

TUGAS AKHIR

**PEMANFAATAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN (PLTB)
UNTUK *SUPPLY ENERGY* BEBAN PENERANGAN PADA
PERAHU NELAYAN**

*Diajukan Sebagai Syarat Untuk Mendapat Gelar Sarjana
Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

SYAHRY IZOMY
1607220103



**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Syahry Izomy
NPM : 1607220103
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB)
Untuk Supply energy Beban Penerangan Pada Perahu
Nelayan
Bidang Ilmu : Energi Baru Terbarukan (E.B.T)

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 Oktober 2023

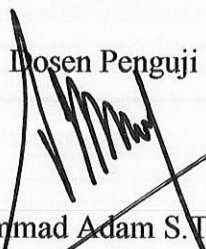
Mengetahui dan Menyetujui :

Dosen Pembimbing



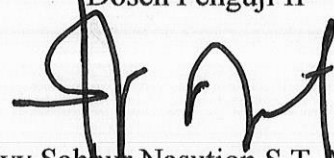
Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

Dosen Penguji I



Muhammad Adam S.T., M.T

Dosen Penguji II



Elvy Sahur Nasution S.T., M.Pd

Program Studi Teknik Elektro

Ketua,



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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Lengkap : Syahry Izomy
Tempat/Tanggal Lahir : Medan / 22 Januari 1997
NPM : 1607220103
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul :

“PEMANFAATAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN (PLTB) UNTUK SUPPLY ENERGY BEBAN PENERANGAN PADA PERAHU NELAYAN”

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 karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian anatara 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, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Oktober 2023

Saya yang menyatakan,



Syahry Izomy

ABSTRAK

PEMANFAATAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN (PLTB) UNTUK SUPPLY ENERGY BEBAN PENERANGAN PADA PERAHU NELAYAN

**Syahry Izomy
1607220103**

Pembangkit listrik energi terbarukan saat ini terus mengalami peningkatan dalam penggunaannya. Mengingat kenaikan kebutuhan energi listrik dunia setiap tahunnya mencapai 1,4%, maka pengembangan pembangkit listrik energi terbarukan terus dilakukan. Pembangkit listrik energi terbarukan dalam perkembangannya dapat dirancang secara tunggal atau sistem hibrida. Konfigurasi sistem pembangkit listrik energi terbarukan dapat bekerja dalam mode stand-alone atau mode terhubung Grid, pembangkit listrik mode standalone sering digunakan untuk wilayah terpencil dan mode terhubung Grid biasa digunakan untuk memenuhi kebutuhan lokal di area perkotaan. Untuk membangun suatu unit pembangkit listrik tenaga angin banyak faktor yang harus dipertimbangkan antara lain data kecepatan angin dilaut dan penyimpanan daya listrik dari hasil memback up, untuk disalurkan kembali pada alat penerangan di perahu nelayan. Dengan ini saya ingin merancang sebuah alat yang dapat memudahkan nelayan dalam aspek penerangan dan kebutuhan lainnya. Pada penelitian ini dilakukan perencanaan dan pembuatan PLTB, yang kemudian akan diuji tingkat efektifitas dan efisiensi alat. Hasil perancangan turbin 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

Kata Kunci : PLTB, Turbin Angin

ABSTRACT

UTILIZATION OF WIND POWER PLANT (PLTB) TO SUPPLY ENERGY LIGHTING LOAD ON FISHING BOAT

Syahry Izomy

1607220103

Renewable energy power plants are currently experiencing an increase in their use. Considering that the world's need for electrical energy increases annually by 1.4%, the development of renewable energy power plants is continuing. Renewable energy power plants in their development can be designed as a single or hybrid system. The configuration of the renewable energy power generation system can work in stand-alone mode or Grid-connected mode, stand-alone mode power plants are often used for remote areas and Grid-connected mode is usually used to meet local needs in urban areas. To build a wind power generation unit, many factors must be considered, including wind speed data at sea and storage of electrical power from the backup results, to be channeled back to lighting equipment on fishing boats. With this I want to design a tool that can facilitate fishermen in the aspect of lighting and other needs. In this research, the planning and construction of PLTB was carried out, which would then be tested for the level of effectiveness and efficiency of the device. The results of the turbine design prove that the longer the arm, the greater the rotation of the generator produced. 2. From the results of tests carried out both naturally and artificially, it was found that natural tests produced a power of 56.38 Watts with a voltage of 12.53 volts at the highest wind speed of 4.5 m/s which occurred at 14.00-15.00 WIB. While the artificial test produces stable power and a relatively stable wind speed of 39.848 Watt with a voltage of 11.72 volts at a wind speed of 5.4 m/s.

Keywords: PLTB, Turbine

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillah, Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, berkat karunia dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“PEMANFAATAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN (PLTB) UNTUK SUPPLY ENERGY BEBAN PENERANGAN PADA PERAHU NELAYAN”**. Shalawat dan Salam takluput penulis hantarkan kepada Rasulullah SAW, dengan segala keteladanan yang ada pada-Nya. Tujuan penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat kelulusan tingkat sarjana strata satu Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Terselesainya tugas akhir ini tentu tidak terlepas dari bantuan banyak pihak. Untuk itu penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada:

- 1) Ayahanda Amri dan ibunda Anisah tercinta selaku kedua orang tua penulis yang selalu memberikan nasihat, dorongan, motivasi, doa dan dukungan selama ini dalam proses pengerjaan dan dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- 2) Bapak Dr. Agussani, M.AP sebagai Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- 3) Bapak Munawar Alfansury Siregar ,ST., MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- 4) Bapak Faisal Irsan Pasaribu,ST.,MT, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik/Dosen Pembimbing, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- 5) Ibu Elvy Sahnur Nasution, ST., M.Pd selaku Seketaris Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik/Dosen Pembimbing 2, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
LEMBAR PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
BAB 1.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Masalah	2
1.4 Ruang Lingkup Masalah.....	3
BAB 2.....	4
TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.2 Energi Angin	9
2.2.1 Sirkulasi Global.....	9
2.2.2 Asal Energi Angin.....	10
2.2.3 Jenis Angin Musim	10
2.2.4 Pitch Control	14
2.3 Konversi Energi Angin.....	16
2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Angin.....	18
2.5 Generator Arus Searacah (DC).....	26
2.6 Proses Pembangkitan Energi Listrik Tenaga Bayu/Angin (PLTB).....	26
2.7 Jenis Jenis Angin	28
2.8 Turbin Angin Vertikal	30
2.9 Sistem Kontrol.....	32

