

**PEMBUATAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
ANGIN BERKAPASITAS 100 WATT**

SKRIPSI

untuk memenuhi salah satu persyaratan
mencapai derajat Sarjana S1



Disusun oleh:

Muhammad Iqbal

14524004

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

PEMBUATAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN BERKAPASITAS

100 WATT

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Muhammad Iqbal

14524004

Telah dipertahankan di depan dewan penguji

Pada tanggal: 14-Agustus-2018

Susunan dewan penguji

Ketua Penguji : R M Sisdarmanto Adinandra S.T.,M.Sc,Ph.D. , 

Anggota Penguji 1: Firmansyah Nur Budiman, S.T.,M.Sc. , 

Anggota Penguji 2: Alvin Sahroni, S.T.,M.Eng,Ph.D 

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana

Tanggal: 20 Agustus 2018

Ketua Program Studi Teknik Elektro




Yusof Aziz Amrulloh, S.T.,M.Eng,Ph.D

045240101

PERNYATAAN

PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan Saya juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Skripsi yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal penggunaan informasi dan materi Skripsi terkait paten maka akan diskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut diatas.

Yogyakarta, 20 Agustus 2018



Muhammad Iqbal

KATA PENGANTAR



AssalamualaikumWr. Wb.

Puji syukur atas rahmat Allah SWT yang telah melancarkan serta memudahkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Judul dari tugas akhir ini adalah Pembuatan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Berkapasitas 100 Watt, harapan penulis dengan adanya tugas akhir ini dapat mempunyai manfaat bagi kalangan mahasiswa dan masyarakat luas. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga serta para sahabat-nya, karena dengan syafa'atnya kita dapat hijrah dari zaman jahiliyah sehingga menuju ke zaman yang terang benderang. Semoga kita dapat menjadi umat-umatnya yang mendapat syafaat Nabi Muhammad SAW di yaumul akhir nanti.

Dengan selesainya tugas akhir ini, penulis ingin berterima kasih dengan segala pihak yang memberikan bantuan, serta bimbingan.

1. Allah SWT, karena dengan rahmat-Nya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan lancar.
2. Bapak Sisdarmanto Adinandra, S.T., M.Sc., Ph.D, selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan pengarahan dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
3. Orang tua penulis atas segala dukungan yang berupa moral dan materi serta doa yang selalu menyertai sehingga melancarkan segala urusan dalam pelaksanaan tugas akhir ini.
4. Kepada pihak-pihak pantai baru yang telah memberikan pengetahuan serta informasi tentang PLTB.
5. Teman-teman Teknik Elektro FTI UII 2014 yang telah memberikan dukungan serta motivasi untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Seluruh keluarga besar Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam proses Tugas Akhir ini.
7. Dan pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu secara langsung maupun tidak dalam proses Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan Tugas Akhir ini mempunyai kesalahan dan kekurangan sehingga jauh dalam kata sempurna. Akan tetapi penulis berharap agar dari Tugas Akhir ini dapat menambah wawasan dan ilmu yang bermanfaat bagi penulis maupun orang lain.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Daftar Lambang dan Singkatan	Arti
PLTB	Pembangkit Listrik Tenaga Angin
GGL	Gaya Gerak Listrik
AC	<i>Alternating Current</i> (Arus bolak-balik)
MPPT	<i>Maksimum Power Point Tracker</i>

ABSTRAK

Kondisi geografis Indonesia mempunyai sumber daya alam dengan potensi yang baik untuk pengembangan energi terbarukan. Salah satunya adalah angin, angin merupakan salah satu sumber daya alam di Indonesia yang dapat dimanfaatkan karena Indonesia adalah negara kepulauan yang mempunyai jalur pantai sepanjang 81000 km. Sumber daya energi angin terbesar terletak dilautan dan dekat pantai. Sumber daya angin ini dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik dengan menggunakan sebuah turbin angin sehingga penelitian ini merupakan pembuatan prototipe yang dapat menyimulasikan sebuah pembangkit listrik tenaga angin (PLTB). Prototipe pembangkit listrik tenaga angin ini diuji dengan menyimulasikan kecepatan angin rata – rata di beberapa daerah Indonesia. Kecepatan angin tersebut bernilai antara 3 m/s – 7 m/s. Kecepatan angin dari *blower* diatur dengan menggunakan *dimmer* agar dapat merendahkan dan mempercepat kecepatan angin yang menyapu luas permukaan turbin angin. Dari putaran turbin angin tersebut secara langsung memutar rotor sehingga generator dapat menghasilkan tegangan listrik. Keluaran dari generator tersebut disambungkan dengan beban. Total beban pada penelitian ini adalah 15 Watt. Dengan membandingkan antara daya yang keluar dari generator dan daya yang dihitung dengan menggunakan perumusan daya yang dapat dikeluarkan oleh turbin angin maka dapat diperoleh efisiensi kerja generator yang digunakan pada penelitian ini. Efisiensi generator tertinggi adalah pada saat kecepatan angin 6 m/s, dengan nilai hanya mencapai 6,86%. Efisiensi kerja generator dapat stabil diatas 5% pada saat kecepatan angin dari 5 m/s – 7 m/s. Penyebab Efisiensi kerja generator kurang baik adalah jumlah putaran yang dihasilkan oleh turbin angin kurang dapat memaksimalkan kerja generator.

Kata Kunci : Sumber Daya Alam, Energi Terbarukan, PLTB, Efisiensi Generator

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Studi Literatur	3
2.2 Potensi Angin di Indonesia	4
2.3 Tinjauan Teori.....	4
2.3.1 Tenaga Angin.....	5
2.3.2 Energi Mekanik.....	5
2.3.1 Turbin Angin.....	6
2.3.2 Energi Listrik	6
2.3.3 Teknik Instalasi Listrik	7
BAB 3 PERANCANGAN SISTEM	9
3.1 Alur Penelitian	9
3.2 Perancangan Sistem	10

3.2.1 <i>Blower</i>	11
3.2.2 Turbin Angin.....	11
3.2.3 Generator	12
3.2.4 Beban	12
3.3 Prosedur Uji Coba dan Analisis.....	13
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	14
4.1 Pengujian Tanpa Beban	14
4.2 Pengujian Berbeban	15
4.3 Perbandingan Daya Total dan Daya Secara Teori	16
4.4 Perhitungan Efisiensi Generator	16
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	18
5.1 Kesimpulan	18
5.2 Saran	18
DAFTAR PUSTAKA	19
LAMPIRAN	20

