

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN BERKAPASITAS 100 WATT MENGGUNAKAN BILAH VERTIKAL

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

RIFAI HARAHAH
1607220048



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Rifai Harahap

NPM : 1607220048

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Berkapasitas 100 Watt Dengan Bilah Vertikal

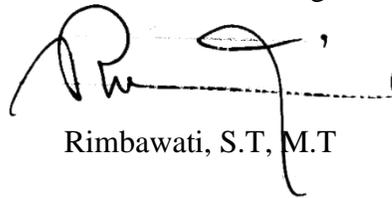
Bidang ilmu : Energi Baru Terbarukan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 06 April 2022

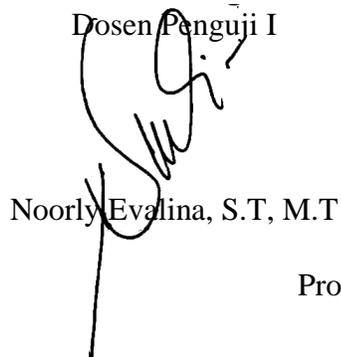
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



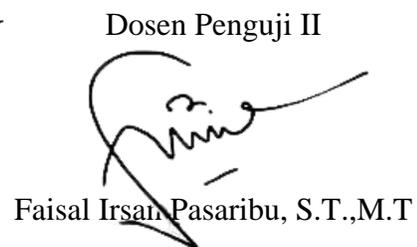
Rimbawati, S.T, M.T

Dosen Penguji I



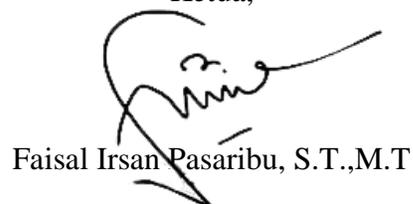
Noorly Evalina, S.T, M.T

Dosen Penguji II



Faisal Irsan Pasaribu, S.T.,M.T

Program Studi Teknik Elektro
Ketua,



Faisal Irsan Pasaribu, S.T.,M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Rifai Harahap

Tempat /Tanggal Lahir : Bingkat, 26 Juni 1998

NPM : 1607220048

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul : “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin 100 Watt Menggunakan Bilah Vertikal”, Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/ kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro/Mesin/Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 06 April 2022

Saya yang menyatakan



Rifai Harahap

ABSTRAK

Meningkatnya kebutuhan energi listrik tersebut terjadi karena penambahan penduduk yang tinggi, akan tetapi hal ini tidak seimbang dengan peningkatan penyedia tenaga listrik sementara kebutuhan masyarakat terus meningkat. PLN secara umum menggunakan energi yang termasuk tidak terbarukan, untuk memenuhi kebutuhan listrik yang terus meningkat diperlukan pembangkit tenaga listrik dengan memanfaatkan sumber daya alam yang ada. Indonesia sendiri secara geografis berpotensi mengembangkan energi listrik alternatif terbarukan tersebut. Salah satunya adalah energi angin yang berhembus relatif stabil sepanjang tahun dengan rata-rata kecepatan 5m/detik. PLTB yang cocok digunakan di wilayah Indonesia adalah pembangkit dengan kapasitas dibawah 100 Kw menggunakan turbin sumbu vertikal. Turbin angin jenis vertikal ini dapat menghasilkan daya sebesar 48,61 Watt, Dengan angin yang memadai turbin dapat memutar generator dan menghasilkan tegangan dan arus paling tinggi pada pukul 15:00 sampai dengan pukul 18:00. Dari turbin yang telah dibuat. Semakin pendek panjang lengan, putaran generator yang dihasilkan semakin besar dan daya yang dihasilkan semakin besar, dengan kecepatan angin paling besar yaitu 4,5 m/s daya yang dihasilkan adalah sebesar 56,38 Watt.

Kata Kunci : PLTB, Turbin, Angin

ABSTRACT

The increasing need for electrical energy is due to high population growth, but this is not balanced with the increase in electricity providers while the community's needs continue to increase. PLN generally uses non-renewable energy, to meet the increasing demand for electricity, power plants are needed by utilizing existing natural resources. Indonesia itself geographically has the potential to develop alternative renewable electrical energy. One of them is wind energy that blows relatively stable throughout the year with an average speed of 5m/second. PLTB that is suitable for use in the territory of Indonesia is a generator with a capacity of below 100 Kw using a vertical axis turbine. This type of vertical wind turbine can produce a power of 48.61 Watt. With sufficient wind the turbine can rotate the generator and produce the highest voltage and current from 15:00 to 18:00. Of the turbines that have been made. The shorter the length of the arm, the greater the rotation of the generator and the greater the power generated, with the greatest wind speed of 4.5 m/s the power generated is 56.38 Watt.

Keywords: PLTB, Turbine, Wind

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Perancangan pembangkit listrik tenaga angin berkapasitas 100 watt menggunakan bilah vertikal” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Ayahanda tercinta Jumri Harahap, S.T, Ibunda tercinta Hariani Panjaitan, S.Pd, dan serta seluruh keluarga yang telah memberikan bantuan moril maupun materil serta nasehat dan doanya untuk penulis demi selesainya Tugas Sarjana ini.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T.,M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan perhatian sehingga tugas sarjana ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Ibu Rimbawati S.T., M.T., selaku Pembimbing dalam tugas akhir ini yang telah memberikan bimbingannya, masukan dan bantuan sehingga tugas sarjana ini dapat terselesaikan dengan baik.
4. Ibu Noorly Evalina, S.T.,M.T., selaku Pembimbing I dalam tugas akhir ini yang telah memberikan bimbingannya, masukan dan bantuan sehingga tugas sarjana ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, selaku Pembimbing II dalam tugas akhir ini sekaligus ketua prodi Teknik Elektro UMSU yang telah memberikan bimbingannya, masukan dan bantuan sehingga tugas sarjana ini dapat terselesaikan dengan baik.
6. Seluruh staff Tata Usaha, ,Seluruh Dosen dan rekan – rekan laboratorium Teknik Elektro UMSU

7. Kepada seluruh rekan – rekan Mahasiswa Seperjuangan di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara terutama kelas A1 Pagi TE Stambuk 2016. Terimakasih atas dukungan bantuan dan motivasi dalam penyelesaian skripsi dan kebersamaan selama ini.
8. Kepada seluruh keluarga besar Pimpinan Komisariat Ikatan Mahasiswa Muhammadiyah Fakultas Teknik UMSU yang merupakan keluarga kedua saya diperantauan yang sangat banyak memberikan segudang pengalaman, ilmu dan menjadikan saya menjadi pribadi yang lebih baik yang tidak saya dapatkan dibangku perkuliahan.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis dimasa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia energi baru terbarukan.

Medan, 06 April 2022



Rifai Harahap

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GRAFIK	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan masalah	3
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Ruang Lingkup	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
1.6. Sistematikan Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Tjauan Pustaka Relevan	6
2.2. Landasan Teori	12
2.2.1. Pengertian PLTB	12
2.2.2. Mekanisme Turbin.....	13

2.2.3. Diagram Blok Alat	15
2.2.4. Sistem Kerja PLTB.....	16
2.2.5. Generator Arus Searah (DC)	18
2.2.6. Battery Charge Controller	19
2.2.7. Inverter	20
2.2.8. Baterai.....	26
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	31
3.1 Waktu dan Tempat.....	31
3.2 Alat dan Bahan	31
3.3 Prosedur Penelitian	32
3.4 Analisis Kebutuhan Alat dan Sistem	34
3.5 Perancangan Sistem.....	34
3.6 Design Turbin.....	36
3.7 Pembuatan Alat.....	39
BAB 4 ANALISA DATA.....	44
4.1 Hasil Pengujian Turbin Angin.....	44
4.1.1. Menentukan Kecepatan Angin Nominal	44
4.2 Desain Perancangan.....	45
4.3 Pengujian Turbin Angin	45
4.3.1. Pengujian Alami	45

BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	51
	5.1 Kesimpulan.....	51
	5.2 Saran	51

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal.....	14
Gambar 2.2. Turbin Angin Sumbu Vertikal.....	15
Gambar 2.3. Diagram Blok Alat	16
Gambar 2.4. PLTB secara umum.....	16
Gambar 2.5. Generator Arus Searah (DC).....	18
Gambar 2.6 Battery Charger Controller.....	19
Gambar 2.7 Inverter.....	20
Gambar 2.8 Konstruksi Baterai.....	28
Gambar 2.9 Proses Pengosongan dan Pengisian Baterai	29
Gambar 3.1. Diagram Alir	33
Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem PLTB	35
Gambar 3.3. Design Sudu 1	36
Gambar 3.4. Design Sudu yang sudah terpasang.....	36
Gambar 3.5. Design Dudukan Sudu.....	37
Gambar 3.6 Sudu dan Dudukan Setelah Terpasang.....	37
Gambar 3.7 Turbin Secara Keseluruhan.....	38
Gambar 3.8 Design PLT Angin	38
Gambar 3.9 Batas Bawah Turbin.....	39
Gambar 3.10 Batas Atas Turbin.....	39
Gambar 3.11 Alumunium Dudukan Turbin.....	40
Gambar 3.12 Sudu – Sudu Turbin.....	40
Gambar 3.13 Memasang Sudu – Sudu Turbin.....	41
Gambar 3.14 Perekatan	41

Gambar 3.15 Sudu yang telah terpasang.....	42
Gambar 3.16 Besi Penghubung.....	42
Gambar 3.17 Dudukan Turbin	43
Gambar 3.18 Gambar Turbin Keseluruhan.....	43

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Kecepatan Angin Pada Tanggal 25 September 2021	44
Tabel 4.2 Data Hari Ke-1	45
Tabel 4.3 Daya Keluaran.....	46
Tabel 4.4 Nilai Rata - Rata.....	48
Tabel 4.5 Tabel Data Angin Buatan.....	56

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Tegangan Terhadap Arus.....	47
Grafik 4.2. Kecepatan Angin dan Daya Keluaran.....	48
Grafik 4.3 Daya dan Kecepatan Angin Buatan.....	50

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi ialah kebutuhan yang diperlukan oleh semua makhluk hidup. Dimana sumber energi saat ini terbagi menjadi dua yaitu sumber energi terbarukan dan sumber energi tidak terbarukan. Kebutuhan energi yang terus meningkat saat ini tidak sebanding dengan pasokan energi dari bahan bakar fosil atau energi tidak terbarukan (Bachtiar & Hayyatul, 2018).

Meningkatnya kebutuhan energi listrik tersebut terjadi karena penambahan penduduk yang tinggi, akan tetapi hal ini tidak seimbang dengan peningkatan penyedia tenaga listrik sementara kebutuhan masyarakat terus meningkat. PLN secara umum menggunakan energi yang termasuk tidak terbaharui, untuk memenuhi kebutuhan listrik yang terus meningkat diperlukan pembangkit tenaga listrik dengan memanfaatkan sumber daya alam yang ada. Indonesia sendiri secara geografis berpotensi mengembangkan energi listrik alternatif terbarukan tersebut. Salah satunya adalah energi angin yang berhembus relatif stabil sepanjang tahun dengan rata-rata kecepatan 5m/detik (Dylan Trotsek, 2017).