BAB 3.....	34
METODELOGI PENELITIAN	34
3.1 Metode Penelitian.....	34
3.2 Waktu dan Tempat	34
3.3 Diagram Alir.....	34
3.4 Peralatan Pengujian	35
3.5 Prosedur Penelitian.....	35
3.6 Flowchart Kerja Alat	36
BAB 4.....	37
PERENCANAAN DAN ANALISIS.....	37
4.1 Design Turbin Angin.....	37
4.2 Pembuatan PLTB.....	40
4.3 Hasil Pengujian Turbin Angin.....	45
4.3.1 Menentukan Kecepatan Angin Nominal.....	45
4.3.2 Pengujian Turbin Angin.....	48
BAB 5 Kseimpulan	55
KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1. Kesimpulan.....	55
5.2. Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pergerakan Angin.....	9
Gambar 2.2 Sirkulasi Atmosfir	10
Gambar 2.3 Turbin Sumbu Vertikal	13
Gambar 2.4 Pitch.....	15
Gambar 2.5 Pergerakan Arah Angin.....	16
Gambar 2.6 Peta Potensi Energi Indonesia	19
Gambar 2.7 Kincir Angin.....	19
Gambar 2.8 Turbin Angin Sumbu Vertikal.....	22
Gambar 2.9 PLTB Umum.....	23
Gambar 2.10 Generator Arus Searah (DC).....	28
Gambar 2.11 Proses Pembangkitan PLTB.....	29
Gambar 2.12 Pola Sirkulasi Udara Akibat Rotasi Bumi.....	30
Gambar 4.1 Design Sudu	36
Gambar 4.2 Design Sudu Terpasang.....	36
Gambar 4.3 Design Dudukan Sudu.....	37
Gambar 4.4 Sudu dan Dudukan Terpasang.....	37
Gambar 4.5 Turbin Keseluruhan.....	38
Gambar 4.6 Batas Bawah Turbin	39
Gambar 4.7 Batas Atas Turbin.....	39
Gambar 4.8 Aluminium Dudukan Turbin.....	41
Gambar 4.9 Sudu – Sudu Turbin	41
Gambar 4.10 Memasang Sudu-Sudu Turbin.....	42
Gambar 4.11 Perekatan	43
Gambar 4.12 Sudu Yang Terpasang	44
Gambar 4.13 Besi Penghubung.....	44
Gambar 4.14 Dudukan Turbin	45
Gambar 4.15 Turbin Keseluruhan.....	45
Gambar 4.16 Penerapan Alat	46
Gambar 4.17 Peneran Alat 2	47
Gambar 4.18 Grafik Tegangan Terhadap Arus.....	52
Gambar 4.19 Grafik Kecepatan Angin Dan Daya Keluaran.....	53
Gambar 4.20 Grafik Daya Dan Kecepatan Angin Buatan	56

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Kecepatan Angin Pada Tanggal 10 Mei 2023.....	44
Tabel 4.2 Data Kecepatan Angin Pada Tanggal 11 Mei 2023.....	44
Tabel 4.3 Data Kecepatan Angin Pada Tanggal 12 Mei 2023.....	45
Tabel 4.4 Data PLTB Alami.....	46
Tabel 4.5 Daya Keluaran.....	47
Tabel 4.6 Nilai Rata-Rata.....	49
Tabel 4.7 Data Pengujian Buatan	50
Tabel 4.8 Data Pengujian Buatan	50

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit listrik energi terbarukan saat ini terus mengalami peningkatan dalam penggunaannya. Mengingat kenaikan kebutuhan energi listrik dunia setiap tahunnya mencapai 1,4%, maka pengembangan pembangkit listrik energi terbarukan terus dilakukan. Pembangkit listrik energi terbarukan dalam perkembangannya dapat dirancang secara tunggal atau sistem hibrida. Konfigurasi sistem pembangkit listrik energi terbarukan dapat bekerja dalam mode stand-alone atau mode terhubung Grid, pembangkit listrik mode stand- alone sering digunakan untuk wilayah terpencil dan mode terhubung Grid biasadigunakan untuk memenuhi kebutuhan lokal di area perkotaan.

Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) merupakan pembangkit listrik yang terdiri dari 2 atau lebih pembangkit dengan sumber energi yang berbeda, misalnya seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang dipadu dengan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin (PLTB) atau disebut Hybrid PV-Bayu. Fungsinya salah satunya yaitu apabila langit mendung dan matahari lenyap pada siang hari, maka pembangkit listrik akan digerakkan olehturbin angin sebaliknya ketika angin berhembus pelan dan matahari lagi terik maka pembangkit listrik akan digerakkan oleh panel surya, akan tetapi ketika matahari lagi terik dan angin berhembus kencang maka pembangkit listrik akandigerakkan oleh panel surya dan turbin angin.

Kincir angin merupakan suatu perangkat yang memanfaatkan energi angin untuk membangkitkan energi listrik. Kincir angin dapat digunakan untukdaerah-daerah pedesaan dan daerah kepulauan yang belum mempunyai mesinpembangkit tenaga listrik dan untuk daerah-daerah yang sulit dijangkau dari pembangkit tenaga listrik. Untuk mendapatkan tenaga dari kincir angin yang sesuai dengan daya yang kita inginkan, maka komponen- komponen dari kincir angin dapat kita rencanakan sebaik mungkin. Misalnya poros, ini

harus kita rencanakan sebaik mungkin, misalnya bahan apa yang kita gunakan berapa kekuatan dari poros itu sendiri, selain itu kerangka juga harus kita rencanakan dari bahan apa yang kita gunakan untuk membuatnya.

Untuk membangun suatu unit pembangkit listrik tenaga angin banyak faktor yang harus dipertimbangkan antara lain data kecepatan angin dilaut dan penyimpanan daya listrik dari hasil memback up, untuk disalurkan kembali pada alat penerangan di perahu nelayan. Dengan ini saya ingin merancang sebuah alat yang dapat memudahkan nelayan dalam aspek penerangan dan kebutuhan lainnya maka saya mengangkat judul **“PEMANFAATAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN (PLTB) UNTUK SUPPLY ENERGY BEBAN PENERANGAN PADA PERAHU NELAYAN”**

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana merancang pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) untuk supply energy beban penerangan pada perahu nelayan ?
2. Bagaimana cara mengaplikasikan tenaga angin untuk supply energy beban penerangan pada perahu nelayan ?