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 PLTB secara umum	4
Gambar 2.2 Sistem 3 Fasa Hubungan Bintang	7
Gambar 2.3 Sistem 3 Fasa Hubungan Delta	8
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	9
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan).....	10
Gambar 3.3 Blok Diagram Perancangan.....	10
Gambar 3.4 Turbin angin	11
Gambar 3.5 Generator	12
Gambar 4.1 Grafik Garis Tegangan Antar Fase Tanpa Beban	14

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil studi potensi angin di Indonesia	4
Tabel 3.1 Daya Secara Teori	12
Tabel 4.1 Tegangan Antar Fase.....	15
Tabel 4.2 Arus Fase.....	15
Tabel 4.3 Daya Tiap Fase dan Daya Total	16
Tabel 4.4 Perbandingan Daya Total dan Daya Teoritis	16
Tabel 4.5 Efisiensi Generator.....	17

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terbesar didunia. Negara ini mempunyai jalur pantai sepanjang 81000 km. Kondisi geografis alam di Indonesia mempunyai potensi yang baik dalam pengembangan energi terbarukan, yang salah satunya energi angin. Energi angin tersebut dapat dijadikan salah satu energi alternatif yang dapat mengurangi bahan bakar fosil dalam penggunaan listrik [1].

Listrik adalah suatu sumber energi dimana dapat memindahkan energi menjadi suatu bentuk elektronik yang lainnya. Energi listrik ini sangat dibutuhkan oleh berbagai tingkatan masyarakat. Perkembangan teknologi menyebabkan suatu kemudahan dalam pengadaan suatu energi listrik. Dengan adanya perkembangan teknologi, maka ada berbagai cara untuk membangkitkan suatu energi listrik. Energi listrik ini dapat dibangkitkan oleh suatu sistem pembangkit listrik, sebagai contoh angin, sinar matahari, bahan bakar fosil, dan lain sebagainya [2].

PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Angin) adalah suatu sistem yang membutuhkan angin sebagai sumber yang akan dikonversikan menjadi energi listrik. Konsep sederhana PLTB adalah angin sebagai sumber untuk memutarakan kincir yang tersambung dengan generator dimana generator tersebut mempunyai lilitan tembaga sehingga terjadinya GGL (gaya gerak listrik). Setelah GGL tersebut menghasilkan listrik, aliran listrik tersebut disimpan melalui baterai agar dapat digunakan ke beban, contoh lampu atau kipas angin [3].

Topik yang akan digunakan pada tugas akhir ini adalah mengenai pembuatan sistem pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) dengan kapasitas 100 watt. Tenaga angin adalah sumber alami yang tidak terbatas. Dengan memanfaatkan tenaga angina, maka kita dapat menghasilkan listrik yang ramah lingkungan [3]. Pada dasarnya PLTB ini adalah termasuk dalam energi terbarukan. Oleh karena itu, tugas akhir penulis adalah pembuatan sistem PLTB berupa prototipe yang diuji dengan menggunakan kecepatan angin rata-rata di beberapa daerah Indonesia.

Dengan mengasumsikan bahwa kecepatan angin rata-rata di beberapa daerah Indonesia adalah sekitar 3 m/s – 7 m/s [4], maka simulasi angin pada pembuatan sistem pembangkit listrik tenaga angin mempunyai batasan variabel kecepatan angin yaitu 3 m/s – 7 m/s. Berdasarkan potensi angin dan kondisi geografis di Indonesia yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik sehingga tugas akhir ini berkaitan dengan pembuatan sistem pembangkit listrik tenaga angin dengan generator berkapasitas 100 watt. Sistem PLTB ini dirancang untuk memudahkan penggunaan listrik dalam instalasi listrik rumah tangga.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem pembangkit listrik tenaga angin dengan generator yang berkapasitas 100 watt ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini :

1. Pada saat pengujian prototipe PLTB menggunakan variabel kecepatan angin antara 3 m/s – 7 m/s.
2. Menggunakan generator AC 12 Volt dengan keluaran 3 fase tanpa fase netral.
3. Menggunakan beban berupa lampu 5 watt setiap saluran.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membuat prototipe PLTB dengan menggunakan simulasi angin.
2. Mengetahui efisiensi dari generator.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah menambah pengetahuan sistem pembangkit listrik tenaga angin yang dapat mempermudah dalam penerapan instalasi rumah tangga maupun lingkungan kampus.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Pada dasarnya pembangkit listrik tenaga angin ini telah banyak diteliti oleh peneliti sebelumnya. Pada tahun 2013, Sumiati [3] membahas permasalahan tentang pengaruh jumlah , variasi kecepatan angin dan pengaruh jumlah lilitan terhadap kerja turbin angin savonis dengan arus yang dihasilkan. Metode yang digunakan adalah melakukan percobaan. Percobaan tersebut menggunakan suatu miniatur turbin yang mempunyai 3 variabel bebas sebagai acuan untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing variabel terhadap kerja turbin angin. Variabel bebas tersebut adalah jumlah sudu, jumlah lilitan dan kecepatan angin. Terdapat dua hasil dari pengujian utama. Pertama, adanya hubungan kecepatan angin dengan tegangan yang dihasilkan. Semakin cepat kecepatan angin maka semakin besar momentum angin yang menghasilkan putaran pada kincir angin tersebut. Akibat dari putaran kincir angin tersebut menyebabkan peningkatan tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator turbin. Kedua, adanya korelasi dari jumlah lilitan pada generator terhadap tegangan yang dihasilkan. Ketika suatu generator mempunyai lilitan yang lebih banyak maka tegangan yang dikeluarkan menjadi lebih besar. Ketiga, korelasi dari jumlah sudu terhadap tegangan yang dihasilkan, semakin banyak jumlah sudu maka menghasilkan tegangan yang lebih besar. Hal tersebut karena semakin banyak jumlah sudu maka gaya dorong pada putaran turbin lebih besar sehingga putaran motor yang dihasilkan semakin meningkat.