Energi angin dapat dikonversikan kedalam bentuk yang lain seperti energi listrik atau mekanik dengan menggunakan turbin. Energi angin adalah sumber daya alam yang dapat diperoleh secara cuma-cuma yang jumlahnya melimpah dan tersedia terus menerus sepanjang tahun. Sementara itu Indonesia Negara kepulauan yang memiliki sekitar 17.500 pulau dengan panjang garis pantai lebih dari 81.290 km, dan potensi angin yang sangat besar sekitar 9,3 GW (Riset & Teknologi, 2019).

Desain dari kincir/turbin angin sangat banyak jenisnya, berdasarkan jenis rotor kincir angin dibagi dua tipe, yaitu turbin angin mendatar (*horizontal axis wind turbine*) dan turbin angin sumbu vertikal (*vertical axis wind turbine*). Turbin *Horizontal* (HAWT) merupakan turbin yang poros utamanya berputar menyesuaikan arah angin. Agar rotor dapat berputar dengan baik, arah angin harus sejajar dengan poros turbin dan tegak lurus terhadap arah putaran rotor. Turbin ini memiliki *blade* berbentuk *airfoil* seperti bentuk sayap pesawat, Secara umum semakin banyak *blade*, semakin tinggi putaran turbin.

Turbin Vertikal (VAWT) merupakan turbin angin sumbu tegak yang gerakan poros dan rotor sejajar dengan arah angin, sehingga rotor dapat berputar pada semua arah angin. Kelebihan turbin vertikal memiliki torsi tinggi sehingga dapat berputar pada kecepatan angin rendah. Kekurangannya yaitu kecepatan angin dibawah sangat rendah, apabila tidak menggunakan tower akan menghasilkan putaran yang rendah, dan efisiensi lebih rendah dibanding dengan HAWT (Priyadi et al., 2018).

PLTB yang cocok digunakan diwilayah Indonesia adalah pembangkit dengan kapasitas dibawah 100 Kw menggunakan turbin sumbu vertikal. Penelitian Rifadil dkk (2013) menyimpulkan TASV berkincir diameter 60 cm 36 sudut menghasilkan daya 63.65 Watt saat angin berkecepatan 1.45 m/s putaran kincir pada poros 229 RPM pada torsi sebesar 7.17 Nm (Anggita Dewita, Ahmad Shirat Abu Bakar, 2015).

Oleh karena itu, berdasarkan uraian diatas bahwasanya tugas akhir ini akan melakukan Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Berkapasitas 100 Watt Dengan Bilah Vertikal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas maka permasalahan yang akan dibahas adalah:

1. Bagaimana perancangan dan system kerja pembangkit listrik tenaga angin dengan menggunakan bilah vertikal?
2. Seberapa besar daya dan tegangan dihasilkan generator dari pembangkit listrik tenaga angin yang dirancang?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang dilakukan pada penelitian ini ialah:

1. Untuk mengetahui perancangan dan system kerja dari pembangkit listrik tenaga angin dengan menggunakan bilah vertikal.
2. Untuk mengetahui seberapa besar arus dan tegangan yang dihasilkan generator pada pembangkit listrik tenaga angin.

1.4 Ruang Lingkup

Untuk memperjelas masalah yang akan di bahas dan agar tidak menjadi pembahasan yang meluas dan menyimpang, maka perlu kiranya ruang lingkup masalah yaitu sebagai berikut :

1. Pada perancangan PLT Angin menggunakan bilah vertikal
2. Pada saat alat PLT Angin dirancang dan dibuat maka langkah selanjutnya mencari nilai arus dan tegangan yang dihasilkan oleh generator pembangkit listrik tenaga angin tersebut.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian skripsi ini dapat memberikan suatu penyelesaian yaitu sebagai berikut:

1. Memahami dan melakukan perancangan turbin angin bilah vertikal

2. Menjadikan alat sebagai alat pembangkit listrik energi baru terbarukan dengan memanfaatkan angin sebagai penggerak mula.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini di uraikan secara singkat sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang pendahuluan, latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka relevan, yang mana berisikan tentang teori-teori penunjang keberhasilan di dalam masalah pembuatan tugas akhir ini. Ada juga teori dasar yang berisikan tentang penjelasan dari dasar teori dan penjelasan komponen utama yang digunakan dalam perancangan sistem proteksi berbasis arduino tersebut.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang letak lokasi penelitian, fungsi-fungsi dari alat dan bahan penelitian, tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pengerjaan, tata cara dalam pengujian, dan struktur dan langkah-langkah pengujian.

BAB IV ANALISIS DAN HASIL PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang analisis hasil dari penelitian, serta penyelesaian masalah yang terdapat didalamnya.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dan saran dari penelitian dan penulisan tugas akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka Relevan

Menurut (Rimbawati, 2019) Turbin angin atau dalam bahasa sederhana kincir angin merupakan turbin yang digerakkan oleh angin, yaitu udara yang bergerak di atas permukaan bumi. Sudah sejak dahulu angin berjasa bagi kehidupan manusia, salah satunya adalah para nelayan. Selain itu, turbin angin pada awalnya juga dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, memompa air dan menggiling jagung. Penggunaan turbin angin terus mengalami perkembangan guna memanfaatkan energi angin secara efektif, terutama pada daerah - daerah dengan aliran angin yang relatif tinggi sepanjang tahun. Turbin angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda, dan negaranegara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan Windmill. Pengkajian potensi angin harus dilakukan dengan baik guna memperoleh suatu sistem konversi angin yang tepat. Pengkajian potensi angin pada suatu daerah dilakukan dengan cara mengukur serta menganalisa kecepatan maupun arah angin. Dasar dari alat untuk merubah energi angin adalah kincir angin. Meskipun masih terdapat susunan dan perencanaan yang beragam, biasanya kincir angin digolongkan menjadi dua tipe (horisontal dan vertikal) dan yang paling banyak digunakan adalah kincir jenis horizontal. Kincir jenis ini mempunyai rotasi horisontal terhadap tanah (secara sederhana yaitu sejajar dengan arah tiupan angin).

Prinsip dasar kincir angin adalah mengkonversi tenaga mekanik dari putaran kincir menjadi energi listrik dengan induksi magnetik. Putaran kincir dapat terjadidengan efektif dengan mengaplikasikan dasar teori aerodinamika pada desain batangkincir. Ketersediaan

angin dengan kecepatan yang memadai menjadi faktor utama dalam implementasi teknologi kincir angin. Untuk mendesain sebuah kincir angin, ada banyak hal yang harus diperhatikan. Hal pertama yang harus dipertimbangkan yaitu berapa besar daya yang kita butuhkan, kemudian kecepatan angin, setelah itu yang tidak kalah penting yaitu berapa jumlah blade (bilah kincir) yang harus digunakan, dan masih banyak hal teknis lainnya.

Turbin angin atau dalam bahasa sederhana kincir angin merupakan turbin yang digerakkan oleh angin, yaitu udara yang bergerak di atas permukaan bumi. Sudah sejak dahulu angin berjasa bagi kehidupan manusia, salah satunya adalah para nelayan. Selain itu, turbin angin pada awalnya juga dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, memompa air dan menggiling jagung. Penggunaan turbin angin terus mengalami perkembangan guna memanfaatkan energi angin secara efektif, terutama pada daerah - daerah dengan aliran angin yang relatif tinggi sepanjang tahun. Turbin angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda, dan negaranegara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan Windmill. Pengkajian potensi angin harus dilakukan dengan baik guna memperoleh suatu sistem konversi angin yang tepat. Pengkajian potensi angin pada suatu daerah dilakukan dengan cara mengukur serta menganalisa kecepatan maupun arah angin. Dasar dari alat untuk merubah energi angin adalah kincir angin. Meskipun masih terdapat susunan dan perencanaan yang beragam, biasanya kincir angin digolongkan menjadi dua tipe (horisontal dan vertikal) dan yang paling banyak digunakan adalah kincir jenis horizontal. Kincir jenis ini mempunyai rotasi horisontal terhadap tanah (secara sederhana yaitu sejajar dengan arah tiupan angin). (Rimbawati, 2019)

Dalam penelitian (Ibrahim Nawawi,2016) yang menggunakan metode eksperimen menunjukkan hasil penelitian kincir angin mampu mengikuti datangnya arah angin sehingga hasil yang diperoleh cukup maksimal. Adapun hasil pengukuran angin yang berlokasi didepan gedung laboratorium jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tidar diperoleh rata-rata kecepatan angin sebesar 1,53 m/s dan tidak mampu menghasilkan tegangan keluaran, sedangkan untuk penempatan lokasi kincir diatas gedung lantai 4 Fakultas Ekonomi Universitas Tidar rata-rata kecepatan angin diperoleh 5,52 m/s dan dapat menghasilkan tegangan keluaran 78,47 Volt Ac. Generator akan menghasilkan tegangan keluaran minimal kecepatan angin sebesar 2,5 m/s. Daya yang dihasilkan 172 Watt dengan efisiensi daya *inverter* sebesar 80% atau 138,24 Watt. (Bertingkat, 1990)

Kemudian (Sarjono, 2020) meneliti studi eksperimen variasi jumlah sirip dan kecepatan angin terhadap unjuk kerja turbin angin sumbu vertikal tipe bilah bersirip yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah sirip dan kecepatan angin terhadap unjuk kerja turbin angin sumbu verikal tipe bilah bersirip. Variabel bebas penelitian ini adalah jumlah sirip pada bilah (7,9, dan 11) dan kecepatan angin mulai 4 m/s, 5 m/s, 6 m/s, 7 m/s, 8 m/s. Variable terikat penelitian ini adalah unjuk kerja turbin yaitu BPH (*Break Horse Power*), torsi dan efisiensi. Sedangkan variable terkontrolnya adalah jumlah bilah pada turbin angin tipe bilah bersirip sebanyak 3 buah dengan tinggi $2,5 \times 10^{-1}$ m dan lebar 6×10^{-2} m. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan jumlah sirip pada bilah sirip yang berbeda-beda berpengaruh terhadap unjuk kerja turbin angin tipe bilah bersirip. BHP dan torsi maksimal diperoleh pada penggunaan bilah bersirip 7 buah pada kecepatan angin 8 m/s. Daya yang dihasilkan sebesar 0,04 watt dengan torsi sebesar

0,043 Nm. Sedangkan efisiensi maksimal adalah 0,27%. Efisiensi maksimal pada penggunaan bilah bersirip 7 dengan kecepatan angin 6 m/s.(Lestari & Mesin, 2020)

