yang berkelanjutan dan senantiasa tersedia di alam sehingga tidak dikhawatirkan jumlahnya. Angin adalah udara yang bergerak dari tekanan tinggi menuju ke tekanan rendah atau sebaliknya yaitu dari suhu udara yang rendah ke suhu udara yang lebih tinggi. Pada suatu wilayah daerah yang menerima energi panas matahari lebih besar akan mempunyai suhu udara yang lebih panas

dan tekanan udara yang cenderung rendah. Sehingga akan terjadi perbedaan suhu dan tekanan udara antara daerah yang menerima energi panas lebih besar dengan daerah lain yang lebih sedikit menerima energi panas, akibatnya akan terjadi aliran udara pada wilayah tersebut.

Energi angin dapat dikonversikan menjadi energi mekanik, seperti pada penggilingan biji, pemompaan air untuk irigasi, pengering arau pencacah hasil panen, pendingin ikan pada perahu-perahu nelayan dan lain-lain. Selain itu, pemanfaatan energi angin dapat dilakukan dimana-mana, baik di daerah landai maupun dataran tinggi, bahkan dapat diterapkan di laut.

Energi angin dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut,

1. Energi Kinetik Angin

$$E = \frac{1}{2} mv^2 \tag{1}$$

Keterangan :

- E = Energi kinetik (*Joule*)
- m = Massa benda bergerak (kg)
- v = Kecepatan angin (m/s)

2. Daya Angin

$$P = \frac{1}{2} \rho Av^3 \tag{2}$$

Keterangan :

- P = Energi angin (watt)
- ρ = Massa jenis udara (kg/m³)
- A = Area penangkapan angin (m²)

3. Daya Turbin Angin

$$T = F \cdot r \tag{3}$$

Maka dapat diperoleh daya yang dihasilkan oleh turbin dengan persamaan :

$$P_{out} = T \times \omega = T \frac{\pi n}{v} \tag{4}$$

Keterangan :

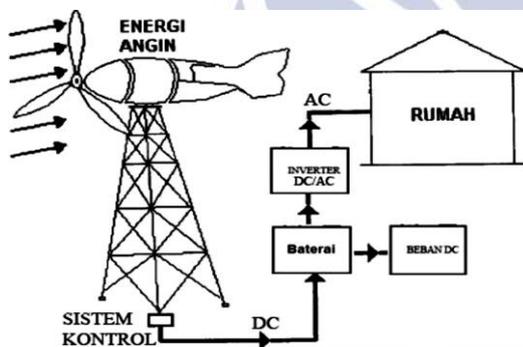
- P_{out} = Daya yang dihasilkan turbin angin (Watt)
- T = Torsi (Nm²)
- F = Gaya putar (Nm)
- r = Panjang lengan gaya (m)
- ω = Kecepatan sudut (rad/s)
- n = Putaran poros (RPM)

(Sumber : Handoko, 2016)

Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Pembangkit listrik tenaga angin adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik. Turbin angin dapat mengubah energi angin menjadi energi pemutar generator. Apabila tegangan generator cukup tinggi, relai tegangan akan menutup sakelar pengisi baterai aki sehingga baterai aki diisi oleh generator. Apabila angin berkurang dan agar tidak terjadi aliran daya balik dari baterai aki diisi oleh generator. Maka relai daya balik akan membuka sakelar tadi. Pasokan daya untuk pemakai diambil dari baterai aki. Tenaga angin termasuk sebagai tenaga surya dikarenakan baik angin lokal (misalnya angin darat dan angin laut) terjadi akibat pemanasan permukaan bumi oleh matahari yang selanjutnya menimbulkan perbedaan suhu diantara dua tempat di permukaan bumi ini.