Pada tahun 2016, Hidayatullah dan Ningrum [2] membahas tentang permasalahan meningkatkan efisiensi rasio daya keluaran pembangkit listrik tenaga angin. Pembangkit listrik tenaga angin mempunyai efisiensi daya yang rendah, sehingga energi angin yang dapat di proses hanya sekitar 30% hingga 40%. Metode yang digunakan adalah *Maximum Power Point Tracker* (MPPT). MPPT adalah suatu metode untuk mengoptimalkan daya keluaran dari pembangkit listrik tenaga angin. MPPT tersebut dapat digunakan untuk mengoptimalkan daya yang keluar dari generator. Selain itu, fungsi MPPT dapat digunakan sebagai pengendali daya yang berlebihan ketika kecepatan angin melebihi beban pada turbin angin. Hasil dari metode MPPT ini adalah sistem ini dapat meningkatkan efisiensi daya yang keluar. Rasio daya yang keluar lebih tinggi menggunakan MPPT.

2.2 Potensi Angin di Indonesia

Dari studi pada tempat yang berpotensi menunjukkan bahwa memungkinkan pengembangan PLTB di Indonesia dengan kapasitas skala sedang maupun besar. Berikut data dari hasil studi angin dapat dilihat pada Tabel 2.1 [4] :

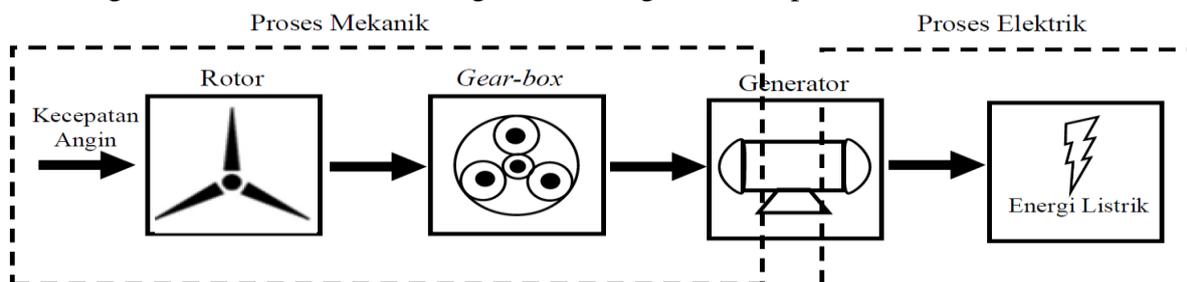
Tabel 2.1 Hasil studi potensi angin di Indonesia [4]

Tempat Studi	Kecepatan Angin Rata-Rata (m/s)
Baron, DIY	6,13
Lebak, Banten	5,58
Nusa Penida, Bali	2,73
Oelbubuk, NTT	6,1
Bantul, DIY	4
Sukabumi, Jawa Barat	6,27
Purworejo, Jawa Tengah	5,16
Garut, Jawa Barat	6,57
Sidrap, Sulawesi Selatan	6,43
Joneponto, Sulawesi Selatan	7,96
Selayar, Sulawesi Selatan	4,6

Berdasarkan Tabel 2.1 yang menyatakan bahwa beberapa daerah di Indonesia mempunyai rata-rata kecepatan angin antara 3 m/s – 7 m/s.

2.3 Tinjauan Teori

Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) merupakan suatu sistem pembangkit listrik yang mengonversikan suatu energi kinetik dari udara menjadi energi mekanik yang menyebabkan putaran yang terjadi pada generator sehingga menghasilkan arus listrik. Energi angin dimanfaatkan untuk memutar baling-baling sehingga rotor berputar. Ketika rotor berputar maka secara otomatis generator tersebut akan mengalirkan energi listrik, seperti Gambar 2.1 dibawah ini :



Gambar 2.1 PLTB secara umum

2.3.1 Tenaga Angin

Energi angin merupakan bentuk tidak langsung dari energi matahari karena angin terjadi akibat pemanasan yang tidak merata pada permukaan bumi oleh matahari sehingga terjadilah perbedaan tekanan pada atmosfer. Aliran angin bergerak dari daerah yang mempunyai tekanan tinggi ke daerah yang mempunyai tekanan rendah [6]. Oleh karena itu energi angin juga merupakan suatu energi kinetik dari pergerakan massa udara. Sistem PLTB memanfaatkan energi angin untuk memutarakan turbin, sehingga dengan adanya putaran dari turbin tersebut dapat mengonversikan energi angin menjadi energi listrik [2]. Perumusan energi kinetik pada suatu turbin sebagai berikut :

$$Ek = \frac{1}{2}mv^2 , \quad (2.1)$$

dengan nilai :

Ek = Energi Kinetik (Joule),

m = massa udara (kg),

v = kecepatan angin (m/s).

Laju aliran massa diberikan oleh persamaan :

$$m = \rho Av , \quad (2.2)$$

dengan nilai :

ρ = massa jenis angin (kg/m^3) (ketetapan $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$),

A = luas penampang turbin (m^2) bisa ditulis ($A = \pi r^2$).

Dengan mengubah massa udara pada Persamaan 2.1 dengan Persamaan 3.2, maka diperoleh perumusan daya total yang dihitung dari kecepatan angin sebagai berikut.

$$P_a = \frac{1}{2}\rho Av^3 , \quad (2.3)$$

dengan nilai :

P_a = daya angin (Watt).

2.3.2 Energi Mekanik

Energi mekanik pada turbin angin merupakan salah satu proses yang terjadi pada konversi energi. Koefisien daya (C_p) pada turbin angin adalah ukuran efisiensi untuk mengubah daya angin menjadi daya mekanik dan nilai dari efisiensi tersebut tidak dapat melebihi 0,593 yang dikenal sebagai batas betz [7],[8].

$$C_p = \frac{P_m}{P_a} , \quad (2.4)$$

dengan nilai :

P_m = daya mekanik (watt),

C_p = Koefisien daya pada turbin angin.

Sehingga daya mekanik pada turbin angin dapat diekspresikan sebagai berikut,

$$P_m = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p , \quad (2.5)$$

dengan asumsi bahwa massa jenis udara konstan dan kondisi kerja turbin ideal, maka nilai C_p dapat diketahui yaitu 0,593 [6]. Angka tersebut secara teori adalah nilai efisiensi maksimal yang dapat dicapai oleh turbin angin.

Dari Persamaan 2.5, dengan mengganti C_p sebesar 0,593 dapat dinyatakan bahwa daya maksimum atau kondisi ideal turbin angin dapat dilihat dari persamaan 2.6.

$$P_{maks} = 0,2965 \rho A v^3 , \quad (2.6)$$

dengan nilai :

P_{maks} = daya maksimum atau daya turbin angin dalam kondisi ideal.