Adapun penelitian oleh (Antonov Bachtiar,2018) tentang menganalisis potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin di PT Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras yaitu, potensi angin dipantai ciheras memiliki potensi angin yang cukup baik untuk membuat Pembangkit Listrik Tenaga Angin, dimana kecepatan angin berkisar diantara 3-12 m/s. Besar listrik yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu ini cukup akurat untuk memasok beban listrik, dalam satu tahun *Wind Turbine* dapat menghasilkan rata-rata daya listrik melalui simulasi Homer yaitu 129 W dan dalam perhitungan didapat sebesar 137 W.(Bachtiar & Hayyatul, 2018)

Berikut juga penelitian yang dilakukan oleh (Firman Aryanto,2013) pengaruh kecepatan angin dan variasi jumlah sudu terhadap unjuk kerja turbin angin poros *horizontal* menguji performansi turbin angin poros *horizontal* dengan variasi kecepatan angin dan variasi jumlah *blade* ditinjau dari efisiensi sistem dan *Tip Speed Ratio* (TSR). Pengujian dilakukan dengan sumber angin berasal dari kipas angin dengan *Wind Tunnel* untuk mengarahkan angin. Kecepatan angin yang digunakan terdapat 3 variasi yaitu 3 m/s, 3.5 m/s, dan 4 m/s serta variasi jumlah *blade* yaitu 3,4,5 dan 6 *blade*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai terbaik diperoleh pada kecepatan angin maksimal 4 m/s dan jumlah *blade* 5 dengan nilai 3.07% sedangkan untuk nilai terkecil diperoleh pada kecepatan angin 3 m/s dan jumlah *blade* 3 yaitu dengan nilai 0.05%. untuk nilai TSR maksimal pada kecepatan maksimal 4 m/s terjadi pada jumlah *blade* 5 yaitu sebesar $\lambda = 2.11$, sedangkan untuk nilai terendah pada kecepatan angin 3m/s dihasilkan pada jumlah *blade* 3 sebesar $\lambda = 1.49$.(Nuarsa et al., 2013)

(Bono, 2018) meneliti pembuatan turbin angin sumbu vertikal dengan variasi jumlah sudu dan sistem buka-tutup sirip, ini merupakan suatu alat konveksi energi yang mengubah energi gerak dari sudu turbin menjadi energi listrik. Tujuan ini adalah untuk membuat turbin angin sumbu vertikal tipe sudu bersirip dengan jumlah variasi jumlah sudu dan menguji kinerja turbin angin tersebut. Pada penelitian ini menggunakan metodologi penelitian kuantitatif dengan cara mengumpulkan data. Variabel bebas pada penelitian ini adalah jumlah sudu 2,3,4,5,6 dan kecepatan angin 7 m/s, 8 m/s, 9 m/s, 10 m/s, 11 m/s, 12 m/s. Variable terikat pada penelitian ini adalah unjuk kerja turbin angin sumbu bersirip yaitu daya kinetik, Daya generator dan efisiensi. Sedangkan variabel terkontrolnya adalah jumlah sudu turbin angin tipe sudu bersirip sebanyak 6 buah dengan tinggi 600 mm dan lebar 300 mm. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengujian menggunakan jumlah sudu yang berbeda beda mempengaruhi unjuk kerja turbin angin tipe bersirip. Efisiensi system tertinggi diperoleh pada jumlah sudu 3 sebesar 1,409% pada kecepatan 11 m/s. Daya tertinggi pada turbin angin diperoleh dengan jumlah sudu 6 sebesar 6,6 watt pada kecepatan angin 12 m/s dengan putaran generator 202,92 rpm pada beban 30 watt. Berdasarkan analisa, efisiensi maksimal turbin angin hanya dapat dicapai jika intensitas angin konstan sehingga menghasilkan tegangan dan arus yang besar.(Sudu & Sistem, 2018)

Kemudian (S.W. Widyanto, 2018) meneliti pemanfaatan tenaga angin sebagai pelapis energi surya pada pembangkit listrik tenaga hibrid dipulau wangi-wangi dengan tujuan untuk mengetahui kecepatan angin di Pulau wangi-wangi, Wakatobi, Sulawesi Tenggara, khusus saat ini intensitas radiasi matahari menurun, sehingga bisa diketahui apakah pemanfaatan tenaga angin sebagai pelapis energi

surya merupakan langkah yang efektif atau tidak. Metode utama yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan teknik non statistik menggunakan grafik. Hasil pengolahan data mengungkapkan bahwa rata-rata kecepatan angin maksimal sebesar 2,847 m/s, sehingga potensi daya listrik maksimal sebesar 37,160 watt. Rata-rata kecepatan angin tertinggi saat malam hari sebesar 2,877 m/s dan kecepatan angin rata-rata setahun saat hujan sebesar 2,405 m/s. Kesimpulannya adalah rata-rata kecepatan angin yang dapat membangkitkan listrik (minimal 3,3 m/s), sehingga pemanfaatan energi angin sebagai pelapis energi surya pada PLTH kurang efektif, kecuali jika digunakan turbin angin yang bisa bekerja dengan kecepatan angin rendah. Adapun faktor lain yang mempengaruhi kencangnya bertiup adalah panjangnya siang dan malam. Bila dirasakan kecepatan angin pada waktu siang dan malam berbeda . Angin bertiup lebih cepat pada siang hari dibandingkan dengan malam hari. Panjang siang dan malam pada beberapa daerah tidak sama sehingga menyebabkan tekanan udara maksimum dan minimum berubah-ubah. Akibatnya, arah aliran udara tidak tetap atau tidak menentu. (Wangiwangi et al., 2018)

(Adityo Barik A Dkk, 2019) meneliti pula rancang bangun turbin angin poros *horizontal double multiflat blade* dengan tujuan penelitian membandingkan kinerja turbin angin poros *horizontal single multiflat blade* dengan turbin angin poros *horizontal double multiflat blade* perlakuan sisi masuk dan perlakuan sisi keluar. Pengujian turbin angin *single multiflat blade* dilakukan dengan kecepatan angin 5 m/s, 7 m/s, dan 9 m/s dengan sudut *blade* 35°, 38°, 40°, 43° dan 45°. Berdasarkan pengujian turbin angin poros *horizontal double multiflat blade* dibuat dengan sudu *flat* yang terbuat dari besi plat dengan ketebalan 0,9 mm, panjang sudu

sebesar 300 mm, dan lebar sudu sebesar 100 mm. bagian sisi masuk sudu dibuat dengan lebar 20 mm, sedangkan sisi keluar sudu dibuat dengan lebar 10 mm. Turbin ini mempunyai tinggi sebesar 1,205 m dengan diameter sapuan sudu sebesar 83 cm. Dengan efisiensi sistem tertinggi pada pengujian turbin angin *single multiflat blade* untuk masing-masing kecepatan adalah 4,87% (kecepatan 5 m/s, sudut *blade* 35°), dan 8,397% (kecepatan 5 m/s, sudut *blade* 40°). Efisiensi sistem tertinggi pada pengujian turbin angin *double multiflat blade* perlakuan sisi keluar dengan sudut *blade* 40° untuk kecepatan 5 m/s, 7 m/s, dan 9 m/s masing-masing sebesar 3,62%, 10,11% dan 11,74%. Sedangkan efisiensi sistem pada pengujian turbin angin *double multiflat blade* perlakuan sisi masuk dengan sudut *blade* 40° untuk kecepatan 5 m/s, 7 m/s, dan 9 m/s masing-masing sebesar 2,11%, 5,304% dan 5,16%. (Ksergi, 2019)

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Pengertian PLTB

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu atau biasa disebut PLTB merupakan salah satu energi listrik terbarukan yang ramah lingkungan. PLTB memiliki efisiensi kerja yang baik jika dibanding dengan energi listrik terbarukan lainnya. Angin adalah salah satu sumber yang diperlukan untuk alat ini. Mengingat Indonesia merupakan negara yang sangat besar memiliki potensi tenaga angin menjadikan pembangkit listrik tenaga angin salah satu solusi yang tepat dalam mengatasi masalah keterbatasan energi. Angin dimanfaatkan untuk memutar bagian yang bergerak. Dimana energi angin dikonversikan menjadi mekanik dan diubah kembali menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan maka dapat ditransmisikan dan didistribusikan untuk kebutuhan pelanggan-pelanggan listrik. (Fachri, 2017)

PLTB adalah suatu teknologi pembangkit listrik yang merubah potensi angin menjadi energi listrik. Angin merupakan udara yang bergerak/mengalir, sehingga memiliki kecepatan, tenaga dan arah. Penyebab dari pergerakan ini adalah pemanasan bumi oleh radiasi matahari. Daya yang dihasilkan energi angin dirumuskan sebagai berikut,

$$P = k.F.A.E. v^3 \dots\dots\dots(1)$$

Dengan p = daya (kw)

$$K = \text{Konstanta} = 1,37.10^{-5}$$

$$F = \text{faktor} = 0,5926$$

$$E = \text{efisiensi rotor dan peralatan lain}$$

$$v = \text{kecepatan angina (m/det) (Desrizal \& Rosma, 2014)}$$

2.2.2. Mekanisme Turbin

Mekanisme turbin pembangkit listrik tenaga angina dapat dibuat dengan menggabungkan beberapa turbin angina sehingga menghasilkan listrik keunit penyalur listrik. Listrik dialirkan melalui kabel *transmisi* dan disistribusikan kerumah-rumah, kantor, sekolah, dan sebagainya. Berikut jenis turbin angin :

- a) Turbin Angin Sumbu *Horizontal (Horizontal Axis Wind Turbine)*



Gambar 2.1 Turbin Angin Sumbu *Horizontal*

Turbin angin *horizontal* memiliki poros rotor utama dan generator listrik dipuncak menara. Kincir berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angina (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan kincir yang berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan kesebuah servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah *gearbox* yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar. Karena sebuah menara menghasilkan turbulensi dibelakangnya, kincir biasanya diarahkan melawan arah anginnya menara. Bilah-bilah kincir dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angina berkecepatan tinggi. Sebagai tambahan, bilah-bilah itu diletakkan didepan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan.

b) Turbin Angin Sumbu Vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*)



Gambar 2.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin sumbu vertikal memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah kincir tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna ditempat tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. VAWT mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah. Dengan sumbu yang vertikal, generator serta *gearbox* bisa ditempatkan didekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Tapi ini menyebabkan sejumlah *desain* menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. *Drag* (gaya yang menahan pergerakan sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) bisa saja tercipta saat kincir berputar. (Lubis, 2018)

2.2.3. Diagram Blok Alat

Berikut ini diagram blok dari pembangkit listrik tenaga angin dengan turbin ventilator.

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

E_k = Energi kinetik (*joule*),

m = massa udara (kg),

v = kecepatan angin (m/s).

Laju aliran massa dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$m = \rho A v, \dots\dots\dots(3)$$

dengan nilai: ρ = massa jenis angin (kg/m³) (ketetapan $\rho = 1,225$ kg/m³)

A = luas penampang turbin (m²) bisa ditulis ($A = \pi r^2$).

Dari persamaan (2) dan (3) dapat diperoleh daya angin seperti persamaan berikut :

$$p_a = \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots(4)$$

dengan nilai:

p_a = daya angin (watt).