Pada perkembangannya, energi angin dikonversikan menjadi energi mekanik dan dikonversikan menjadi energi listrik. Proses konversi energi angin dapat di tunjukkan pada Gambar 1 dibawah ini :



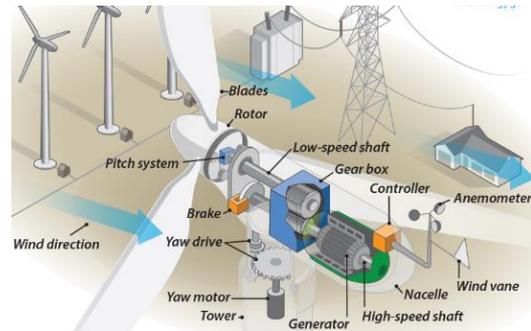
Gambar 1 Konversi Energi Angin
(Sumber : Habibi, 2013)

Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Angin

1. Turbin Angin

Dalam perkembangan teknologi turbin angin, umumnya dikenal dua jenis turbin angin, yaitu turbin angin propeller dan turbin Darrieus. Saat ini kedua jenis turbin angin inilah yang sering mendapat perhatian besar untuk dikembangkan. Turbin angin Propeller adalah jenis turbin angin dengan poros horizontal, berbentuk seperti baling-baling pesawat terbang pada umumnya. Dalam penggunaannya, turbin angin ini memerlukan penyesuaian dengan arah angin untuk bisa mendapatkan kecepatan angin yang paling tinggi.

Didalam turbin angin terdapat beberapa bagian seperti yang terlihat dalam Gambar 2 :



Gambar 2 Bagian Turbin Angin
(Sumber : Habibi, 2013)

2. Anemometer

Mengukur kecepatan angin, dan mengirim data angin ini ke alat pengontrol.

3. Bilah Kipas (*Blades*)

Kebanyakan turbin mempunyai 2 atau 3 lebih bilah kipas, angin yang menghembus menyebabkan turbin tersebut berputar.

4. Sistem Pengereman

Digunakan untuk menjaga putaran pada poros setelah gearbox agar bekerja pada titik aman saat terdapat angin yang besar. Alat ini perlu dipasang karena generator memiliki titik kerja aman dalam pengoperasiannya, kehadiran angin diluar batas kemampuannya akan menyebabkan kerusakan pada generator.

5. Alat Pengontrol

Alat pengontrol ini mulai menstart turbin pada kecepatan angin kira – kira 8 – 25 km/jam, dan mematikannya pada kecepatan 90 km/jam. Turbin tidak beroperasi di atas 90 km/jam, karena angin terlalu kencang dan dapat merusak turbin angin.

6. Battery Charge Controller

Digunakan untuk menjaga daya arus listrik yang masuk pada aki agar tidak melewati beban yang mampu diterima oleh aki.

7. Penyimpan Energi

Karena angin tidak bertiup sepanjang hari, diperlukan alat untuk menyimpan daya listrik yang sudah dihasilkan oleh turbin angin. Dengan menggunakan aki sebagai alat penyimpan energi, maka masalah keterbatasan dari energi dapat diatasi.

8. Inverter

Inverter banyak digunakan dalam aplikasi turbin angin yang umumnya digunakan sebagai supply AC. Dengan inverter, tegangan DC dari aki akan dikonversi menjadi tegangan AC yang siap digunakan.

Jenis – Jenis Turbin Angin

Turbin angin dibagi menjadi dua kelompok utama berdasarkan arah sumbu :

1. Turbin Horizontal

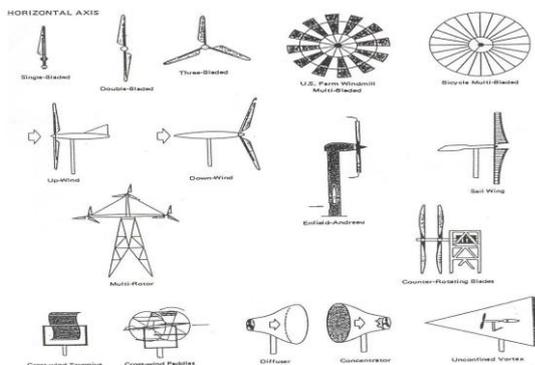
Turbin angin dengan sumbu horizontal mempunyai sudu yang berputar dalam bidang vertikal seperti halnya propeler pesawat terbang. Gambar 3 memperlihatkan berbagai jenis turbin angin horizontal. Turbin angin biasanya mempunyai sudu dengan bentuk irisan melintang khusus di mana aliran udara pada salah satu sisinya dapat bergerak lebih cepat dari aliran udara di sisi yang lain ketika angin melewatinya perbedaan tekanan ini membentuk gaya yang menyebabkan sudu berputar. Kelebihan Turbin Angin Sumbu Horizontal :

- a. Turbin angin yang menggunakan menara yang tinggi maka peluang untuk mendapatkan angin dengan kekuatan yang lebih besar.
- b. Efisiensi lebih tinggi, karena blades selalu bergerak tegak lurus terhadap arah angin, menerima daya sepanjang putaran.