2.3.1 Turbin Angin

Turbin angin adalah bagian dari sistem PLTB yang mengubah energi angin menjadi energi mekanik. Perubahan energi ini terjadi karena bentuk dari turbin angin seperti baling-baling. Turbin angin ini dapat berputar ketika ada angin yang menyapu area turbin sebagai energi pendorong turbin. Putaran dari baling-baling tersebut dimanfaatkan untuk memutar rotor pada generator [2].

2.3.2 Energi Listrik

Generator pada PLTB digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Pada saat angin memutar turbin yang dihubungkan dengan shaft pada generator, shaft pada generator tersebut yang terhubung dengan magnet permanen akan berputar pada porosnya. Diluar putaran porosnya tersebut terdapat stator yang berisi kumparan-kumparan kawat yang membentuk loop. Jadi ketika turbin berputar maka dari putaran tersebut akan terjadi perubahan fluks listrik tertentu. Dari perubahan fluks listrik tersebut menghasilkan tegangan dan arus listrik yang dapat dimanfaatkan sebagai energi listrik [9].

Energi listrik pada turbin angin merupakan proses terakhir yang terjadi pada konversi energi. Yang dimaksud energi listrik ini adalah perubahan dari energi mekanik melalui generator sehingga menjadi arus listrik. Generator tersebut mempunyai efisiensi kerja [8]. Sehingga dapat dirumuskan,

$$P_{tin} = n_g P_m , \quad (2.7)$$

dengan nilai :

P_{tin} = daya total input (Watt),

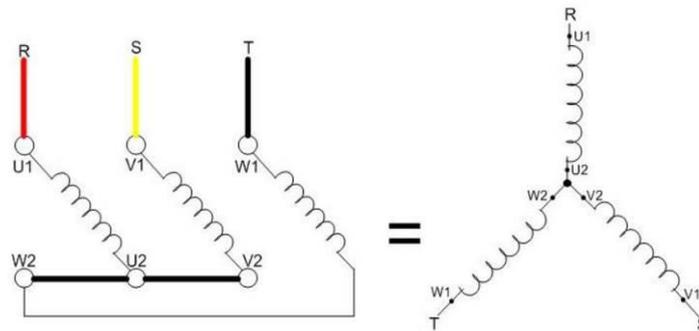
n_g = efisiensi generator.

2.3.3 Teknik Instalasi Listrik

Teknik instalasi 3 fase mempunyai 2 jenis secara umumnya, yaitu sistem 3 fase hubungan bintang dan sistem 3 fase hubungan delta [10].

1. Sistem 3 fase hubungan Bintang

Sistem 3 fase hubungan bintang dapat dilihat seperti Gambar 2.2, Setiap fase dihubungkan menjadi terhubung 1 titik. Titik tersebut dihubungkan dengan fase netral.



Gambar 2.2 Sistem 3 Fasa Hubungan Bintang

Arus listrik tiap fase sama dengan arus line yang terhubung dengan tiap fase. Sedangkan tegangan line sama dengan 1,73 tegangan fase. Notasi persamaannya sebagai berikut :

$$V_L = \sqrt{3}V_f , \quad (2.8)$$

dengan nilai :

V_L = Tegangan saluran (Volt),

V_f = Tegangan fase (Volt).

$$I_L = I_f , \quad (2.9)$$

dengan nilai :

I_L = Arus saluran (Ampere),

I_f = Arus fase (Ampere).

Pada sebuah beban seimbang, rumus umum untuk daya tiap fase adalah seperti Persamaan 2.10.

$$P_f = V_f I_f \cos \varphi , \quad (2.10)$$

dengan nilai :

P_f = Daya Listrik tiap fase (Watt),

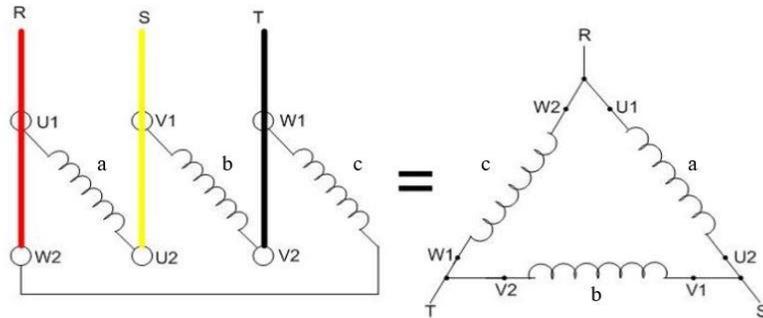
$\cos \varphi$ = Koefisien Faktor Daya.

Daya total tiga fase pada beban seimbang merupakan tiga kali daya fase, dapat dilihat seperti Persamaan 2.11.

$$P_{total} = 3P_f \quad (2.11)$$

2. Sistem 3 fasa hubungan Delta

Sistem 3 fasa hubungan Delta dapat dilihat seperti Gambar 2.3, Hubungan delta biasa juga disebut hubungan mesh.



Gambar 2.3 Sistem 3 Fasa Hubungan Delta

Tegangan listrik tiap fase sama dengan tegangan line yang terhubung dengan tiap fase. Sedangkan arus line sama dengan 1,73 arus fase. Notasi persamaannya sebagai berikut :

$$I_L = \sqrt{3}I_f , \quad (2.12)$$

$$V_L = V_f . \quad (2.13)$$

Pada sebuah beban setimbang, rumus umum untuk daya tiga fase adalah seperti Persamaan 2.10. Daya total tiga fase pada beban seimbang merupakan tiga kali daya fase, dapat dilihat seperti Persamaan 2.11.

BAB 3

PERANCANGAN SISTEM

Dalam perancangan sistem pembangkit listrik tenaga angin dengan kapasitas daya keluar sebesar 100 watt ini menggunakan suatu turbin angin yang terhubung dengan generator sehingga menghasilkan tegangan listrik. Tegangan listrik ini dimanfaatkan untuk menhidupkan lampu, sehingga dalam proses ini penulis dapat mengukur tegangan listrik serta arus listrik yang keluar. Arus listrik dihasilkan pada generator ini berupa arus bolak balik (AC).