Persamaan (4) merupakan teori perhitungan daya pada turbin angin yang hanya memperhitungkan luas penampang turbin angin yang menyapu turbin. Sedangkan untuk memperhitungkan kemampuan turbin dalam mengekstraksikan angin yaitu menggunakan efisiensi kerja turbin yang dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$C_p = P_m / p_a$$

dengan nilai: P_m = daya mekanik (watt)

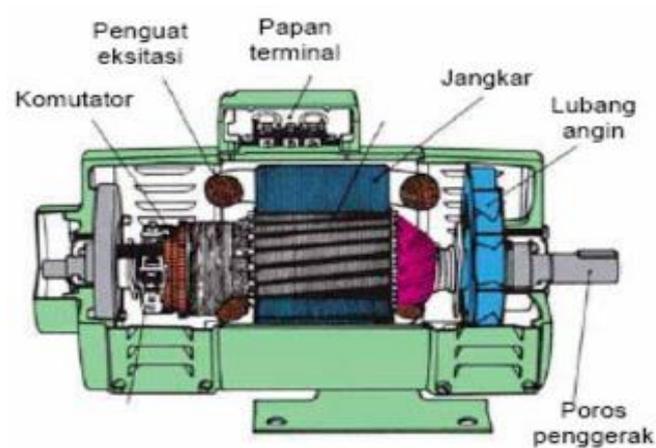
C_p = koefisien daya pada turbin angin,

Efisiensi kerja turbin tidak dapat melebihi 0,593, hal tersebut dikenal sebagai *limit betz*. Dengan menggabungkan persamaan (3), (4) dan efisiensi kerja turbin maksimal, maka dapat dituliskan seperti persamaan berikut :

$$P_{maks} = 0,2965 CP = \rho Av^3, \dots \dots \dots (5)$$

Dengan nilai: P_{maks} = daya maksimum atau daya turbin angin dalam kondisi ideal. (Iqbal et al., n.d.)

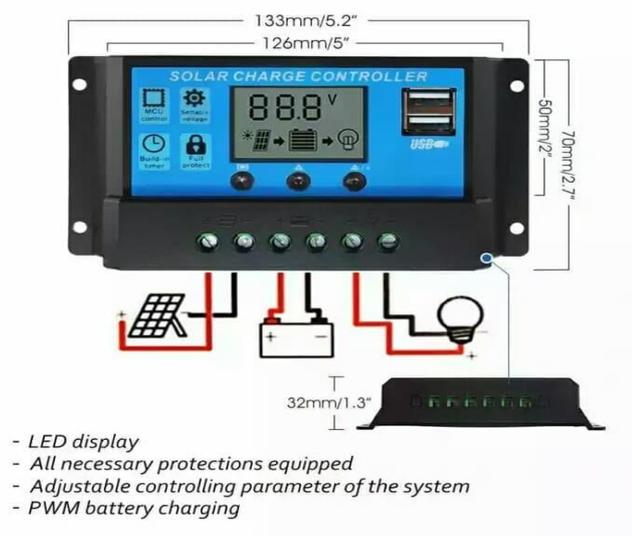
2.2.5. Generator Arus Searah (DC)



Gambar 2.5 Generator Arus Searah (DC)

Generator arus searah mempunyai komponen dasar yang umumnya hampir sama dengan komponen mesin-mesin listrik lainnya. Secara garis besar generator arus searah adalah alat konversi energi mekanis berupa putaran menjadi energi listrik arus searah. Energi mekanik digunakan untuk memutar kumparan kawat penghantar akan timbul ggl induksi yang besarnya sebanding dengan laju perubahan fluksi yang dilenkapi oleh kawat penghantar. Bila kumparan kawat tersebut merupakan rangkaian tertutup, akan timbul arus induksi. Perbedaan setiap generator biasanya terletak pada komponen penyearah yang terdapat didalamnya yang disebut dengan komutator dan sikat. (Saputra et al., n.d.)

2.2.6. Battery Charge Controller



Gambar 2.6 Battery Charger Controller

Sebagai perangkat yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik ke beban dan akumulator yang dibangkitkan oleh sel surya. Alat ini juga memilih dan memindahkan secara otomatis, apabila PLTS tidak mencukupi beban, maka yang menyuplai energi listrik adalah baterai. Untuk menjaga kesetimbangan energi didalam baterai, diperlukan alat pengatur elektronik yang disebut *battery charge controller*. Hal yang perlu diperhatikan dalam memilih *battery charge controller* :

1. *Voltage* 12 volt DC / 24 DC
2. Kemampuan dari *controller*. Misalnya Ampere. 10 Ampere dll
3. *Full charge* dan *low voltage cut*

Battery charge yang baik, biasanya mampu mendeteksi kapasitas baterai. Bila baterai sudah penuh, maka secara otomatis pengisian arus dari panel surya berhenti. Cara mendeteksi melalui monitor level tegangan baterai. *Battery charge controller* akan mengisi baterai sampai level tegangan tertentu, apabila level

tegangan jatuh/*drop*, maka baterai akan diisi kembali. *Battery charge controller* pada umumnya terdiri dari:

- a) 1 input (2 terminal) yang terhubung dengan output panel surya.
- b) 1 output (2 terminal) yang terhubung dengan baterai/aki.
- c) 1 output (2 terminal) yang terhubung dengan beban (load).

Arus listrik Dc yang berasal dari baterai tidak mungkin masuk kepanel surya, karena terdapat “*diode protection*” yang hanya melewatkan arus listrik DC dari panel surya ke baterai, bukan sebaliknya.(Alifyanti, n.d.)

2.2.7. Inverter



Gambar 2.7 Inverter

Inverter adalah suatu alat merubah tegangan DC dari akumulator menjadi tegangan AC yang berupa sinyal sinus setelah melalui pembentukan gelombang dan rangkaian *filter*. Tegangan *output* yang dihasilkan harus *stabil* baik *amplitude* tegangan maupun frekuensi tegangan yang dihasilkan, distorsi yang rendah, tidak terdapat tegangan transien serta tidak dapat diinterupsi oleh keadaan. *Inverter* merupakan rangkain yang digunakan untuk mengubah sumber tegangan DC tetap menjadi sumber tegangan AC dan *frekuensi* tertentu. Komponen semikonduktor daya yang digunakan dapat berupa SCR, transistor dan MOSFET yang beroperasi

sebagai saklar dan pengubah. *Inverter* dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu: *inverter* satu fasa dan *inverter* tiga fasa. Setiap jenis *inverter* tersebut dapat dikelompokkan menjadi empat kategori ditinjau dari jenis rangkaian komutasi pada *SCR*, yaitu: (1) modulasi lebar pulsa, (2) *inverter* resonansi, (3) *inverter* komutasi bantu, (4) *inverter* komutasi komplemen. (Hutagalung et al., 2017) *Beban*

Dalam system arus bolak-balik (arus AC), karakteristik beban listrik dikelompokkan menjadi tiga macam, yaitu: beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Dari ketiga sifat beban listrik diatas yang paling berdampak pada sistem distribusi tenaga listrik adalah sifat dari beban induktif, karena sifat dari beban ini dapat menimbulkan gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik. Gangguan yang timbul akibat dari beban ini antara lain adalah timbulnya gelombang harmonik pada sistem distribusi tenaga listrik. Secara umum beban yang dilayani oleh system distribusi tenaga listrik dibagi menjadi beberapa sektor, yaitu: sektor perumahan, sektor industri, sektor komersial, dan sektor usaha. Masing-masing sektor beban tersebut mempunyai karakteristik-karakteristik beban yang berbeda, sebab hal ini berkaitan dengan pola konsumsi energi pada masing-masing konsumen disektor tersebut. Karakteristik beban yang banyak disebut dengan pola pembebanan pada sektor perumahan, ditunjukkan oleh adanya fluktuasi konsumsi energi elektrik yang sangat besar. Hal ini disebabkan konsumsi energi elektrik tersebut lebih dominan daimalam hari. Sedangkan pada sektor industri, fluktuasi konsumsi energi sepanjang hari akan hampir sama, sehingga perbandingan beban puncak dengan beban rata-rata hampir mendekati satu. Beban pada sektor komersial dan usaha mempunyai karakteristik yang hampir sama, hanya

pada sektor komersial akan mempunyai beban puncak yang lebih tinggi pada waktu malam hari.

Berdasarkan jenis konsumsi energi listrik, secara garis besar, beban listrik dapat diklasifikasikan kedalam:

a) Beban Rumah Tangga

Beban listrik rumah tangga pada umumnya berupa lampu untuk penerangan, alat-alat rumah tangga, seperti: kipas angin, pemanas air, lemari es, dan lain-lain.

b) Beban Komersial

Beban komersial (bisnis) pada umumnya terdiri atas penerangan untuk *reklame*, kipas angin, penyejuk udara, dan alat-alat listrik lainnya yang diperlukan untuk restoran, hotel dan juga perkantoran. Beban ini secara drastis naik disiang hari untuk beban perkantoran dan pertokoan, dan akan menurun disore hari.

c) Beban Industri

Beban industri dibedakan dalam skala kecil dan skala besar, untuk skala kecil banyak beroperasi pada siang hari sedangkan industri skala besar sekarang ini banyak yang beroperasi sampai dengan 24 jam.

d) Beban Fasilitas Umum

Pengklasifikasian beban ini sangat penting, artinya bila kita akan melakukan analisa karakteristik beban untuk suatu system yang sangat besar. Perbedaan yang paling prinsip dari empat jenis beban diatas, selain dari daya yang digunakan dan juga waktu pembebanannya. Pemakaian daya pada beban

rumah tangga akan lebih dominan pada pagi dan malam hari, sedangkan pada beban komersial lebih dominan pada siang dan sore hari.

1. Karakteristik Beban Listrik

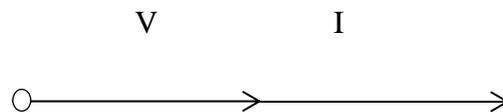
Dalam sistem listrik arus bolak-balik (AC) karakteristik beban listrik dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam, yaitu:

a) Beban Resistif (R)

Beban resistif, yaitu beban yang terdiri dari komponen tahanan ohm saja (*resistance*), seperti elemen pemanas (*heating element*) dan lampu pijar. Beban jenis ini hanya mengkonsumsi beban aktif saja dan mempunyai faktor daya sama dengan satu. Tegangan dan arus sefasa.

Persamaan daya sebagai berikut:

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots(1.1)$$



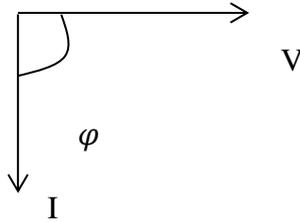
b) Beban Induktif (L)

Beban induktif, yaitu beban yang terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada suatu inti, seperti: (*coil*), transformator, dan solenoid.