1.3 Tujuan Masalah

Adapun tujuan masalah yang ingin dicapai adalah :

1. Untuk merancang pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) untuk supply energy beban penerangan pada perahu nelayan
2. Mampu mengaplikasikan tenaga angin untuk supply energy beban penerangan pada perahu nelayan

1.4 Ruang Lingkup Masalah

Yang menjadi ruang lingkup masalah penelitian ini adalah :

Ruang lingkup penelitian ini meliputi membuat, merancang, menguji dan menghitung

1. Pemakaian pembangkit listrik tenaga angin sebagai alat pemanfaatan untuk supply energy beban penerangan pada perahu nelayan
2. Sistem kerja alat ini sebagai energi gerak angin yang dapat dimanfaatkan dengan cara menerapkan angin tersebut ke penampang baling-baling supaya berputar, Putaran inilah yang akan membangkitkan listrik sedemikian rupa sehingga energi listrik tersebut dapat disimpan dalam batere.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

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 negara-negara 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 (horizontal dan vertikal) dan yang paling banyak digunakan adalah kincir jenis horizontal. Kincir jenis ini mempunyai rotasi horizontal 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 terjadi dengan efektif dengan mengaplikasikan dasar teori aerodinamika pada desain batang kincir. 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 menganalisis 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 (horizontal dan vertikal) dan yang paling banyak digunakan adalah kincir jenis horizontal. Kincir jenis ini mempunyai rotasi horizontal 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 di depan 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 di atas 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 vertikal 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. (Wangi-wangi 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 multiblade* 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 Energi Angin

Angin merupakan udara yang bergerak, karena gerakan itu disebabkan oleh perbedaan massa jenis udara itu sendiri. Massa jenis udara yang rendah

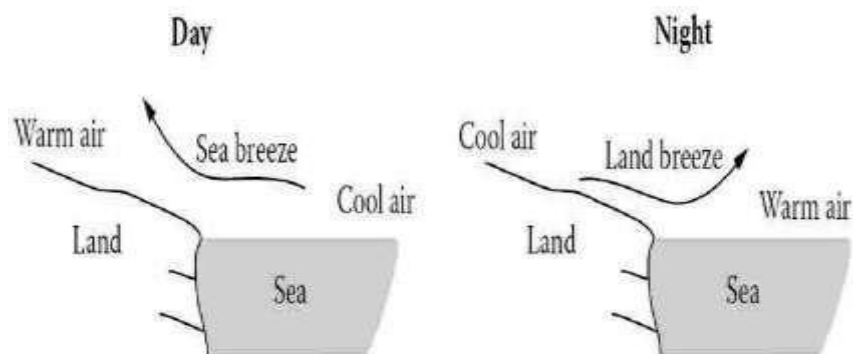


Figure 1

Gambar 2.1 Arah Pergerakan Angin

2.2.1 Sirkulasi Global

Ada dua faktor utama sirkulasi global yaitu radiasi matahari dan rotasi bumi dengan atmosfer. Variasi musiman adalah disebabkan kemiringan sumbu bumi pada bidang pergerakan bumi mengelilingi matahari. Radiasi surya lebih besar per satuan luas ketika matahari menyinari langsung tepat di atas, disana terjadi perpindahan panas dari daerah dekat khatulistiwa menuju kutub. Karena bumi berotasi pada sumbunya dan disana konservasi momentum sudut, angin akan bergeser sebagaimana pergerakan sepanjang arah longitudinal.

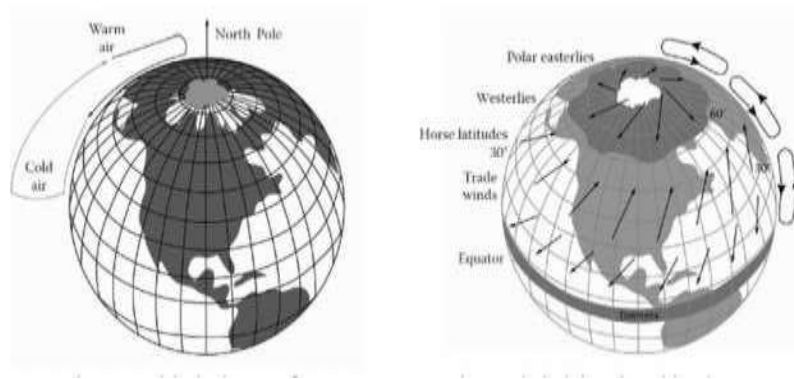


Figure 2

Gambar 2.2
Sirkulasi atmosfer secara umum, dan pada belahan bumi
bagian utara(<http://energi angin PLTB.com>)

2.2.2 Asal Energi Angin

Semua energi yang dapat diperbaharui dan bahkan energi pada bahan bakar fosil, kecuali energi pasang surut dan panas bumi berasal dari matahari. Matahari meradiasi $1,74 \times 10^{17}$ Kilowatt jam energi ke Bumi setiap jam. dengankata lain, bumi ini menerima daya $1,74 \times 10^{17}$ watt. Sekitar 1-2% dari energi tersebut diubah menjadi energi angin. Jadi, energi angin berjumlah 50-100 kali lebih banyak daripada energi yang diubah menjadi biomassa oleh seluruh tumbuhan yang ada di muka bumi Sebagaimana diketahui, pada dasarnya angin terjadi karena ada perbedaan temperatur antara udara panas dan udara dingin. Daerah sekitar khatulistiwa, yaitupada busur 0° , adalah daerah yang mengalami pemanasan lebih banyak dari matahari dibanding daerah lainnya di Bumi.

2.2.3 Jenis Angin Musim

Angin pasat adalah angin bertiup tetap sepanjang tahun daridaerah subtropik menuju ke daerah ekuator (khatulistiwa). Terdiri dari Angin Passat Sejarah Sel Surya

Timur Lautbertiup di belahan bumi Utara dan Angin Passat Tenggara bertiup di belahan bumi Selatan. Di sekitar khatulistiwa, kedua angin pasat ini bertemu. Karena temperatur di daerah tropis selalu tinggi, maka massa udara tersebut dipaksa naik secara vertikal (konveksi). Daerah pertemuan kedua angin pasat tersebut dinamakan Daerah Konvergensi Antar Tropik (DKAT). DKAT ditandai dengan

temperatur yang selalu tinggi. Akibat kenaikan massa udara ini, wilayah DKAT terbebas dari adanya angin topan. Akibatnya daerah ini dinamakan daerah doldrum (wilayah tenang)

Angin anti pasat udara di atas daerah ekuator yang mengalir ke daerah kutub dan turun di daerah maksimum subtropik merupakan angin Anti Passat. Di belahan bumi Utara disebut Angin Anti Passat Barat Daya dan di belahan bumi Selatan disebut Angin Anti Passat Barat Laut. Pada daerah sekitar lintang 20^o - 30^o LU dan LS, angin anti pasat kembali turun secara vertikal sebagai angin yang kering. Angin kering ini menyerap uap air di udara dan permukaan daratan. Akibatnya, terbentuk gurun di muka bumi, misalnya gurun di Saudi Arabia, Gurun Sahara (Afrika), dan gurun di Australia. 24 Di daerah Subtropik (30^o – 40^o LU/LS) terdapat daerah “teduh subtropik” yang udaranya tenang, turun dari atas, dan tidak ada angin. Sedangkan di daerah ekuator antara 10^o LU – 10^o LS terdapat juga daerah tenang yang disebut daerah “teduh ekuator” atau “daerah doldrum”