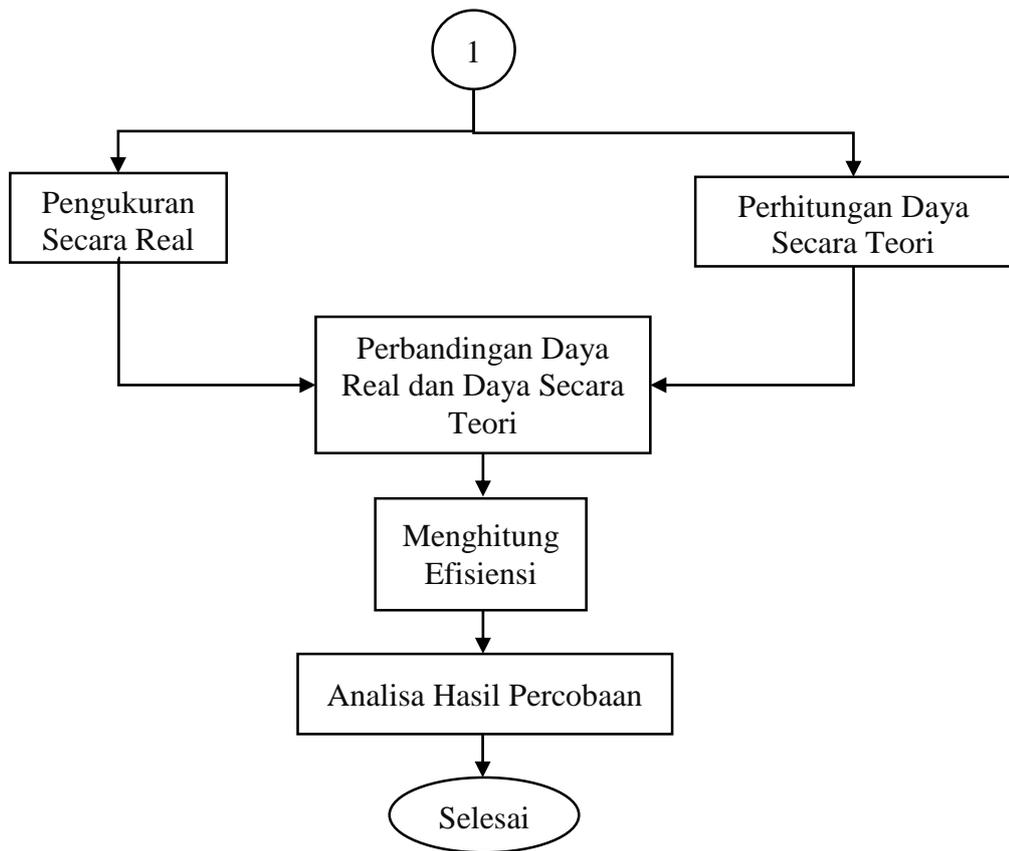
Pengujian sistem ini dilakukan dengan cara menyimulasikan angin menggunakan terowongan angin. Simulasi angin yang dimaksud adalah turbin angin dan generator diletakkan pada terowongan angin yang terdapat *blower*. *Blower* terhubung dengan *dimmer*. *Dimmer* adalah suatu alat yang dapat mengatur besar atau kecilnya tegangan yang masuk ke *blower*. Dengan menggunakan *dimmer*, tegangan masukan *blower* dapat diatur dengan skala 0-100%. Sehingga *blower* dapat dimanipulasi agar mengeluarkan kecepatan angin yang sesuai dengan keinginan penulis. Dengan perbedaan kecepatan angin yang diuji, penulis dapat mengetahui perbedaan tegangan dan arus yang keluar pada generator disetiap kecepatan angin tersebut.

Variasi angin pada pengujian ini menggunakan asumsi bahwa rata-rata kecepatan angin di beberapa daerah Indonesia antara 3 m/s – 7 m/s. Asumsi rata – rata kecepatan angin di beberapa daerah Indonesia antara 3 m/s – 7 m/s didapatkan dari data pada Tabel 2.1.

3.1 Alur Penelitian

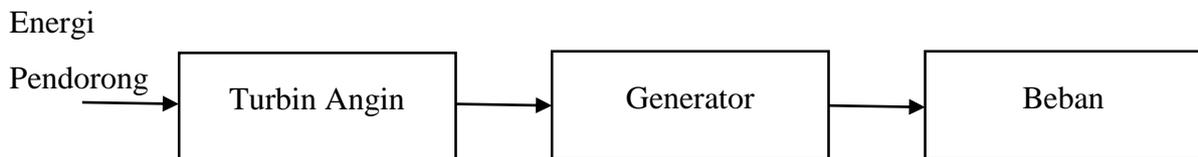


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

3.2 Perancangan Sistem



Gambar 3.3 Blok Diagram Perancangan

Energi pendorong sistem ini adalah angin. Dengan menggunakan sistem pengujian skala laboratorium yakni angin tersebut dibuat dengan menggunakan *blower* sehingga mempunyai variasi angin yang variatif dalam proses pengujian. Jarak antara *blower* dengan turbin angin yaitu 69 cm. *Blower* menghasilkan angin yang dapat diukur oleh anemometer sebagai kecepatan angin sehingga penulis dapat melihat pengaruh energi angin terhadap keluaran generator. Pengukuran kecepatan angin ini menggunakan anemometer yang diukur pada ujung baling-baling. Dengan menggunakan *blower*, angin disetiap ujung baling-baling merupakan kecepatan angin yang paling tinggi dibanding dipermukaan baling-baling lainnya. Energi angin ini menjadi faktor pendorong

turbin angin agar generator dapat menghasilkan tegangan listrik sehingga tegangan tersebut dapat dialiri arus listrik dan menuju ke beban.

3.2.1 Blower

Blower pada sistem PLTB digunakan sebagai energi pendorong turbin. *Blower* menghasilkan angin yang dapat mendorong turbin dengan beberapa variasi kecepatannya. Variasi kecepatan angin pada *blower* diatur menggunakan *dimmer* dengan 5 macam variasi kecepatan angin. Variasi kecepatan angin pada pengujian sistem PLTB adalah 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, 6 m/s, 7 m/s. Dengan menggunakan *dimmer*, tegangan masukan *blower* dapat diatur dengan skala 0-100%. Pada saat 39%, kecepatan angin yang dihasilkan oleh blower adalah 3 m/s. Pada saat 42%, kecepatan angin yang dihasilkan oleh blower adalah 4 m/s. Pada saat 44%, kecepatan angin yang dihasilkan oleh blower adalah 5 m/s. Pada saat 50%, kecepatan angin yang dihasilkan oleh blower adalah 6 m/s. Pada saat 68%, kecepatan angin yang dihasilkan oleh blower adalah 7 m/s.