2. Turbin Vertikal

Turbin angin dengan sumbu vertikal bekerja dengan prinsip yang sama seperti halnya kelompok horizontal. Namun, sudunya berputar dalam bidang yang paralel dengan tanah, seperti mixer kocokan telur.

Setiap jenis turbin angin memiliki ukuran dan efisiensi yang berbeda. Turbin angin yang mempunyai jumlah sudu banyak akan mempunyai torsi yang besar dan dapat berputar dengan kecepatan angin yang kecil. Turbin jenis ini banyak digunakan untuk keperluan mekanikal dan juga dapat sebagai keperluan pembangkitan listrik. Sedangkan turbin angin dengan jumlah sudu sedikit, misalnya dua atau tiga, diperlukan kecepatan angin yang cukup besar sehingga dapat digunakan untuk keperluan pembangkitan listrik. (Daryanto, 2007)



Gambar 3 Berbagai Jenis Turbin Angin
(Sumber: Nakhoda, 2015)

Generator DC

Generator adalah suatu mesin yang mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik. Tenaga mekanik digunakan untuk memutar kumparan kawat penghantar dalam medan magnet ataupun sebaliknya memutar magnet diantara kumparan kawat penghantar. Tenaga mekanik dapat berasal dari tenaga panas, potensial air, motor diesel, motor bensin dan ada yang berasal dari motor listrik.

1. Generator Penguat Terpisah

Generator penguat terpisah hanya dipakai dalam keadaan tertentu saja. Dengan terpisahnya sumber arus kemagnitan dari generator, berarti besar kecilnya arus kemagnitan tidak terpengaruh oleh nilai-nilai arus ataupun tegangan generator. Dari rangkaian listrik generator penguat terpisah diperoleh persamaan (Arindya, 2012)

$$\text{Persamaan arus} : I_m = \frac{E_m}{R_m} \quad (5)$$

$$I_a = I_L \quad (6)$$

$$\text{Persamaan tegangan} : E = E_k + I_a R_a + 2\Delta E \quad (7)$$

$$E_k = I_L R_L \quad (8)$$

Keterangan :

E = GGL induksi terbentuk pada lilitan jangkar.

E_k = Tegangan jepit (V).

E_m = Tegangan penguat magnit (V).

ΔE = Kerugian tegangan pada sikat (V).

I_m = Arus kemagnitan (A).

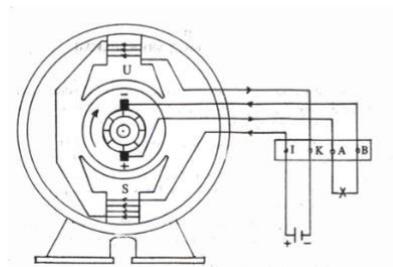
I_a = Arus jangkar (A).

I_L = Arus beban (A).

R_a = Tahanan lilitan jangkar (Ω).

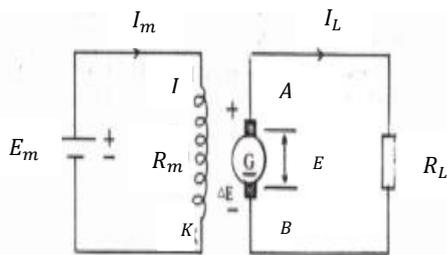
R_m = Tahanan lilitan penguat (Ω).

Pada Gambar 4 menunjukkan gambar generator penguat terpisah.



Gambar 4 Generator penguat terpisah
(Sumber : Arindya, 2012)

Pada Gambar 5 menunjukkan gambar rangkaian listrik generator penguat terpisah.



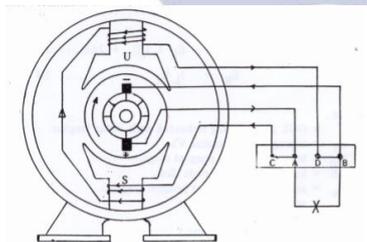
Gambar 5 Rangkaian listrik generator penguat terpisah
(Sumber : Arindya, 2012)

2. Generator Penguat Sendiri

Generator penguat sendiri memperoleh arus kemagnetan dari dalam generator itu sendiri, maka dengan sendirinya arus kemagnetan akan terpengaruh oleh nilai-nilai tegangan dan arus yang terdapat pada generator.