Angin Barat Sebagian udara yang berasal dari daerah maksimum subtropis Utara dan Selatan mengalir ke daerah sedang Utara dan daerah sedang Selatan sebagai angin Barat. Pengaruh angin Barat di belahan bumi Utara tidak begitu terasa karena hambatan dari benua. Di belahan bumi Selatan pengaruh angin Barat ini sangat besar, terutama pada daerah lintang 60^o LS. Di sini bertiup angin Barat yang sangat kencang yang oleh pelaut-pelaut disebut roaring forties.⁹ Solar cell adalah divais yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik.

Jadi secara langsung arus dan tegangan yang dihasilkan oleh solar cell bergantung pada penyinaran matahari. Pada solar cell ini dibutuhkan material yang dapat menangkap matahari dan energi tersebut digunakan untuk memberikan energi ke elektron agar dapat berpindah melewati band gapnya ke pita konduksi, dan kemudian dapat berpindah ke rangkaian luar. Melalui proses tersebutlah arus listrik dapat mengalir dari solar cell. Umumnya, divais dari solar cell ini menggunakan prinsip PN junction. Pada pelaksanaannya, sel surya tidak dipakai sendirian, tetapi biasanya dirakit menjadi Modul Surya. Modul Surya (fotovoltaic) adalah sejumlah sel surya yang dirangkai secara seri dan paralel untuk meningkatkan tegangan dan arus yang dihasilkan sehingga cukup untuk pemakaian sistem catu daya beban.

Untuk mendapatkan keluaran energi listrik, yang maksimum maka permukaan modul surya harus selalu mengarah ke matahari.

Angin Timur Di daerah Kutub Utara dan Kutub Selatan bumi terdapat daerah dengan tekanan udara maksimum. Dari daerah ini mengalir angin ke daerah minimum subpolar (60°LU/LS). Angin ini disebut angin Timur. Angin timur ini bersifat dingin karena berasal dari daerah kutub.

Angin Muson (Monsun) Angin muson adalah angin yang berhembus secara periodik (minimal 3 bulan) dan antara periode yang satu dengan yang lain polanya akan berlawanan yang berganti arah secara berlawanan setiap setengah tahun. Umumnya pada setengah tahun pertama bertiup angin darat yang kering dan setengah tahun berikutnya bertiup angin laut yang basah. Pada bulan Oktober – April, matahari berada pada belahan langit Selatan, sehingga benua Australia lebih banyak memperoleh pemanasan matahari dari benua Asia. Akibatnya di Australia terdapat pusat tekanan udara rendah (depresi) sedangkan di Asia terdapat pusat-pusat tekanan udara tinggi (kompresi). Keadaan ini menyebabkan arus angin dari benua Asia ke benua Australia. Di Indonesia angin ini merupakan angin musim Timur Laut di belahan bumi Utara dan angin musim Barat di belahan bumi Selatan. Oleh karena angin ini melewati Samudra Pasifik dan Samudra Hindia maka banyak membawa uap air, sehingga pada umumnya di Indonesia terjadi musim penghujan. musim penghujan meliputi seluruh wilayah Indonesia, hanya saja persebarannya tidak merata. makin ke timur curah hujan makin berkurang karena kandungan uap airnya makin sedikit

Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) Turbin angin sumbu horizontal yang memiliki poros rotor utama dengan generator listrik yang berada dipuncak menara dan mengarah menuju ke arah datangnya angin untuk mendapatkan manfaat energi angin. Turbin angin ini adalah turbin angin yang rotasi rotornya paralel terhadap permukaan tanah. Rotor turbin angin yang diarahkan menuju ke arah datangnya angin menggunakan pengaturan baling-baling angin sederhana. Dengan prinsip kerja aerodinamis, rotor turbin angin sumbu horizontal akan mengalami gaya lift dan gaya drag, akan tetapi gaya lift lebih besar dari gaya drag memungkinkan rotor turbin dikenal dengan rotor turbin tipe lift, seperti terlihat pada

gambar 2.3. Gambar 2.3 Gaya aerodinamik yang rotor turbin anginnya dilalui aliran udara Dilihat dari jumlah sudu, turbin angin sumbu horizontal terbagimenjadi: 1. kincir angin satu sudu (*single blade*) 2. kincir angin dua sudu (*doubleblade*) 3. kincir angin tiga sudu (*three blade*) 4. kincir angin banyak sudu (*multi blade*)

Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) Merupakan turbin angin yangsumbu rotasi rotornya lurus dengan permukaan tanah. Bila melihat turbin angin sumbu horizontal jauh lebih efektif dalam mengekstrak energi angin dari pada turbin angin sumbu vertikal. Walau demikian, turbin angin vertikal memiliki keunggulan, yaitu:

- a) Turbin angin sumbu vertical tetap sama dan tidak usah diubah.
- b) Jika arah angin berubah, posisinya tidak harus seperti turbin angin horizontal yang memerlukan mekanisme tambahan untuk mengikuti arah angin.
- c) Tidak perlu struktur menara yang besar.
- d) Bentuk turbin angin sederhana.
- e) Turbin angin sumbu vertikal bisa ditaruh dekat dengan permukaan tanah, hingga kemungkinan dapat menaruh komponen mekanik dan komponen elektronik sebagai pendukung beroperasinya turbin. Berdasarkan dari prinsip aerodinamik, menggunakan turbin angin sumbu vertikal