3.2.2 Turbin Angin

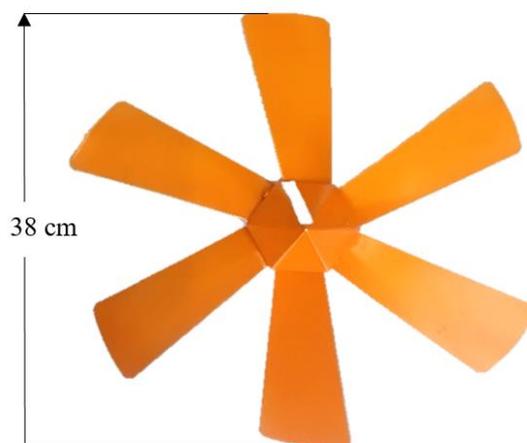
Turbin angin yang akan digunakan untuk tugas akhir ini mempunyai diameter 38 cm atau 0,38 meter. Luas permukaan sapuan angin yang terdapat dari baling-baling tersebut menggunakan luas lingkaran karena bentuk luas sapuan pada permukaan turbin angin berbentuk lingkaran. Luas permukaan sapuan angin pada turbin angin dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$A = \pi r^2, \quad (3.1)$$

dengan nilai :

r = jari-jari turbin angin (meter)

$\pi = 3,14$



Gambar 3.4 Turbin angin

Turbin angin yang digunakan pada tugas akhir ini seperti Gambar 3.4. Dengan menggunakan Persamaan 3.1, dapat ditentukan bahwa luas permukaan sapuan angin untuk turbin angin berdiameter 0,38 meter adalah 0,1134 m².

Perhitungan daya pada Persamaan 2.6 dapat dihitung menggunakan luas permukaan sapuan pada turbin angin dengan beberapa variasi kecepatan angin yang akan dilakukan saat pengujian. Tabel 3.1 merupakan perhitungan daya berdasarkan teori dari Persamaan 2.6.

Tabel 3.1 Daya Secara Teori

Kecepatan Angin (m/s)	Daya Secara Teori (Watt)
3	1,11
4	2,64
5	5,15
6	8,9
7	14,13

3.2.3 Generator

Generator pada sistem PLTB ini menggunakan generator sinkron magnet permanen dengan putaran rendah. Spesifikasi generator yang digunakan pada tugas ini mempunyai nilai daya keluar sebesar 100 watt dan nilai tegangan yang keluar 12 volt AC. Generator yang digunakan ini juga mempunyai keluaran 3 fase tanpa fase netral. Dari keluaran tersebut dapat disambungkan dengan beban. Generator yang digunakan pada tugas akhir ini seperti Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Generator

3.2.4 Beban

Penentuan beban yang digunakan dengan asumsi bahwa kecepatan angin maksimal yaitu 7 m/s seperti pada Tabel 3.1. Daya yang diperoleh pada saat kecepatan angin 7 m/s adalah 14,13

Watt. Jadi dari data yang diambil pada Tabel 3.1 total beban dari 3 fase yang akan penulis gunakan adalah 15 Watt. Instalasi listrik beban menggunakan hubung delta seperti pada Gambar 2.2, tiap fase mempunyai beban sebesar 5 Watt. Beban yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah lampu.

3.3 Prosedur Uji Coba dan Analisis

Pada penelitian Pembuatan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Berkapasitas 100 Watt mempunyai prosedur uji dan analisis dengan metode :

1. Literatur yaitu perhitungan daya yang diperoleh dari teori – teori dari beberapa referensi sebagai dasar pengambilan data.
2. Eksperimen yaitu melalui pengujian komponen secara langsung dengan mengambil data – data yang dibutuhkan dalam proses analisis.

Proses pengujian sistem PLTB pada tugas akhir ini menggunakan trowongan angin dengan *blower* sebagai energi pendorong turbin atau pembuat angin. *Blower* pada pengujian ini mempunyai 5 variasi kecepatan angin, yaitu 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, 6 m/s, 7 m/s. Pengaturan perubahan kecepatan angin agar mempunyai variasi berbeda dengan menggunakan *dimmer*.

Terdapat 2 pengujian utama yang dilakukan :

1. Pengujian tanpa beban, pengujian ini bertujuan untuk menguji bahwa perubahan kecepatan angin dapat mempengaruhi tegangan keluaran generator.
2. Pengujian dengan menggunakan beban, pengujian ini bertujuan untuk dapat mengukur tegangan dan arus dari generator sehingga dapat menghitung daya berdasarkan tegangan dan arus keluaran generator. Setelah mendapatkan data dari daya secara pengukuran pada setiap kecepatan angin maka daya tersebut dapat dibandingkan dengan daya dari Tabel 3.1. Efisiensi generator dapat diperoleh dari perbandingan daya secara teori dan daya real tersebut.

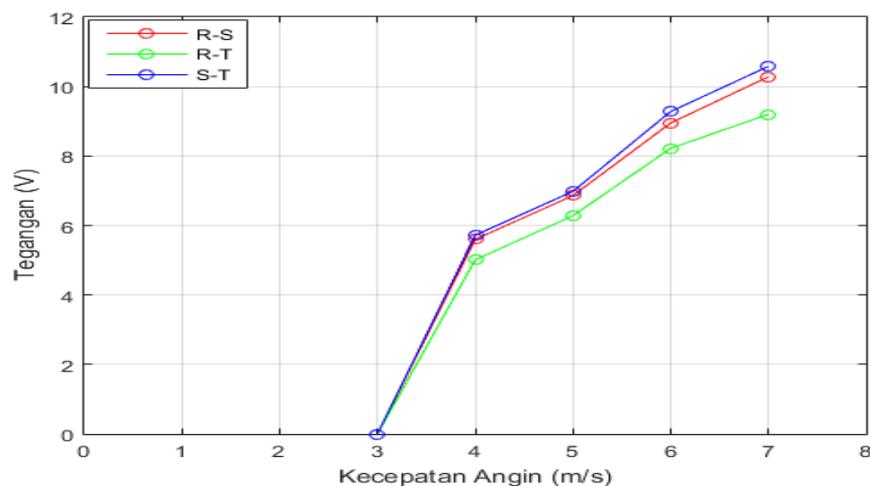
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan dengan menggunakan *blower* yang dapat membuat variasi kecepatan angin. Sehingga proses pengambilan data mempunyai variasi dan perbandingan dari berbagai kecepatan angin. Kecepatan angin yang akan digunakan pada proses pengujian adalah diantara 3 m/s – 7 m/s. Karena pada saat kecepatan angin 3 m/s, turbin angin mulai ingin berputar akan tetapi kecepatan angin masih belum memungkinkan untuk melakukan putaran. Dan nilai maksimum kecepatan yang digunakan adalah 7 m/s.