Beban ini dapat mengakibatkan pergeseran fasa (*phase shift*) pada arus sehingga bersifat tertinggal sebesar 90° terhadap tegangan (*lagging*). Hal ini disebabkan oleh energi yang tersimpan berupa medan magnetis yang akan mengakibatkan fasa arus bergeser menjadi tertinggal terhadap tegangan. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan daya reaktif. Persamaan daya aktif untuk beban induktif adalah sebagai berikut:

$$P = V.I.\cos \varphi \dots\dots\dots (1.2)$$

φ = Sudut antara arus dan tegangan

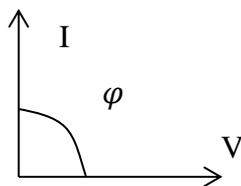


c) Beban kapasitif (C)

Beban kapasitif, yaitu beban yang memiliki kemampuan untuk menyimpan energy yang berasal dari pengisian elektrik (*electrical discharge*) pada suatu sirkuit. Komponen ini dapat menyebabkan arus terdahulu terhadap tegangan (*leading*). Beban jenis ini menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif. Persamaan daya aktif untuk beban induktif adalah sebagai berikut:

$$P = V.I.\cos \varphi \dots\dots\dots (1.3)$$

φ = Sudut antara arus dan tegangan



2. Jenis Beban Listrik

Tujuan utama dari system distribusi tenaga listrik adalah mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk sampai ke pelanggan atau beban. Salah satu faktor utama yang paling penting dalam perancangan sistem distribusi tenaga listrik adalah karakteristik dari berbagai jenis beban listrik tersebut.

Karakteristik jenis beban listrik sangat diperlukan agar sistem distribusi tegangan dan pengaruh termis dari pembebanan dapat dianalisis dengan baik. Dalam sistem distribusi tenaga listrik jenis beban listrik dikelompokkan menjadi dua macam, yaitu beban *linear* dan beban *non linear*. Yang dimaksud dari beban *linear* adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang *linear*, artinya arus mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan. Sedangkan beban *non linear* adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus, sehingga bentuk gelombang maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya atau dengan kata lain disebut distorsi tegangan dan arus listrik. Gangguan yang terjadi akibat distorsi dan tegangan disebut dengan harmonik. Disini penulis akan mencoba menjelaskan sedikit tentang harmonik.

a) Harmonik

Harmonik adalah distorsi periodik dari gelombang sinus tegangan, arus atau daya dengan bentuk gelombang yang frekuensinya merupakan kelipatan diluar bilangan satu terhadap frekuensi fundamental pada sistem distribusi tenaga listrik normal (frekuensi 50 Hz). Bentuk gelombang yang terdistorsi merupakan penjumlahan dari gelombang fundamental dan gelombang harmonik.

b) Distorsi Harmonik

Distorsi harmonik disebabkan peralatan yang memiliki beban *non linear* pada sistem distribusi tenaga listrik. Peralatan yang memiliki beban *non*

linear merupakan kondisi dimana arus tidak proporsional dengan gelombang tegangannya. Apabila suatu gelombang yang identik dari suatu siklus ke siklus lain, maka bila direpresentasikan sebagai penjumlahan gelombang sinusoidal murni dimana frekuensi dari setiap sinusoidal merupakan kelipatan atau hasil perkalian bilangan bulat dari frekuensi gelombang dasar yang terdistorsi. Gelombang dengan frekuensi kelipatan ini disebut harmonik. (Tambunan et al., 1945)

2.2.8. Baterai

Baterai adalah suatu proses kimia listrik, dimana pada saat pengisian energi listrik diubah menjadi kimia dan saat pengeluaran/discharge energi kimia diubah menjadi energi listrik. Baterai menghasilkan listrik melalui proses kimia. Baterai atau akkumulator adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversible* (dapat berkebalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Yang dimaksud dengan reaksi elektrokimia *reversibel* adalah didalam baterai dapat berlangsung proses pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (proses pengisian) dengan cara proses regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai yaitu, dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan didalam sel. Baterai terdiri dari dua jenis yaitu, baterai primer dan baterai sekunder. (Hamid, Rizky, Amin dan Bagus, 2016)

Fungsi baterai sangat beragam dalam kehidupan sehari – hari, namun fungsi baterai memiliki inti yang sama yaitu sebagai sumber energi. Hampir pada semua alat elektronik yang sifatnya mobile juga menggunakan baterai sebagai sumber

energi. Seperti contoh yaitu senter, power bank, drine, remote dan lain sebagainya.

Semua alat – alat tersebut membutuhkan baterai agar bias bekerja (Ibeng, 2020)

Adapun Jenis – jenis baterai menurut (Hamid,Rizky,Amin dan Bagus, 2016) ada beberapa jenis baterai yaitu :

a. Baterai Asam

Baterai asam yang bahan elektrolitnya (*sulfuric acid* = H_2SO_4). Didalam baterai asal, elektroda – elektrodanya terdiri dari plat – plat timah peroksida PbO_2 sebagai anoda (kutub positive) dan timah murni Pb sebagai katoda (kutub negatif).

b. Baterai Alkali

Baterai alkali bahan elektrolitnya adalah larutan alkali yang terdiri dari :

1. *Nickel iron alkaline battery Ni-Fe Battery*
2. *Nickel cadmium alkaline battery Ni Cd*

Baterai pada umumnya yang paling banyak digunakan adalah baterai alkali. besarnya kapasitas baterai tergantung dari banyaknya bahan aktif pada plat positif maupun plat negative yang bereaksi, dipengaruhi oleh jumlah plat tiap – tiap sel, ukuran, dan tebal plat, kualitas elektrolit serta umur baterai. Kapasitas energi suatu baterai dinyatakan dalam ampere jam (Ah), misalkan kapasitas baterai 100 Ah 12 volt artinya secara ideal arus yang dapat dikeluarkan sebesar 5 ampere selama 20 jam pemakaian. Besar kecilnya tegangan baterai ditentukan oleh banyak sedikitnya sel baterai yang ada di dalamnya. Sekalipun demikian, arus hanya akan mengalir bila ada konduktor dan beban yang dihubungkan ke baterai. Kapasitas baterai menunjukkan kemampuan baterai untuk mengeluarkan arus (discharging) selama waktu tertentu. Pada saat baterai diisi (charging), terjadilah penimbunan muatan listrik. Jumlah maksimum muatan listrik yang dapat ditampung oleh baterai

disebut kapasitas baterai dan dinyatakan dalam ampere jam (Ampere hour) (Hamid,2016). Kapasitas baterai dapat dinyatakan dengan persamaan dibawah ini :

$$N \text{ (Ah)} = I \text{ (ampere)} \times t \text{ (hours)}$$

(2.1)

Dimana :

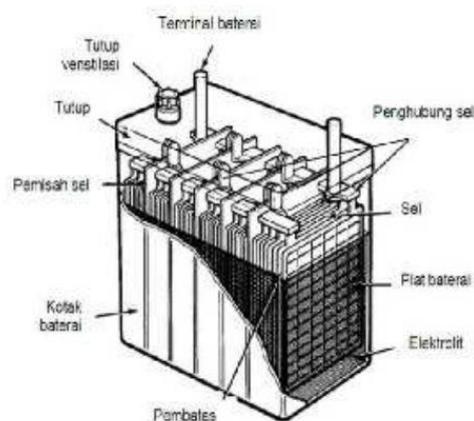
N = kapasitas baterai aki

I = kuat arus (*ampere*)

t = waktu (*jam/sekon*)

Kemudian adapun kontruksi baterai menurut (Hamid,Rizky,Amin dan Bagus, 2016) Komponen – komponen baterai terdiri atas :

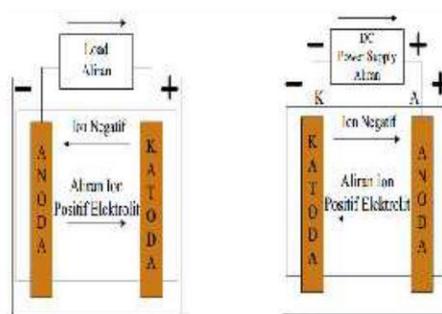
- a. Kotak baterai
- b. Elektrolit baterai
- c. Sumbat Ventilasi
- d. Plat positif dan plat negatif
- e. Separator
- f. Lapisan serat gelas (*Fiber Glass*)
- g. Sel baterai



Gambar 2.12. Kontruksi Baterai (Hamid,Rizky,Amin dan Bagus, 2016)

Prinsip Kerja Baterai (Hamid,Rizky,Amin dan Bagus, 2016). Baterai merupakan perangkat yang mampu menghasilkan tegangan DC, yaitu dengan cara mengubah energi kimia yang terkandung didalamnya menjadi energi listrik melalui reaksi elektro kimia, Redoks (Reduksi-Oksidasi). Baterai terdiri dari beberapa sel listrik, sel listrik tersebut menjadi penyimpan energi listrik dalam bentuk energy kimia. Sel baterai tersebut terdiri dari elektroda negative dan elektroda positif. Elektroda negatif disebut katoda, yang berfungsi sebagai pemberi electron. Elektro positif yang disebut anoda berfungsi sebagai penerima electron. Antara anoda dan katoda akan mengalir arus yaitu dari kutub positif ke kutub negatif. Sedangkan elektron akan mengalir dari kutub negatif ke kutub positif.

1. Proses pengosongan pada sel berlangsung menurut gambar 2.12. Jika sel dihubungkan dengan beban maka, elektron mengalir dari anoda melalui beban katoda, kemudia ion – ion negatif mengalir ke anoda dan ion – ion positif akan mengalir ke katoda.
2. Pada proses pengisian menurut gambar 2.12. dibawah ini adalah bila sel dihubungkan dengan *power supply* maka elektroda positif menjadi anoda dan elektroda negatif menjadi katoda dan proses kimia yang terjadi adalah sebagai berikut :



Gambar 2.13. Proses pengosongan dan pengisian baterai

(Hamid,Rizky,Amin dan Bagus, 2016)

- a. Aliran elektron menjadi terbalik, mengalir dari anoda melalui *power supply* ke katoda
- b. Ion – ion negatif mengalir dari katoda ke anoda
- c. Ion – ion positif mengalir dari anoda ke katoda jadi, reaksi kimia pada saat pengisian adalah kebalikan dari saat pengosongan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Berkapasitas 100 Watt Dengan Bilah Vertikal ini dilaksanakan di Wisata Sawah Dusun VII, jl. Johar Raya, Desa Pematang Johar, Kec. Labuhan Deli Serdang.

3.2. Alat dan Bahan

Untuk mendukung penelitian ini, diperlukan beberapa alat yaitu sebagai berikut:

3.2.1 Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Solder

Berfungsi sebagai alat untuk menghubungkan antara satu kawat dengan kawat yang lainnya.

2. Multimeter

Sebagai alat untuk mengukur arus dan tegangan yang dihasilkan pada pembangkit listrik tenaga angin.

3. Tang potong

Untuk memotong kabel ataupun kawat yang digunakan pada proses pembuatan alat.

4. *Tollset*

Sebagai alat bantu untuk pembuatan alat.

3.2.2 Bahan

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Bilah Vertikal

Berfungsi sebagai sudu, dimana sudu ini yang merupakan bahan untuk menangkap angin sehingga angin berputar

2. Generator : 12V 100Watt

Sebagai bahan yang akan mengkonversi energi gerak yang dihasilkan turbin ke energi listrik.