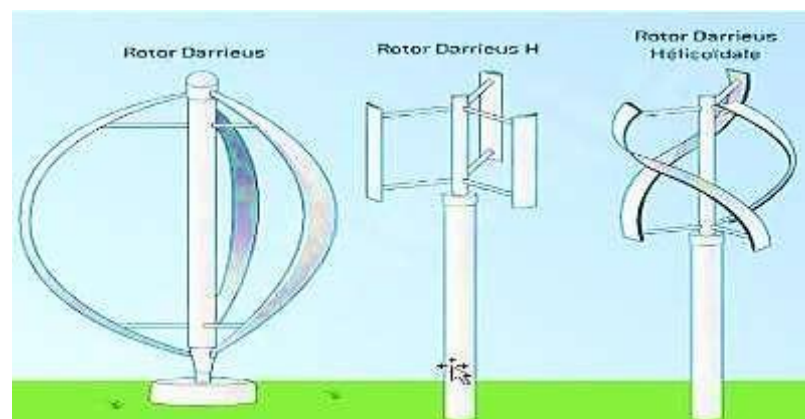


Figure 3

Gambar 2.3 Turbin Sumbu Vertikal

2.2.4 Pitch Control

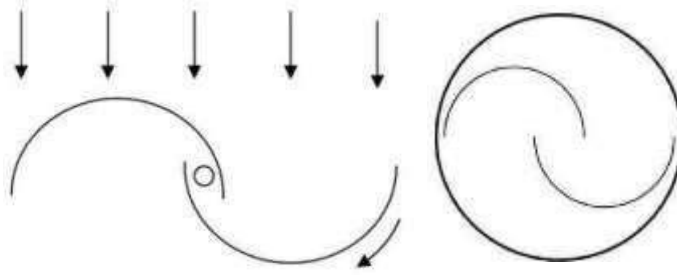
Pada saat kecepatan angin rendah dan sedang, sudut baling-baling diatur untuk memungkinkan turbin angin bekerja pada kondisi optimumnya. Sedangkan saat kecepatan angin sedang tinggi, sudut baling-baling akan dinaikkan agar daya aerodinamika berkurang dan menjaga kecepatan putaran rotor agar tetap dalam batas yang dapat dikontrol.



Gambar 2.4 Pitch
Sumber : Notosudjono, 2017 : 184

Sistem ini menggunakan solar cell jenis polycrystalline dengan kapasitas 20 WP (Wattpeak) yang akan menghasilkan tegangan antara 8-20V dengan arus maksimal 1A. Penggunaan solar cell 20 WP ini dipilih karena tegangan dan arus yang dihasilkan sudah cukup digunakan untuk melakukan pengisian pada accu dan efisien terhadap penggunaannya pada motor DC.

Pada solar cell ini, tegangan dan arus yang dihasilkan sangat berpengaruh pada intensitas cahaya matahari. Hal ini juga sangat berpengaruh terutama pada arus yang dihasilkan oleh solar cell. Maka dari itu, karena keterbatasan arus yang dihasilkan oleh solar cell, maka arus pengisian pada accu pun tidak bisa maksimal.



Gambar 2.5 Gambar Pergerakan Arah Angin

Seperti Gambar diatas, memungkinkan aliran fluidanya mengalir tegak lurus dibidang sudu bagian cembung dan bagian cekung. Dimana koefisien drag untuk aliran tegak lurus yang bidang cembungnya sebesar 1.2, untuk sisi cekung besarnya hampir dua kalinya 2.1 . Karena gaya drag pada bagian cekung lebih besar, yang berakibat bisa mempengaruhi torsi putaran Savonius. Rotor yang dibawah pengaruh gaya drag biasanya mempunyai torsi awal yang besar akan tetapi memiliki efisiensi yang lebih kecil dibandingkan rotor yang bekerja dengan gaya lift. Karena keuntungan ini banyak sekali orang memanfaatkan sebagai penggerak awal dari turbin poros vertikal tipe lift sama seperti yang dilakukan oleh R.gupta, R.Das dan K.K. Sharma dalam penelitiannya menggabungkanturbin Savonius-Darius.

Angin merupakan suatu udara yang bergerak dari wilayah yang memiliki suhu tinggi ke wilayah suhu lebih rendah, atau juga wilayah dengan tekanan udara yang tinggi ke tekanan udarayang lebih rendah. Angin tercipta karena suatu proses atau siklus yang di sebabkan dari perbedaantekanan udara antara suatu wilayah dengan wilayah lainnya sehingga angin tercipta dan disebut dengan energi angin.

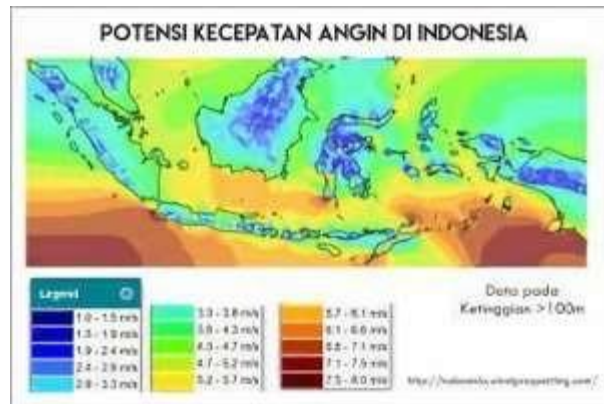
Sederhananya energi potensial pada angin inilah yang dapat dimanfaatkan sebagai penggerak turbin pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin. Model turbin yang umum di gunakan sebagai pembangkit berprinsip pada teori dasar dari momentum, angin dengan kecepatan tertentu menabrak rotor yang memiliki *propeller*, kemudian turbin yang bergerak terhubung langsung pada poros kemudian poros akan memutar generator untuk menghasilkan energi listrik. Macam-macam angin berdasarkan jenisnya.

2.3 Konversi Energi Angin

Konversi energi adalah penggunaan secara efisien dan rasional tanpa mengurangi penggunaan energi yang memang benar-benar diperlukan. Upaya konservasi energi ditetapkan pada seluruh tahap pemanfaatan, mulai dari pemanfaatan sumber daya energi sampai pada pemanfaatan akhir, dengan menggunakan teknologi yang efisien dan membudayakan pola pengontrolan daya turbin angin. Umumnya dalam perancangan turbin angin, terdapat beberapa parameter yang harus diperhitungkan, yaitu kecepatan cutin, kecepatan rating dan kecepatan cut-off yang merupakan kecepatan dimana turbin angin harus berhenti beroperasi untuk menghindari kerusakan akibat kecepatan angin yang melewati turbin angin melebihi batas ketahanan turbin. (Piggott Hugh, 2005) 2.8.1

Passive Stall Control Lengkungan dan ketebalan balingbaling rotor yang dibentuk sedemikian rupa akan menyebabkan turbulensi pada balingbaling ketika kecepatan angin melebihi batas kecepatan yang ditentukan. Turbulensi ini akan menyebabkan energi angin yang ditransfer menjadi kecil saat kecepatan angin tinggi. (Notosudjono, 2017)

Peta potensi energi angin Indonesia Peta Potensi Energi Angin Indonesia berisikan informasi mengenai potensi energi angin yang dimiliki Indonesia yang terbuka untuk publik dan diharapkan dapat membantu pemerintah dan pelaku usaha dalam menentukan wilayah yang memiliki potensi untuk dibangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin. Sedangkan Buku "Integration of Wind Energy in Power Systems" yang diluncurkan pada tahun 2017 dapat dijadikan panduan bagi para pengambil kebijakan dan pelaksana dalam mengintegrasikan energi listrik yang di produksi PLT Angin ke dalam sistem jaringan listrik PT PLN yang didasari oleh pengalaman Denmark. (BPPT outlook 2015)