4.1 Pengujian Tanpa Beban

Pada pengujian tanpa beban, keluaran generator diuji tanpa menggunakan beban. Pengujian ini menggunakan multimeter untuk mengukur tegangan keluar generator. Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui perubahan tegangan yang dikeluarkan oleh generator terhadap perbedaan kecepatan angin.



Gambar 4.1 Grafik Garis Tegangan Antar Fase Tanpa Beban

Dari Gambar 4.1, dapat diketahui bahwa setiap variasi kecepatan angin berpengaruh pada hasil keluaran generator. Semakin tinggi kecepatan angin yang diterima oleh turbin angin membuat putaran pada generator semakin cepat sehingga tegangan keluaran dari generator semakin besar. Hal tersebut membuktikan Persamaan 2.3 bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan daya listrik terhadap angin dan pada Persamaan 2.10 yang menyatakan bahwa daya listrik berbanding lurus dengan tegangan listrik.

4.2 Pengujian Berbeban

Pada pengujian berbeban ini menggunakan 3 buah lampu dengan kapasitas daya 5 Watt pada setiap lampu. Beban terletak pada a,b,c dalam hubungan delta dapat dilihat seperti Gambar 2.3. Pengujian ini dilakukan dengan pengukuran secara langsung dari keluaran generator. Tujuan pengukuran ini adalah mencari tegangan fase dan arus fase yang terdapat pada masing – masing beban.

Tabel 4.1 Tegangan Antar Fase

Kec. Angin (m/s)	V_{R-S} (Volt)	V_{S-T} (Volt)	V_{R-T} (Volt)	V_f rata-rata (Volt)
3	4,93	3,56	3,25	3,91
4	5,8	6,12	5,42	5,78
5	6,62	6,68	6,13	6,48
6	7,33	7,5	6,8	7,21
7	7,89	7,95	7,13	7,66

Tabel 4.2 Arus Fase

Kec. Angin (m/s)	I_R (mA)	I_S (mA)	I_T (mA)	I_f rata-rata (mA)
3	0	0	0	0
4	1,86	4,86	2,32	3,01
5	13,6	18,7	13,82	15,37
6	30,5	30,3	23,8	28,2
7	32,8	32,8	28,6	31,40

Karena menggunakan asumsi bahwa pengukuran dengan beban seimbang maka tegangan dan arus pada setiap fase adalah sama. Jadi tegangan fase dan arus fase yang akan dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.10 merupakan tegangan dan arus rata – rata pada setiap fase.

Berdasarkan Tabel 4.2 dan 4.3, tegangan fase rata - rata dan arus fase rata - rata pada setiap kecepatan angin dapat dihitung untuk menemukan daya fase pada keluaran generator seperti Tabel 4.4, dengan asumsi bahwa $\cos \varphi$ pada Persamaan 2.10 adalah 1, karena menggunakan beban resistif. Untuk memperoleh daya total keluaran pada generator dapat menggunakan Persamaan 2.11, hasil dari daya total keluaran pada generator dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.3 Daya Tiap Fase dan Daya Total

Kec. Angin (m/s)	P _f (Watt)	Daya Total (Watt)
3	0	0
4	0,02	0,06
5	0,1	0,3
6	0,2	0,6
7	0,24	0,72

Dari Tabel 4.4, pada saat kecepatan angin 3 m/s lampu tidak menyala, hal tersebut terjadi karena tegangan terbilang kecil pada saat kecepatan angin 3 m/s. Tegangan terbilang kecil kemungkinan terjadi karena putaran pada turbin angin kurang dapat memaksimalkan kerja generator.

4.3 Perbandingan Daya Total dan Daya Secara Teori

Pada bagian ini membandingkan daya total dengan daya secara teori agar dapat terlihat perbedaan yang terjadi pada perhitungan berdasarkan Persamaan 2.6 yang telah diperhitungkan seperti pada Tabel 3.1. Hal tersebut dihitung berdasarkan luas penampang pada turbin angin dengan kondisi ideal tanpa memperhatikan faktor – faktor lain yang dapat mengganggu kestabilan pada turbin angin. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.4 Perbandingan Daya Total dan Daya Teoritis

Kec. Angin (m/s)	Daya Total (Watt)	Daya teoritis (Watt)
3	0	1,11
4	0,06	2,64
5	0,3	5,15
6	0,6	8,9
7	0,72	14,13

Perbedaan dari daya total dan daya teoritis pada saat kecepatan angin maksimal terlalu signifikan. Pada saat kecepatan angin 7 m/s, hasil dari daya total pada keluaran generator 0,72 Watt sedangkan daya teoritis dapat mencapai 14,13 Watt. Daya total pada keluaran generator lebih kecil. Hal tersebut terjadi karena arus yang mengalir pada beban sangat kecil.

4.4 Perhitungan Efisiensi Generator

Hasil pengujian dari daya keluaran generator dan perhitungan daya teoritis dari mengekstrak energi angin dengan menggunakan turbin angin. Efisiensi dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.1.

$$Efisiensi = \frac{P_{Out}}{P_{In}} \times 100\% , \quad 4.1$$

dengan nilai :

P_{Out} = daya total keluaran/ daya total (Watt)

P_{In} = daya secara teoritis / daya teoritis (Watt)

Berdasarkan Persamaan 4.1, hasil dari efisiensi generator pada sistem PLTB ini seperti pada Tabel 4.6.