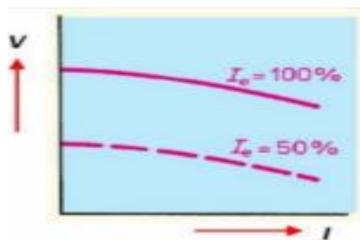
Dalam hal ini medan magnet yang terdapat menimbulkan GGL mula-mula, ditimbulkan oleh adanya remanensi magnet (magnet tinggal) pada kutub-kutubnya. Salah satu contoh generator penguat sendiri adalah generator shunt yaitu generator penguat sendiri di mana lilitan penguat magnetnya dihubungkan shunt (*pararel*) dengan lilitan jangkar.

Pada Gambar 6 menunjukkan gambar generator shunt.



Gambar 6 Generator Shunt
(Sumber : Arindya, 2012)

Pada Gambar 7 menunjukkan gambar karakteristik generator shunt.

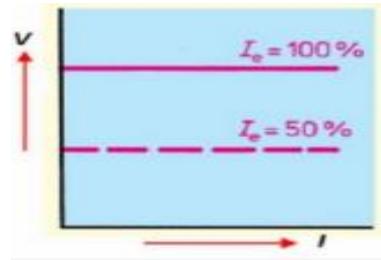


Gambar 7 Karakteristik Generator Shunt
(Sumber : Setiawan, 2018)

3. Generator Kompon

Generator kompon adalah generator arus searah yang lilitan penguat magnetnya terdiri dari lilitan penguat shunt dan lilitan penguat seri.

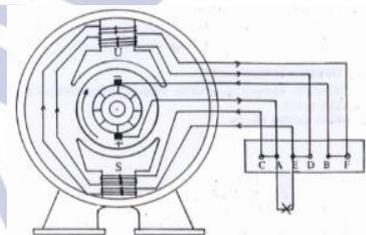
Pada Gambar 8 menunjukkan gambar karakteristik generator kompon.



Gambar 8 Karakteristik Generator Kompon
(Sumber : Setiawan, 2018)

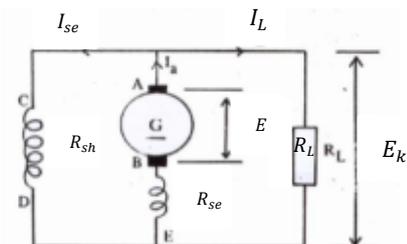
Tegangan output generator terlihat konstan dengan pertambahan arus beban, baik pada arus eksitasi penuh maupun eksitasi 50%. Hal ini disebabkan oleh adanya penguatan lilitan seri, yang cenderung naik tegangannya jika arus beban bertambah besar. Jadi ini merupakan kompensasi dari generator shunt, yang cenderung tegangannya akan turun jika arus bebannya naik

Salah satu contoh generator kompon adalah generator kompon panjang. Generator kompon yang lilitan penguat serinya terletak pada rangkaian jangkar. Pada Gambar 9 menunjukkan generator kompon panjang.



Gambar 9 Generator Kompon panjang
(Sumber : Muslim, 2009)

Pada Gambar 10 menunjukkan rangkaian listrik generator kompon panjang.



Gambar 10 Rangkaian listrik Generator kompon panjang
(Sumber : Muslim, 2009)

Dari Gambar 10 menunjukkan I_{se} merupakan arus kemagnitan, I_L merupakan arus beban, C dan D merupakan lilitan penguat, R_{sh} merupakan tahanan lilitan penguat, A merupakan line (+), B merupakan line (-), R_L merupakan beban.

METODE PENELITIAN

Pendekatan penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen. Metode eksperimen adalah penelitian ilmiah dan pengamatan yang dilakukan melalui perubahan-perubahan terencana terhadap variabel input suatu proses sehingga dapat membawa perubahan pada output sebagai respon dari eksperimen yang telah dilakukan. yang sistematis terhadap bagian-bagian dan fenomena serta hubungan-hubungannya. Dalam metode eksperimen yang perlu diperhatikan dalam melaksanakan penelitian eksperimen antara lain adalah pengenalan material yang digunakan dalam percobaan, mencatat berbagai hal yang berhubungan dengan penelitian dapat berupa data kuantitatif tentang performance penelitian yang dilakukan, kemudian dilanjutkan dengan melakukan analisis. Gambar 11 menunjukkan alur penelitian :