Gambar 2.6 Peta Potensi Energi Angin Indonesia 2017
Sumber : www.esdm.go.id

Kondisi PLT Angin di Indonesia Perkembangan energi angin masih belum tergolong optimal di Indonesia. Sudah seharusnya pemerintah dan golongan akademisi mengadakan kajian-kajian tentang pengembangan sumber- sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui demi mendukung program diversifikasi dan kebijakan energi hijau nasional yang tak terkecuali energi angin ini. Misalnya, untuk kasus energi angin, sampai dengan tahun 2004, kapasitas terpasang dari pemanfaatan tenaga angin hanya mencapai 0.5 MW dari 9.29 GW potensi yang ada. (Outlook energi indonesia, 2016)



Gambar 2.7 Kincir Angin

2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Suatu pembangkit listrik dari energi angin merupakan hasil dari penggabungan dari beberapa turbin angin sehingga akhirnya dapat menghasilkan listrik. Cara kerja pembangkitan listrik tenaga angin ini yaitu awalnya energi angin memutar turbin angin. Turbin angin bekerja berkebalikan dengan kipas angin (bukan menggunakan listrik untuk menghasilkan listrik, namun menggunakan angin untuk menghasilkan listrik). Kemudian angin akan memutar sudut turbin, lalu diteruskan untuk memutar rotor pada generator di bagian belakang turbin angin. Generator mengubah energi gerak menjadi energi listrik dengan teori medan elektromagnetik, yaitu poros pada generator dipasang dengan material ferromagnetik permanen. Setelah itu di sekeliling poros terdapat stator yang bentuk fisisnya adalah kumparan-kumparan kawat yang membentuk loop.

Ketika poros generator mulai berputar maka akan terjadi perubahan fluks pada stator yang akhirnya karena terjadi perubahan fluks ini akan dihasilkan tegangan dan arus listrik tertentu. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabel jaringan listrik untuk akhirnya digunakan oleh masyarakat. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (alternating current) yang memiliki bentuk gelombang kurang lebih sinusoidal. Energi Listrik ini biasanya akan disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan.

Keuntungan utama dari penggunaan pembangkit listrik tenaga angin secara prinsipnya adalah disebabkan karena sifatnya yang terbarukan. Hal ini berarti eksploitasi sumber energi ini tidak akan membuat sumber daya angin yang berkurang seperti halnya penggunaan bahan bakar fosil. Oleh karenanya tenaga angin dapat berkontribusi dalam ketahanan energi dunia di masa depan. Tenaga angin juga merupakan sumber energi yang ramah lingkungan, dimana penggunaannya tidak mengakibatkan emisi gas buang atau polusi yang berarti ke lingkungan.

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 memutarbagian 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,

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

Dengan p = daya (kw)

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

F = faktor = 0,5926

E = efisiensi rotor dan peralatan lain

v = kecepatan angina (m/det) (Desrizal & Rosma, 2014)

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 didistribusikan kerumah-rumah, kantor, sekolah, dan sebagainya. Berikut jenis turbin angin :

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

a. Turbin Angin Sumbu Vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*)

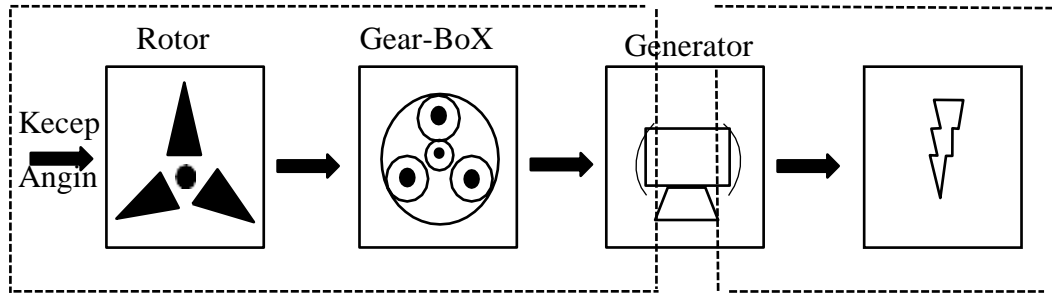


Gambar 2.8 Turbin Angin Sumbu Vertikal

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)

PLTB secara umum adalah suatu sistem pembangkit listrik yang dapat mengkonversikan energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik. Secara umum PLTB terbagi menjadi 4 bagian, yaitu rotor turbin, gearbox, generator dan pembebanan. Prinsip kerja PLTB adalah mengubah energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik dari putaran baling-baling yang dapat memutar rotor. Putaran rotor relatif lambat sehingga PLTB secara umum menggunakan gearbox untuk

Proses Mekanik Proses Elektrik



Gambar 2.9 PLTB secara umum

Energi kinetik pada suatu turbin angin dapat dirumuskan seperti pada persamaan berikut :

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

(2)

E_k = Energi kinetik (*joule*),

m = massa udara (kg),

v = kecepatan angin
(m/s).

Laju aliran massa dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$m = \rho A v,$$

(3)

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 ($A = \pi r^2$).

Dari persamaan (2) dan (3) dapat diperoleh daya angin

seperti persamaan berikut :

$$P_a = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

(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:

$$C_p = P_m / P_a,$$

.....
(5)

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 :

$$P_{maks} = 0,2965 C_p P_a = \rho A v^3, \dots$$

.....
(6)

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

Keuntungan utama dari penggunaan pembangkit listrik tenaga angin secara prinsipnya adalah disebabkan karena sifatnya yang terbarukan. Hal ini berarti eksploitasi sumber energi ini tidak akan membuat sumber daya angin yang berkurang seperti halnya penggunaan bahan bakar fosil. Oleh karenanya tenaga angin dapat berkontribusi dalam ketahanan energi dunia di masa depan. Tenaga angin juga merupakan sumber energi yang ramah lingkungan, dimana penggunaannya tidak mengakibatkan emisi gas buang atau polusi yang berarti ke lingkungan.

Penetapan sumber daya angin dan persetujuan untuk pengadaan ladang angin merupakan proses yang paling lama untuk pengembangan proyek energi angin. Hal ini dapat memakan waktu hingga 4 tahun dalam kasus ladang angin yang besar yang membutuhkan studi dampak lingkungan yang luas.