3. *Battery Charger Controller* : 10 A

Untuk mengontrol listrik yang masuk ke baterai dan kapasitas baterai.

4. *Inverter* : 300 Watt

Sebagai alat yang mengkonversi tegangan DC dari baterai ke AC yang akan digunakan ke beban

5. Baterai : 12V 100Ah

Sebagai alat penyimpanan listrik DC yang di hasilkan / keluarkan oleh generator

6. Kabel : NYA

Sebagai penghubung antara satu komponen ke komponen lainnya

7. Baut dan Mur : Sesuai Kebutuhan

Untuk merekatkan komponen – komponen pada turbin

8. Tiang : \pm 3 Meter

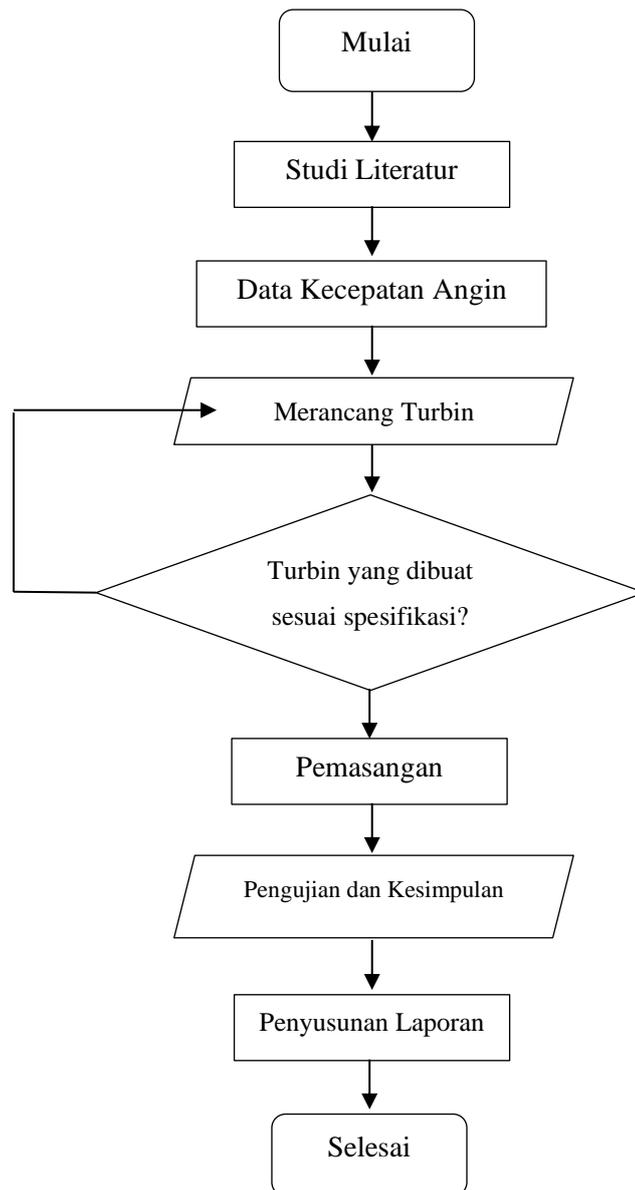
Sebagai dudukan turbin

3.3. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian adalah serangkaian kegiatan yang dilaksanakan secara teratur dan sistematis untuk mencapai tujuan-tujuan penelitian yang ddisusun secara

urut dari tahap yang terakhir. Dengan alur penelitian, dapat ditentukan tujuan dan arah penelitian tugas akhir ini akan dilakukan.

Adapun tahapan penelitian yang akan dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada blok diagram dibawah ini :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

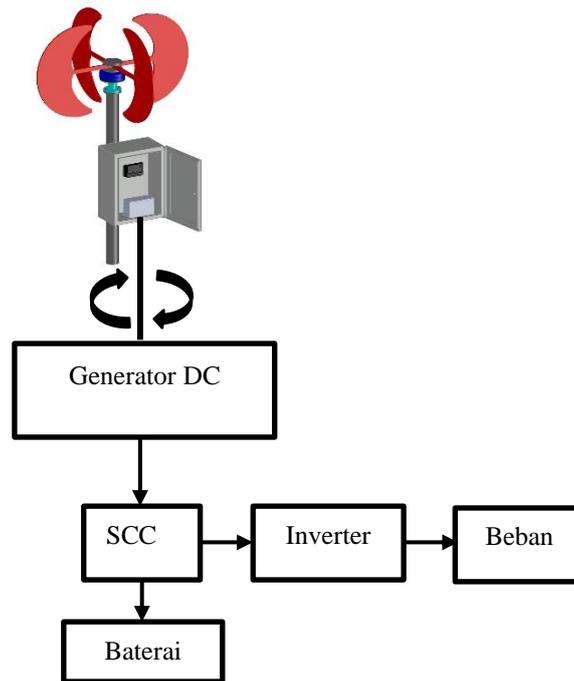
3.4. Analisis Kebutuhan Alat dan Sistem

Analisis kebutuhan alat dan sistem adalah tahap menentukan alat, komponen, serta media yang dibutuhkan dalam perancangan serta sistem yang akan dibangun, kebutuhan sistem, meliputi:

- Kebutuhan perangkat lunak, terdiri dari perangkat lunak sistem operasi yang digunakan baik untuk membuat desain alat penelitian maupun rangkaian alat penelitian.
- Kebutuhan perangkat keras, meliputi semua komponen yang diperlukan untuk merangkai alat penelitian.

3.5. 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 penelitian ini dapat mengukur tegangan listrik serta arus listrik yang dihasilkan. Arus listrik dihasilkan pada generator ini berupa arus bolak-balik (AC).

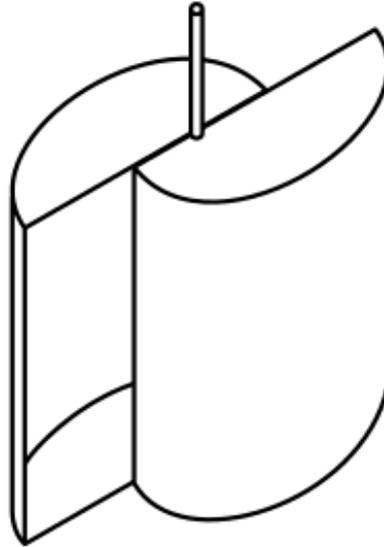


Gambar 3. 2 Blok Diagram Sistem PLTB

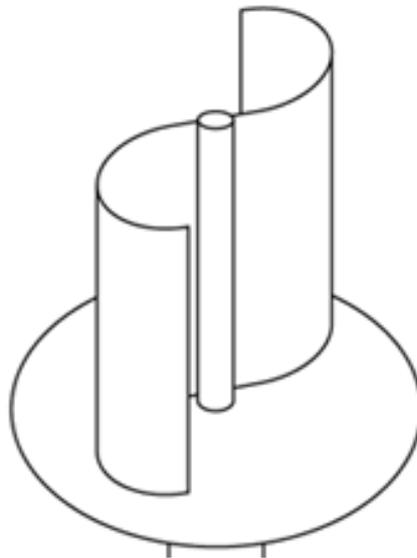
Berdasarkan gambar diatas, maka sistem kerja dari PLTB dengan bilah vertikal ini memanfaatkan ketinggian untuk mendapatkan kapasitas angin yang memadai. Setelah angin yang didapat memenuhi, maka akan memutar turbin yang juga terkoneksi dengan Generator DC untuk menghasilkan tegangan keluaran dari hasil pemutaran turbin. Setelah generator DC menghasilkan tegangan DC, maka selanjutnya akan diatur menggunakan SCC (Charger Control) yang berguna menstabilkan tegangan yang didapat sehingga keluarannya dapat digunakan untuk mengisi baterai dan juga dialirkan ke inverter untuk dikonversikan ke tegangan AC sehingga dapat digunakan pada beban (resistif, induktif, kapasitif).

3.6. Design Turbin

1. Design pada sudu – sudu turbin

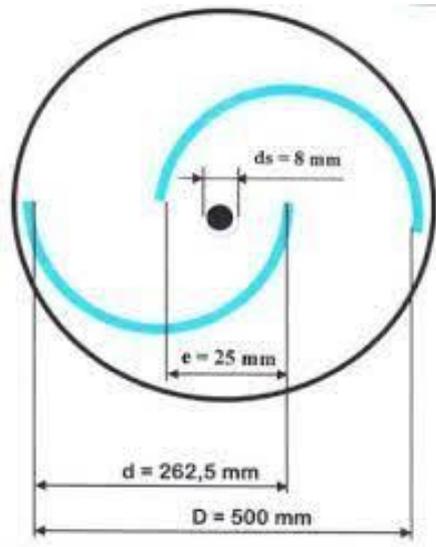


Gambar 3.3. Design Sudu 1



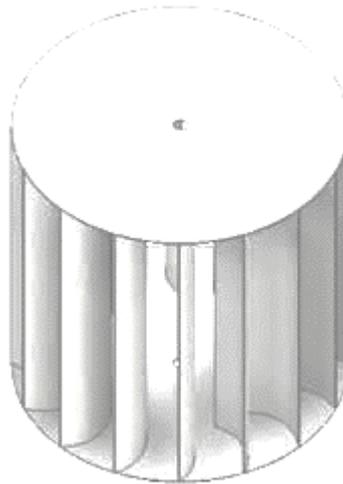
Gambar 3.4. Design Sudu yang sudah terpasang

2. Design Dudukan Sudu Turbin



Gambar 3.5. Design Dudukan Sudu

3. Design Sudu dan Dudukan Setelah Terpasang



Gambar 3.6. Sudu dan Dudukan Setelah Terpasang

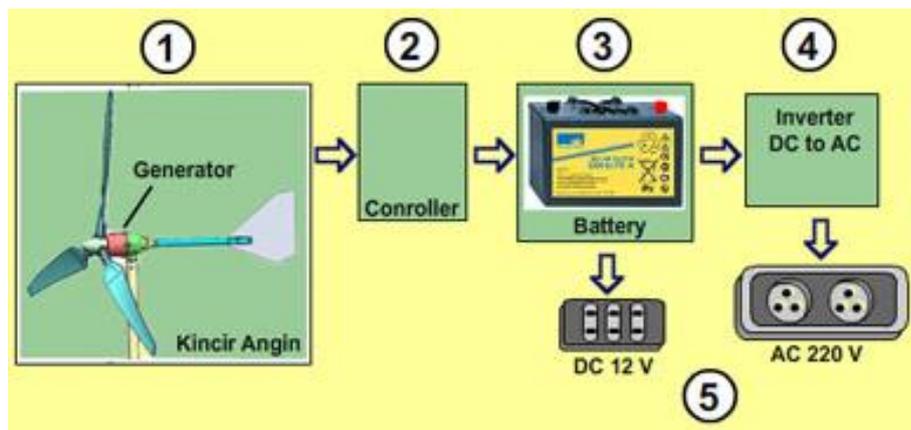
Setelah semua terpasang, maka langkah terakhir adalah menambahkan tiang untuk berdirinya turbin tersebut.