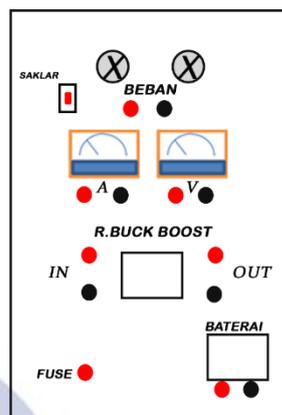


Gambar 11 Diagram alir Perencanaan *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Angin. (Sumber: Data penelitian, 2018)

Desain Panel Kontrol

Berikut adalah desain perencanaan *prototype* pembangkit listrik tenaga angin.

Pada Gambar 12 menunjukan gambar desain panel kontrol pembangkit listrik tenaga angin.



Gambar 12 Desain panel kontrol *prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Sumber : Data Penelitian, 2018)

Desain Turbin Angin

Berikut adalah desain *prototype* pembangkit listrik tenaga angin.

Pada Gambar 13 menunjukkan desain turbin angin dapat dilihat di bawah ini :



Gambar 13 Desain Turbin Angin (Sumber : Data Penelitian, 2018)

Teknik Analisis Data

Rancangan penelitian yang telah dibuat sebelumnya, prosedur untuk tiap tahapan akan dipaparkan sebagai berikut:

1. Melakukan *survei* ke PT. Pelindo III Cabang Surabaya dan BMKG Maritim Perak II Surabaya.
2. Pengumpulan data yang telah didapatkan meliputi data angin yang berhembus pada lokasi.
3. Rancangan desain turbin yang akan digunakan, generator, beban, dan komponen yang akan digunakan
4. Merakit komponen dan peralatan yang digunakan untuk pembuatan *prototype* pembangkit listrik tenaga angin.

5. Melihat rpm yang didapatkan generator setelah turbin berputar mencapai ≥ 1000 rpm.
 - a. Jika “Ya” melakukan tahap selanjutnya.
 - b. Jika “Tidak ” Mengulangi tahap sebelumnya.
6. Pengambilan dan analisis data akan ditampilkan berapa rpm yang didapat generator dan turbin, tegangan yang dihasilkan oleh generator, arus pengisian baterai, dan lama pengisian baterai.
7. Pada tahap akhir ini peneliti akan menarik kesimpulan dari hasil analisis *prototype* pembangkit listrik tenaga angin yang telah dibuat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil kegiatan pembuatan Skripsi yang berjudul “*Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Angin Di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya” berhasil menghasilkan sebuah rangkaian yang berfungsi merubah energi angin yang berhembus menjadi energi listrik yang dapat disimpan pada baterai untuk menyalakan sebuah beban lampu.

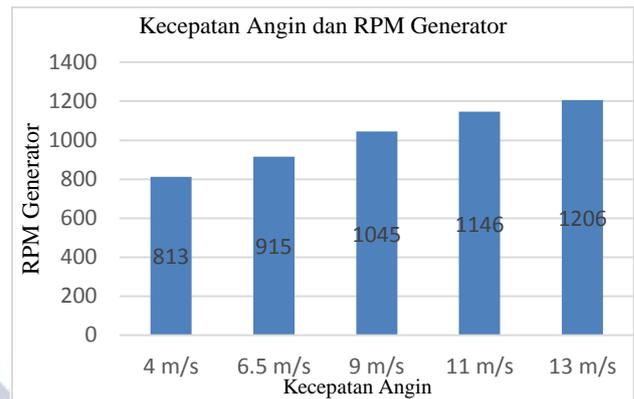
Pengujian dilakukan dengan 5 tahapan, yaitu pengujian menggunakan data kecepatan angin yang berbeda didapat pada Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya yaitu dengan kecepatan 4 m/s, 6,5 m/s, 9 m/s, 11 m/s, dan 13 m/s. Data yang diambil untuk pengujian meliputi, kecepatan rpm dari turbin, kecepatan rpm dari generator, tegangan, arus, dan lama pengisian baterai. Pada Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian pembangkit listrik tenaga angin

Tabel 1 Hasil Pengujian
(Sumber: Data penelitian, 2018)