Emisi karbon ke lingkungan dalam sumber listrik tenaga angin diperoleh dari proses manufaktur komponen serta proses pengerjaannya di tempat yang akan

didirikan pembangkit listrik tenaga angin. Namun dalam operasinya membangkitkan listrik, secara praktis pembangkit listrik tenaga angin ini tidak menghasilkan emisi yang berarti. Jika dibandingkan dengan pembangkit listrik dengan batubara, emisi karbon dioksida pembangkit listrik tenaga angin ini hanya seperseratusnya saja. Disamping karbon dioksida, pembangkit listrik tenaga angin menghasilkan sulfur dioksida, nitrogen oksida, polutan atmosfer yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan pembangkit listrik dengan menggunakan batubara ataupun gas. Namun begitu, pembangkit listrik tenaga angin ini tidak sepenuhnya ramah lingkungan, terdapat beberapa masalah yang terjadi akibat penggunaan sumber energi angin sebagai pembangkit listrik, diantaranya adalah dampak visual, derau suara, beberapa masalah ekologi, dan keindahan.

Dampak visual biasanya merupakan hal yang paling serius dikritik. Penggunaan ladang angin sebagai pembangkit listrik membutuhkan luas lahan yang tidak sedikit dan tidak mungkin untuk disembunyikan. Penempatan ladang angin pada lahan yang masih dapat digunakan untuk keperluan yang lain dapat menjadi persoalan tersendiri bagi penduduk setempat. Selain mengganggu pandangan akibat pemasangan barisan pembangkit angin, penggunaan lahan untuk pembangkit angin dapat mengurangi lahan pertanian serta pemukiman. Hal ini yang membuat pembangkitan tenaga angin di daratan menjadi terbatas. Beberapa aturan mengenai tinggi bangunan juga telah membuat pembangunan pembangkit listrik tenaga angin dapat terhambat. Penggunaan tiang yang tinggi untuk turbin angin juga dapat menyebabkan terganggunya cahaya matahari yang masuk ke rumah-rumah penduduk. Perputaran sudu-sudu menyebabkan cahaya matahari yang berkelap-kelip dan dapat mengganggu pandangan penduduk setempat.

Efek lain akibat penggunaan turbin angin adalah terjadinya derau frekuensi rendah. Putaran dari sudu-sudu turbin angin dengan frekuensi konstan lebih mengganggu daripada suara angin pada ranting pohon. Selain derau dari sudu-sudu turbin, penggunaan *gearbox* serta generator dapat menyebabkan derau suara mekanis dan juga derau suara listrik. Derau mekanis yang terjadi disebabkan oleh operasi mekanis elemen-elemen yang berada dalam *nacelle* atau rumah pembangkit

listrik tenaga angin. Dalam keadaan tertentu turbin angin dapat juga menyebabkan interferensi elektromagnetik, mengganggu penerimaan sinyal televisi atau transmisi gelombang mikro untuk perkomunikasian.

Penentuan ketinggian dari turbin angin dilakukan dengan menganalisa data turbulensi angin dan kekuatan angin. Derau aerodinamis merupakan fungsi dari banyak faktor seperti desain sudu, kecepatan perputaran, kecepatan angin, turbulensi aliran masuk. Derau aerodinamis merupakan masalah lingkungan, oleh karena itu kecepatan perputaran rotor perlu dibatasi di bawah 70m/s. Beberapa ilmuwan berpendapat bahwa penggunaan skala besar dari pembangkit listrik tenaga angin dapat merubah iklim lokal maupun global karena menggunakan energi kinetik angin dan mengubah turbulensi udara pada daerah atmosfer.

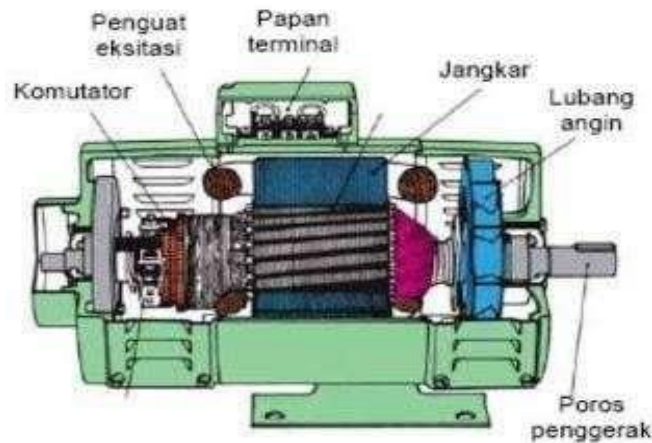
Pengaruh ekologi yang terjadi dari penggunaan pembangkit tenaga angin adalah terhadap populasi burung dan kelelawar. Burung dan kelelawar dapat terluka atau bahkan mati akibat terbang melewati sudu-sudu yang sedang berputar. Namun dampak ini masih lebih kecil jika dibandingkan dengan kematian burung-burung akibat kendaraan, saluran transmisi listrik dan aktivitas manusia lainnya yang melibatkan pembakaran bahan bakar fosil. Dalam beberapa studi yang telah dilakukan, adanya pembangkit listrik tenaga angin ini dapat mengganggu migrasi populasi burung dan kelelawar. Pembangunan pembangkit angin pada lahan yang bertanah kurang bagus juga dapat menyebabkan rusaknya lahan di daerah tersebut. Ladang angin lepas pantai memiliki masalah tersendiri yang dapat mengganggu pelaut dan kapal-kapal yang berlayar. Konstruksi tiang pembangkit listrik tenaga angin dapat mengganggu permukaan dasar laut. Hal lain yang terjadi dengan konstruksi di lepas pantai adalah terganggunya kehidupan bawah laut. Efek negatifnya dapat terjadi seperti di Irlandia, dimana terjadinya polusi yang bertanggung jawab atas berkurangnya stok ikan di daerah pemasangan turbin angin. Studi baru-baru ini menemukan bahwa ladang pembangkit listrik tenaga angin lepas pantai menambah 80 – 110 dB kepada noise frekuensi rendah yang dapat mengganggu komunikasi ikan paus dan kemungkinan distribusi predator laut. Namun begitu, ladang angin lepas pantai diharapkan dapat menjadi tempat

pertumbuhan bibit-bibit ikan yang baru. Karena memancing dan berlayar di daerah sekitar ladang angin dilarang, maka spesies ikan dapat terjaga akibat adanya pemancingan berlebih di laut.