4. Design Turbin Secara Keseluruhan



Gambar 3.7 Turbin Secara Keseluruhan

Maka adapun bentuk design pembangkit listrik tenaga angin setelah dikombinasikan dengan turbin adalah sebagai berikut :



Gambar 3.8. Design PLT Angin

3.7 Pembuatan Alat

1. Siapkan alat dan bahan yang telah ditentukan, setelah bahan semua dilengkapi langkah awal adalah membuat batas atas dan batas bawah turbin angin yang berbentuk lingkaran. Dimana batas atas dan batas bawah ini berfungsi untuk dudukan sudu – sudu yang menampung angin agar turbin berputar



Gambar 3.9. Batas Bawah Turbin



Gambar 3.10. Batas Atas Turbin

2. Setelah batas bawah dan batas atas dibuat, maka tahap selanjutnya adalah mengukur batas atas dan batas bawah untuk dipasang sudu – sudu yang akan menampung angin agar turbin berputar. Tahap selanjutnya adalah siapkan 2 keping alumunium tipis yang ringan kemudian bor 2 sisi pada masing masing alumunium untuk dudukan sudu – sudu pada turbin.



Gambar 3.11 Alumunium Dudukan Turbin

3. Selanjutnya siapkan sudu – sudu turbin sebanyak yang dibutuhkan yang telah diukur pada batas atas dan batas bawah.



Gambar 3.12. Sudu – Sudu Turbin

- Setelah sudu – sudu disiapkan maka selanjutnya adalah pasang sudu – sudu turbin ke sela – sela alumunium yang dibuat seperti gambar dibawah ini



Gambar 3.13. Memasang Sudu – Sudu Turbin

- Kemudian rekatkan kedua sisi alumunium menggunakan baut yang telah disediakan agar sudu – sudu kokoh saat berbutar.



Gambar 3.14 Perekatan



Gambar 3.15 Sudu yang telah terpasang

6. Lakukan hal yang sama pada tahap 5 dan 6 pada semua sudu dan batas bawah turbin. Setelah semua sudu terpasang tahap selanjutnya adalah menghubungkan turbin dengan besi penghubung antara turbin dan generator.



Gambar 3.16 Besi Penghubung

7. Kemudian rekatkan besi penghubung turbin dan generator menggunakan sebilah besi.

- Setelah turbin terhubung dengan sebatang besi yang berfungsi untuk perekat pada generator, maka langkah selanjutnya adalah membuat dudukan turbin, dimana dudukan turbin terbuat dari alumunium agar tidak teralu berat.



Gambar 3.17. Dudukan Turbin

- Setelah dudukan dibuat, maka turbin siap dicouple dengan generator dan siap untuk di uji.



Gambar 3.18. Turbin Keseluruhan

BAB IV

ANALISA DATA

4.1. Hasil Pengujian Turbin Angin

4.1.1. Menentukan Kecepatan Angin Nominal

Turbin angin yang akan dibuat dirancang untuk dapat memenuhi kebutuhan energi rumah tangga, sehingga penempatannya diupayakan tidak jauh dari daerah pemukiman. Turbin angin ini dirancang untuk penggunaan di Indonesia yang memiliki kecepatan angin pada keadaan normal berkisar antara 1 sampai 5 m/s. Pengukuran kecepatan angin ini menggunakan anemometer. Didapat kecepatan angin sebagai berikut :

Tabel 4.1. Data Kecepatan Angin Pada Tanggal 25 September 2021

Waktu (Jam)	Kecepatan Angin (m/s)
06.00	1,8
07.00	2,1
08.00	2
09.00	2,6
10.00	3,8
11.00	3,5
12.00	4,3
13.00	4,5
14.00	4,7
15.00	4,8
16.00	5,2
17.00	3,2
18.00	2,9
19.00	2,4
20.00	1,82

Pada pengujian kecepatan angin nominal diatas, dapat terlihat bahwa puncak angin ataupun kecepatan angin tertinggi dihasilkan pada pukul 16:00 (Sore Hari) yaitu sebesar 5,2 m/s. Pada pengujian cuaca sangat cerah, angin yang dihasilkan dari pukul 06:00 yaitu 1,8 m/s perlahan naik setiap jam nya hingga puncaknya

adalah pukul 16:00. Kemudian dari pukul 17:00 kecepatan angin kembali menurun secara perlahan hingga pukul 20:00 kecepatan angin adalah 1,82 m/s

4.2. Desain Perancangan

Desain perancangan part menggunakan perhitungan dari data angin yang telah ditetapkan untuk mengetahui gambaran turbin angin, pembuatan, perakitan maupun pengujian.

4.3. Pengujian Turbin Angin

4.3.1 Pengujian Alami

Pengujian dilakukan selama 1 hari, dimana 1 hari dilakukan penelitian sebanyak 9 Jam / Hari. Penelitian dilakukan mulai Pukul 9 Pagi sampai dengan pukul 17. Pengujian dilakukan pada tanggal 1 Oktober 2021. Adapun aspek pengujian pada alat ini meliputi, kecepatan angin, tegangan yang dihasilkan generator, arus yang dihasilkan kemudian ditutup dengan perhitungan daya yang dihasilkan generator tersebut.

Adapun tabel data yang diambil pada hari tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel Data 4.2 Percobaan Hari ke-1

Tabel 4.2. Data Hari Ke-1

Waktu	Suhu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Keluaran (V)	Arus PLTB (A)
08:00 - 09:00	24°C	2,1	11,21	4,02
09:00 - 10:00	25°C	2,4	11,25	4,03
10:00 - 11:00	25°C	2,5	11,26	4,03
11:00 - 12:00	26°C	2,6	11,28	4,04
12:00 - 13:00	26°C	3,4	11,74	4,12
13:00 - 14:00	28°C	3,6	11,82	4,12

Waktu	Suhu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Keluaran (V)	Arus PLTB (A)
14:00 - 15:00	26°C	4,5	12,53	4,42
15:00 - 16:00	26°C	4,3	12,50	4,41
16:00 - 17:00	24°C	4,2	12,50	4,40

Dari tabel pengujian diatas dapat dilihat pada pukul 14:00 – 15:00 menghasilkan kecepatan angin paling tinggi yaitu 4,5 m/s dengan tegangan 12,50 Volt dan arus 4,42 Ampere. Kemudian kecepatan paling kecil terjadi pada pukul 08:00 – 09:00 yaitu 2,1 m/s dan tegangan yang dihasilkan adalah 11,21 Volt dan arus 4,02 Ampere.

Maka dari tabel diatas, rata – rata arus, tegangan dan daya pada tiap jam nya dengan persamaan :

$$P = V \times I$$

Dimana :

P = Daya Keluaran

I = Arus Keluaran

V = Tegangan Keluaran

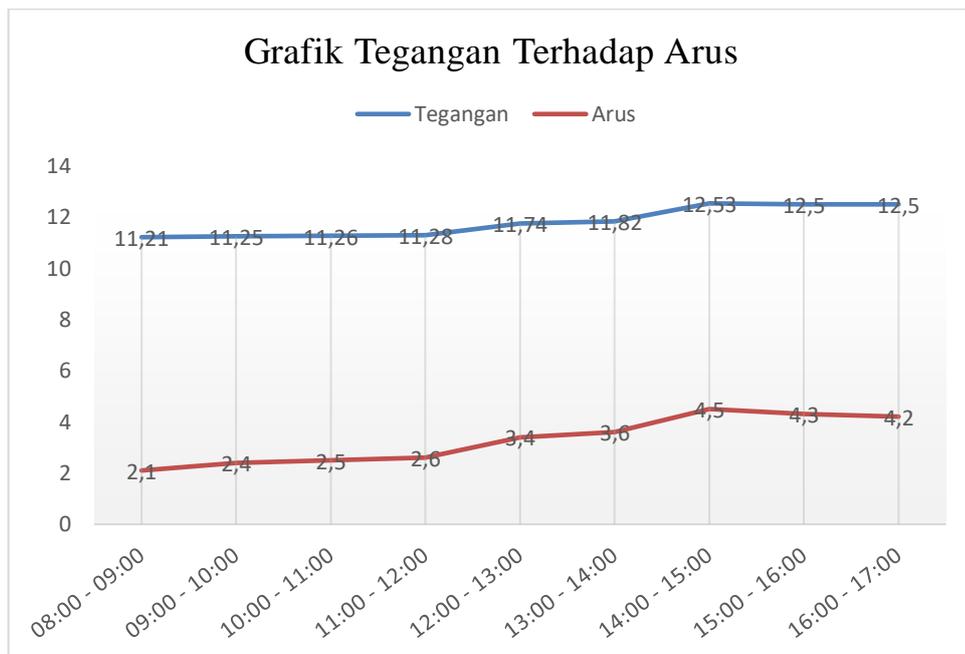
Maka adapun daya keluaran yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel dibawah ini yaitu :

Tabel 4.3. Daya Keluaran

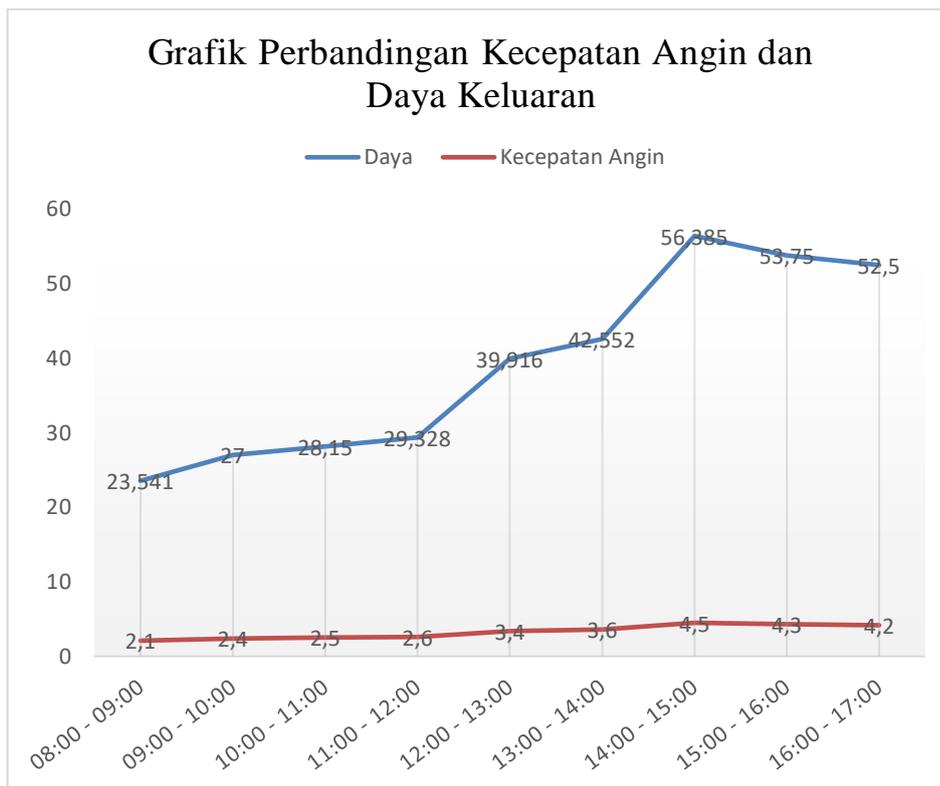
Waktu	Suhu	Kecepatan Angin (m/s)	Arus Keluaran (Ampere)	Tegangan Keluaran (Volt)	Daya (Watt)
08:00 - 09:00	24°C	2,1	4,02	11,21	23,541
09:00 - 10:00	25°C	2,4	4,03	11,25	27