Kecepatan Angin (m/s)	RPM Generator	RPM Turbin	Tegangan Generator (V)	Arus Pengisian Baterai (A)	Tegangan Output (V)
4.0	813	73	7.85	0.15	13,2
6.5	915	87	9.42	0.24	13,2
9.0	1045	96	10.5	0.30	13,2
11	1146	114	11.3	0.38	13,2
13	1206	135	12.1	0.43	13,2

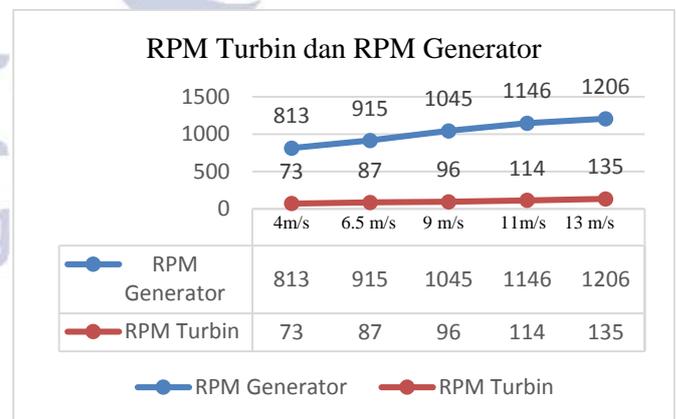
Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa saat pengujian menggunakan 4 m/s, 6,5 m/s, 9 m/s, 11 m/s, dan 13 m/s ini merupakan kecepatan rata-rata pada Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Baterai yang digunakan memiliki spesifikasi 12 volt untuk dapat mengisi baterai tegangan output harus 10% lebih besar dari tegangan baterai maka tegangan output pada buckboost converter diatur mencapai pada tegangan 13,2 volt yang digunakan untuk pengisian baterai.

Berdasarkan tabel 1 hasil pengujian diatas dapat dibuat grafik yang terdapat pada Gambar 14 sampai 16.



Gambar 14 Grafik Perbandingan Kecepatan Angin dan RPM Generator
(Sumber: Data penelitian, 2018)

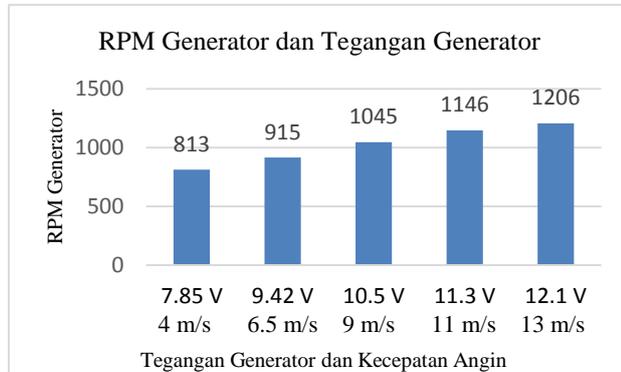
Dari Gambar 14 menunjukkan perbandingan antara kecepatan angin yang ada dan rpm yang didapatkan ketika angin dapat memutar turbin angin untuk menghasilkan energi listrik. Dapat dilihat bahwa pada saat angin bertiup dengan kecepatan 4.0 m/s maka rpm generator yang didapatkan adalah 813 rpm, kemudian jika angin bertiup pada kecepatan 6.5 m/s maka rpm generator yang didapatkan adalah 915 rpm, ketika kecepatan angin yang bertiup 9.0 m/s maka rpm generator yang dihasilkan adalah sebesar 1045 rpm, pada kecepatan angin yang bertiup 11 m/s rpm generator yang diperoleh adalah 1146 rpm, ketika kecepatan angin yang bertiup 13 m/s maka rpm yang didapatkan 1206 rpm. Dari hasil perbandingan tersebut diketahui rpm terbesar yang didapatkan generator 1206 rpm dengan kecepatan angin 13 m/s.