Tabel 4.5 Efisiensi Generator

Kec. Angin (m/s)	P _{Out}	P _{In}	Efisiensi %
3	0	1,11	0%
4	0,06	2,64	1,98%
5	0,3	5,15	5,81%
6	0,6	8,9	6,86%
7	0,72	14,13	5,11%

Dari Tabel 4.6 dapat diketahui bahwa efisiensi generator tertinggi pada pengujian ini hanya mencapai 6,86% saat kecepatan angin 6 m/s. Efisiensi kerja generator dapat stabil diatas 5% pada saat kecepatan angin dari 5 m/s – 7m/s. Efisiensi kerja generator tersebut tidak mencapai efisiensi kerja ideal pada generator biasanya, karena generator yang baik mempunyai efisiensi kerja mencapai 80%-100%. Penyebab kerja generator kurang baik adalah jumlah putaran yang dihasilkan oleh turbin angin kurang dapat memaksimalkan kerja generator.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Perubahan kecepatan angin mempengaruhi keluaran generator. Semakin tinggi kecepatan angin maka tegangan yang dihasilkan semakin tinggi.
2. Dengan menggunakan turbin angin yang mempunyai luas permukaan sebesar $0,1134 \text{ m}^2$, daya yang dapat dihasilkan secara teori tidak melebihi 15 Watt.
3. Efisiensi generator tertinggi adalah pada saat kecepatan angin 6 m/s, dengan nilai hanya mencapai 6,86%. Efisiensi kerja generator pada pengujian ini dapat stabil diatas 5% pada saat kecepatan angin dari 5 m/s – 7m/s. Efisiensi kerja generator tersebut tidak mencapai efisiensi kerja ideal pada generator biasanya, karena generator yang baik mempunyai efisiensi kerja mencapai 80%-100%. Penyebab kerja generator kurang baik adalah jumlah putaran yang dihasilkan oleh turbin angin kurang dapat memaksimalkan kerja generator.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian berikutnya :

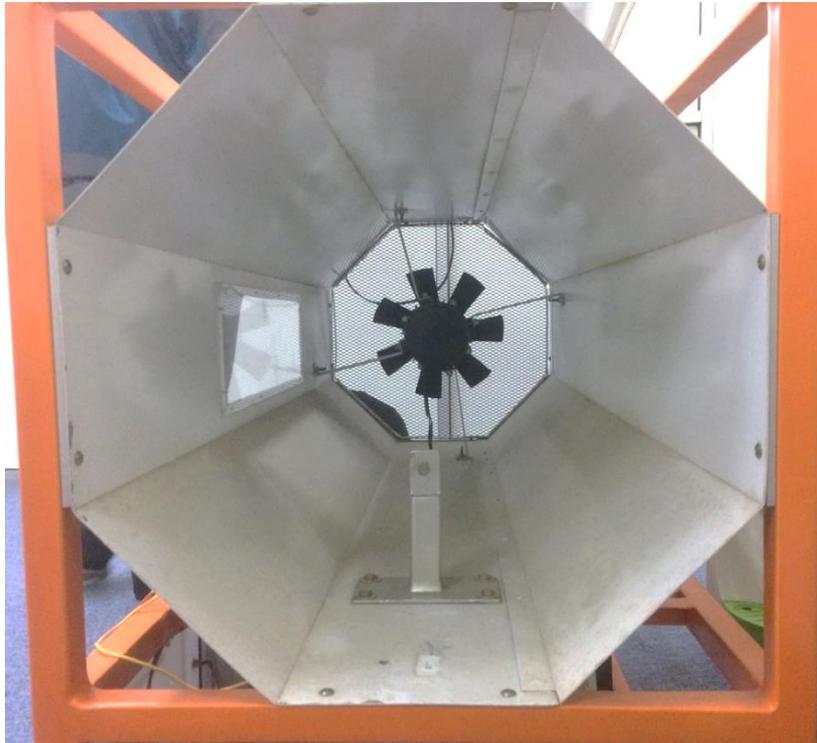
1. Desain baling-baling pada suatu pembangkit listrik tenaga angin harus diperhitungkan agar keluaran pada generator dapat maksimal.
2. Pengujian dilakukan dilapangan agar dapat melihat pengujian secara real menggunakan kecepatan angin yang alami.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Perwita dan W. Banar, “A Technical Review of Building Integrated Wind Turbine System and a Sample Simulation Model in Central Java , Indonesia,” *Energy Procedia*, vol. 47, hal. 29–36, 2014.
- [2] N. A. Hidayatullah, H. Nur, dan K. Ningrum, “Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Sumbu Horizontal dengan Menggunakan Metode Maximum Power Point Tracker,” *J. Electr. Electron. Control Automot. Eng. JEECAE*, vol. 1, no. 1, hal. 7–12, 2016.
- [3] R. Sumiati, “Rancang bangun miniatur turbin angin pembangkit listrik untuk media pembelajaran,” *Jur. Tek. Mesin Politek. Negeri Padang*, vol. 3, hal. 1–8, 2013.
- [4] S. Martosaputro dan N. Murti, “Blowing the wind energy in Indonesia,” *Energy Procedia*, vol. 47, hal. 273–282, 2014.
- [5] H. Dong, C. Zhang, D. Wang, S. Xu, dan J. Qiu, “Dynamic characteristics of gear box with PGT for wind turbine,” in *Procedia Computer Science*, 2017, vol. 109, hal. 801–808.
- [6] A. Pudjanarsa dan D. Nursuhud, “Mesin Konversi Energi,” 3 ed., FL. Sigit Suyantoro, Ed. Yogyakarta: ANDI, 2013, hal. 350–362.
- [7] C. Yan dan C. L. Archer, “Assessing compressibility effects on the performance of large horizontal-axis wind turbines,” *Appl. Energy*, vol. 212, hal. 33–45, 2018.
- [8] F. Aryanto, M. I. Mara, dan M. Nuarsa, “Pengaruh Kecepatan Angin Dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal,” *Din. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, hal. 50–59, 2013.
- [9] Sutarno, “Sumber Daya Energi,” 1 ed., Yogyakarta: Graha Ilmu, 2013, hal. 145–153.
- [10] S. Pakpahan dan M. Neidle, “Teknologi Instalasi Listrik,” 3 ed., Jakarta: Erlangga, 1999, hal. 78–80.

LAMPIRAN

Lampiran 1: Gambar terowongan angin serta blower.



Lampiran 2 : Gambar saat melakukan pengujian.