Waktu	Suhu	Kecepatan Angin (m/s)	Arus Keluaran (Ampere)	Tegangan Keluaran (Volt)	Daya (Watt)
10:00 - 11:00	25°C	2,5	4,03	11,26	28,15
11:00 - 12:00	26°C	2,6	4,04	11,28	29,328
12:00 - 13:00	26°C	3,4	4,12	11,74	39,916
13:00 - 14:00	28°C	3,6	4,12	11,82	42,552
14:00 - 15:00	26°C	4,5	4,42	12,53	56,385
15:00 - 16:00	26°C	4,3	4,41	12,50	53,75
16:00 - 17:00	24°C	4,2	4,40	12,50	52,5
Rata – Rata Tegangan				11,78	
Rata – Rata Arus				3,29	
Rata – Rata Daya				39,23	

Dapat kita lihat bahwasannya daya keluaran yang dihasilkan berbanding lurus dengan kecepatan angin yang dihasilkan, dimana semakin tinggi kecepatan angin maka semakin besar pula daya yang dihasilkan. Dari tabel diatas dapat dihasilkan grafik sebagai berikut :



Grafik 4.1. Tegangan Terhadap Arus



Grafik 4.2 Kecepatan Angin dan Daya Keluaran

Dari tabel diatas dapat kita lihat bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan daya keluaran yang dihasilkan. Maka dari percobaan yang dilakukan, didapatkan arus tegangan dan daya keluaran yang dihasilkan oleh PLTB yang telah dibuat. Adapun hasil dari pemngambilan data adalah :

Tabel 4.4. Nilai Rata - Rata

Yang Di Hasilkan PLTB	Nilai Rata - Rata
Tegangan (Volt)	11,78
Arus (Ampere)	3,29
Daya (Watt)	39,23

4.3.2. Pengujian Buatan

Pada pengujian buatan ini dilakukan didalam ruangan dengan menggunakan kipas angin sebagai alat bantu untuk memutar turbin. Dimana kipas angin yang digunakan dengan kecepatan putar yaitu 600 rpm selama satu menit. Adapun tabel data yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.5 Data Pengujian Buatan

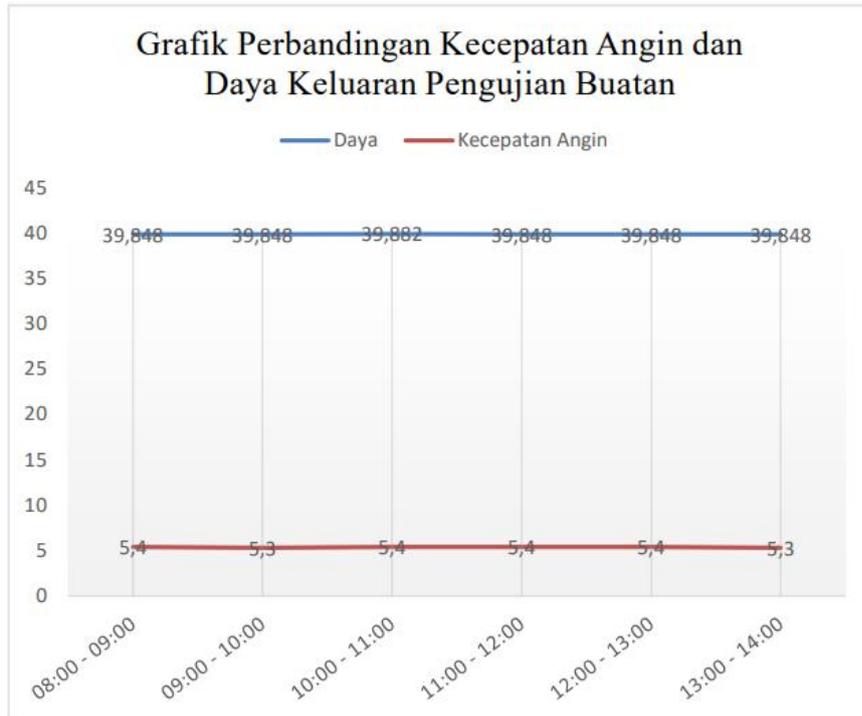
Kecepatan Angin (m/s)	Waktu (Detik)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)
5,4	10	3,4	11,72
5,3	20	3,4	11,72
5,4	30	3,4	11,72
5,4	40	3,4	11,72
5,4	50	3,4	11,72
5,3	60	3,4	11,72

Pada pengujian buatan ini dapat dilihat arus dan tegangan relatif stabil dikarenakan kecepatan angin yang dihasilkan juga buatan yang stabil. Dari tabel diatas maka didapat daya yang dihasilkan pada pembangkit listrik tenaga angin ini adalah sebagai berikut :

Tabel 4.6 Data Pengujian Buatan

Kecepatan Angin (m/s)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Daya (Watt)
5,4	3,4	11,72	39,848
5,3	3,4	11,72	39,848
5,4	3,4	11,73	39,882
5,4	3,4	11,72	39,848
5,4	3,4	11,72	39,848
5,3	3,4	11,72	39,848

Dapat dilihat pada tabel diatas maka daya yang dihasilkan stabil karena menggunakan angin buatan dengan kecepatan angin yang juga relatif stabil. Maka adapun grafik yang dihasilkan adalah sebagai berikut :



Grafik 4.3. Daya dan Kecepatan Angin Buatan

Dapat dilihat jelas pada grafik bahwa apabila kecepatan angin yang dihasilkan stabil maka daya yang dikeluarkan stabil.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan data pengujian yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, maka dapat dilihat kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil perancangan turbin vertikal membuktikan bahwa semakin panjang lengan maka putaran generator yang dihasilkan semakin besar.
2. Dari hasil pengujian yang dilakukan baik secara alami maupun buatan diperoleh bahwa pengujian secara alami menghasilkan daya sebesar 56,38 Watt dengan tegangan sebesar 12,53 volt pada kecepatan angin tertinggi 4,5 m/s yang terjadi pada pukul 14.00-15.00 wib. Sedangkan pada pengujian buatan menghasilkan daya stabil dan kecepatan angin relatif stabil sebesar 39,848 Watt dengan tegangan sebesar 11,72 volt pada kecepatan angin 5,4 m/s

5.2. Saran

1. Dilakukan penelitian yang menggunakan ukuran turbin dan generator yang lebih besar untuk mendapatkan hasil daya yang lebih maksimal
2. Sebaiknya merubah pola turbin angin, agar dapat menampung kapasitas angin lebih besar lagi

DAFTAR PUSTAKA

- Rimbawati. “ perancangan sistem pengontrolan tegangan pada pltb menggunakan potensio dc “
- alifyanti, d. F. (n.d.). *Dian furqani alifyanti*. 1(1), 79–95.
- Anggita dewita, ahmad shirat abu bakar, k. D. (2015). Pemanfaatan wrf-arw untuk simulasi potensi angin sebagai sumber energi di teluk bone. *Jurnal material dan energi indonesia*, 05(02), 17–23.
- Bachtiar, a., & hayyatul, w. (2018). Analisis potensi pembangkit listrik tenaga angin pt. Lentera angin nusantara (lan) ciheras. *Jurnal teknik elektro itp*, 7(1), 34–45. <https://doi.org/10.21063/jte.2018.3133706>
- Bertingkat, p. B. (1990). *Sistem pembangkit listrik tenaga angin skala kecil pada bangunan bertingkat*. 2–7.
- Desrizal, h., & rosma, i. H. (2014). *Berbasiskan pembangkit listrik tenaga angin (pltb) dan pembangkit listrik tenaga surya (plts)*. 1–8.
- Dylan trotsek. (2017). No title no title. *Journal of chemical information and modeling*, 110(9), 1689–1699.
- Fachri, m. R. (2017). *Analisa potensi energi angin dengan distribusi weibull untuk pembangkit listrik tenaga bayu (pltb) banda aceh*. 1(1), 1–8.
- Hutagalung, s. N., panjaitan, m., & pendahuluan, i. (2017). *Prototype rangkaian inverter dc ke ac 900 watt*. 6, 64–66.
- Iqbal, m., adinandra, r. M. S., sc, m., & ph, d. (n.d.). *Pembuatan sistem pembangkit listrik tenaga angin berkapasitas 100 watt*. 1–5.
- Ksergi, e. (2019). *Rancang bangun turbin angin poros horizontal*. 15(3), 132–138.
- Lestari, s. R., & mesin, j. T. (2020). *Studi eksperimen variasi jumlah sirip dan kecepatan angin terhadap unjuk kerja turbin angin sumbu vertikal tipe bilah bersirip 1*. 13.
- Lubis, z. (2018). Metode baru merancang sistem mekanis kincir angin pembangkit listrik tenaga angin. *Journal of electrical technology*, 3(3), 1–4.
- Nuarsa, m., teknik, j., fakultas, m., & universitas, t. (2013). *Terhadap unjuk kerja turbin angin poros horizontal*. 3(1), 50–59.
- Priyadi, i., surapati, a., putra, v. T., angin, a. E., & belakang, a. L. (2018). *Rancang bangun turbin angin horizontal sebagai salah satu pembangkit daya pada mobil hybrid*. 147–158.
- Riset, j., & teknologi, s. (2019). *Jurnal ristech universitas abulyatama perancangan dan uji kincir angin vertikal darrieus tipe-h dengan daya 0 , 31 hp*. 1(1), 27–37.
- Saputra, w. N., despa, d., soedjarwanto, n., samosir, a. S., teknik, j., universitas, e., encoder, r., & uno, a. (n.d.). *Prototype generator dc dengan penggerak*. 1.
- Sudu, j., & sistem, d. A. N. (2018). *No title*. 14(2), 31–35.

Tambunan, j. M., harmonik, d., & daya, p. (1945). *Analisis pengaruh jenis beban listrik terhadap kinerja pemutus daya listrik di gedung cyber jakarta.*

Wangi-wangi, d. I. P., widyanto, s. W., wisnugroho, s., & agus, m. (2018). *Surya pada pembangkit listrik tenaga hibrid.* 1–12.

Rimbawati, Nur Adiansyah, Noorly Evalina : "Perancangan Sistem Pengontrolan Tegangan Pada Pltb Menggunakan Potensio Dc" ISBN: 978-623-7297-02-4