Gambar 15 Grafik Perbandingan RPM Turbin dan RPM Generator
(Sumber: Data penelitian, 2018)

Dari Gambar 15 menunjukkan perbandingan antara rpm turbin dan rpm generator yang didapatkan ketika angin bertiup pada kecepatan 4 m/s sampai 13 m/s untuk perbandingan gearbox yang digunakan untuk

menghubungkan antara turbin angin dan generator adalah 1 : 10. Dapat dilihat bahwa pada saat rpm turbin sebesar 73 rpm maka rpm yang didapatkan oleh generator sebesar 813 rpm, pada saat turbin memiliki rpm 87 maka generator memiliki 915 rpm, kemudian pada kecepatan angin 9 m/s rpm turbin sebesar 96 rpm generator memiliki 1045 rpm, pada kecepatan 11 m/s turbin mendapatkan 114 rpm dan generator memiliki 1146 rpm, saat angin bertiup pada kecepatan 13 m/s turbin memiliki 135 rpm dan generator mendapat 1206 rpm.



Gambar 16 Grafik Perbandingan RPM Generator dan Tegangan Generator
(Sumber: Data penelitian, 2018)

Dari Gambar 16 menunjukkan rpm generator dan besar tegangan yang didapatkan ketika angin bertiup pada kecepatan 4 m/s sampai 13m/s. Dapat dilihat pada grafik diatas pada saat angin bertiup pada kecepatan 4 m/s generator berputar 813 rpm dan tegangan yang dihasilkan adalah 7.85 v, ketika angin bertiup pada kecepatan 6.5 m/s rpm generator sebesar 915 rpm dan tegangan yang dapat dihasilkan 9.42 v, kemudian angin berhembus pada kecepatan 9 m/s generator memiliki 1045 rpm dan menghasilkan 10.5 v, pada kecepatan angin 11 m/s rpm generator sebesar 1146 rpm dan tegangan yang dihasilkan 11.3 v, pada kecepatan angin 13 m/s generator memiliki 1206 rpm dan tegangan yang dihasilkan sebesar 12.1 v.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan yaitu Perencanaan dan Implementasi *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Angin dapat diambil kesimpulan dari Tabel 1 kinerja *Prototype* pembangkit listrik tenaga angin yang telah dibuat dengan kecepatan angin sebesar 9 m/s didapatkan kecepatan putaran turbin 96 rpm, dengan kecepatan putaran generator sebesar 1046 rpm turbin dapat memutar generator yang sebelumnya sudah dihubungkan menggunakan gearbox dan generator dapat menghasilkan

tegangan sebesar 10,5 volt, arus pengisian baterai yang didapatkan tanpa beban lampu adalah 0,30 A.

Saran

Setelah dilakukan percobaan pengukuran ada beberapa hal yang dapat menjadi saran untuk penelitian selanjutnya, lebih ditingkatkan ketelitiannya dalam hal pembuatan turbin angin agar memperoleh hasil yang maksimal dan lebih presisi, generator yang digunakan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin sebaiknya generator yang memiliki torsi kecil namun daya keluaran yang dihasilkan besar. Bilah kipas sebaiknya terbuat dari bahan yang ringan dan kuat, membuat lebih banyak variasi sudu turbin agar data yang diperoleh lebih bervariasi dan akurat, gunakan model *gearbox* dengan berbandingan yang lebih banyak agar mendapatkan putaran yang besar. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya agar ditambahkan cut off pada pengisian baterai agar baterai yang digunakan dapat awet dan tidak cepat rusak.

DAFTAR PUSTAKA

- Arindya, Radita. 2012. "Penggunaan dan Pengaturan Motor Listrik". Graha Ilmu. Indonesia, Tangerang Selatan.
- BPPT. 2016. "Outlook Energi Indonesia 2016". Jakarta. (<https://www.bppt.go.id/outlook-energi/bppt-outlook-energi-indonesia-2016>).
- Daryanto, 2007. "Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu". Balai PPTAGG-UPT-LAGG, Indonesia.
- Habibi, Muhammad. 2013. "Analisis Perbandingan Ekonomis Dan Elektris Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Homer Dii PLTH Bantul Yogyakarta". Jurnal Teknik Elektro, Universitas Jember.
- Handoko, Dwi. 2016. "Rancangan Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Dinamo Sebagai Generator Pembangkit". Surabaya : PPs Universitas Negeri Surabaya.
- Muslim, Supari dan Joko. 2009. "Teknik Perencanaan Dan Instalasi Listrik". Surabaya
- Nakhoda, Yusuf Ismail. 2015. "Rancang Bangun Kincir Angin Sumbu Vertikal Pembangkit Tenaga Listrik Portabel". Jurnal Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Malang.
- Setiawan, David. 2018. "Perencanaan Dan Implementasi Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)". Surabaya : PPs Universitas Negeri Surabaya.