Dalam operasinya, pembangkit listrik tenaga angin bukan tanpa kegagalan dan kecelakaan. Kegagalan operasi sudu-sudu dan juga jatuhnya es akibat perputaran telah menyebabkan beberapa kecelakaan dan kematian. Kematian juga terjadi kepada beberapa penerjun dan pesawat terbang kecil yang melewati turbin angin. Reruntuhan puing-puing berat yang dapat terjadi merupakan bahaya yang perlu diwaspadai, terutama di daerah padat penduduk dan jalan raya. Kebakaran pada turbin angin dapat terjadi dan akan sangat sulit untuk dipadamkan akibat tingginya posisi api sehingga dibiarkan begitu saja hingga terbakar habis. Hal ini dapat menyebarkan asap beracun dan juga dapat menyebabkan kebakaran berantai yang membakar habis ratusan *acre* lahan pertanian. Hal ini pernah terjadi pada Taman Nasional Australia dimana 800 km² tanah terbakar. Kebocoran minyak pelumas juga dapat terjadi dan dapat menyebabkan terjadinya polusi daerah setempat, dalam beberapa kasus dapat mengkontaminasi air minum.

Meskipun dampak-dampak lingkungan ini menjadi ancaman dalam pembangunan pembangkit listrik tenaga angin, namun jika dibandingkan dengan penggunaan energi fosil, dampaknya masih jauh lebih kecil. Selain itu penggunaan energi angin dalam kelistrikan telah turut serta dalam mengurangi emisi gas buang.

2.5 Generator Arus Searcah (DC)



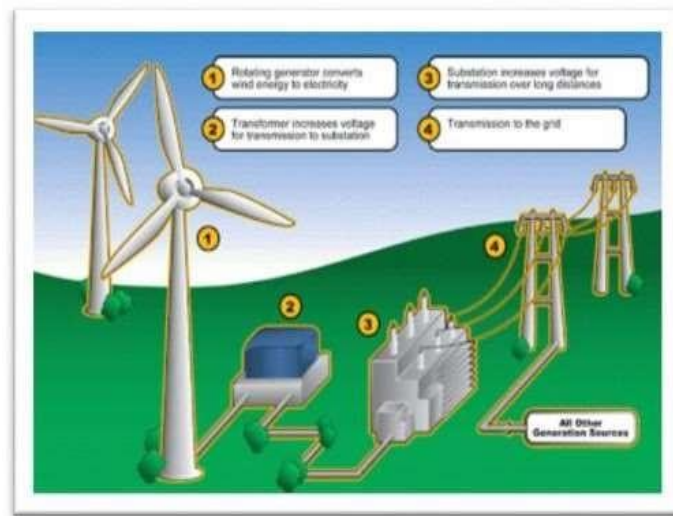
Gambar 2.10 Generator Arus Searcah (DC)

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.)

2.6 Proses Pembangkitan Energi Listrik Tenaga Bayu/Angin (PLTB)

Energi angin memutar turbin angin. Turbin angin bekerja berkebalikan dengan kipas angin (bukan menggunakan listrik untuk menghasilkan listrik, namun menggunakan angin untuk menghasilkan listrik). Kemudian angin akan memutar sudut turbin, lalu diteruskan untuk memutar rotor pada generator di bagian belakang turbin angin. Generator mengubah energi gerak menjadi energi listrik dengan teori medan elektromagnetik, yaitu poros pada generator dipasang dengan material ferromagnetik permanen. Setelah itu di sekeliling poros terdapat stator yang bentuk fisisnya adalah kumparan-kumparan kawat yang membentuk *loop*.

Ketika poros generator mulai berputar maka akan terjadi perubahan fluks pada stator yang akhirnya karena terjadi perubahan fluks ini akan dihasilkan tegangan dan arus listrik tertentu. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabel jaringan listrik untuk akhirnya digunakan oleh masyarakat. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (*alternating current*) yang memiliki bentuk gelombang sinusoidal. Energi Listrik ini biasanya akan disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan.



Gambar 2.11 Proses Pembangkitan PLTB
(<http://www.jendeladengabei.blogspot.com>)

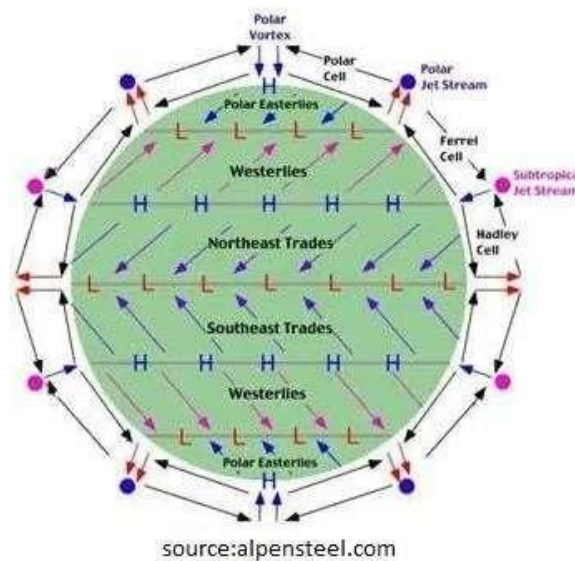
Ketika poros generator mulai berputar, maka akan terjadi perubahan fluks pada stator yang akhirnya dihasilkan tegangan dan arus listrik. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabel jaringan listrik dan didistribusikan ke rumah-rumah, kantor, sekolah, dan sebagainya.

Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (*alternating current*) yang memiliki bentuk gelombang sinusoidal. Energi listrik ini biasanya akan disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan. Turbin untuk pemakaian umum berukuran 50-750 kilowatt. Sebuah turbin kecil, kapasitas 50 kilowatt, digunakan untuk perumahan, piringan parabola, atau pemompaan air.

Menurut jenis arusnya dikenal sistem arus bolak balik (A.C atau *alternating current*) dan sistem arus searah (D.C *direct current*). Di dalam sistem A.C. penaikan dan penurunan tegangan mudah dilakukan yaitu menggunakan transformator. Itulah sebabnya saluran transmisi di dunia sebagian besar adalah saluran A.C. di dalam sistem A.C. ada sistem satu-fasa dan sistem tiga-fasa. Namun sejak beberapa tahun terakhir ini penyaluran arus searah mulai dikembangkan di beberapa bagian dunia ini.

2.7 Jenis Jenis Angin

Angin timbul akibat sirkulasi di atmosfer yang dipengaruhi oleh aktivitas matahari dalam menyinari bumi yang berotasi. Dengan demikian, daerah khatulistiwa akan menerima energi radiasi matahari lebih banyak daripada di daerah kutub, atau dengan kata lain, udara di daerah khatulistiwa akan lebih tinggi dibandingkan dengan udara di daerah kutub. Perbedaan berat jenis dan tekanan udara inilah yang akan menimbulkan adanya pergerakan udara. Pergerakan udara inilah yang didefinisikan sebagai angin. Gambar 4 merupakan pola sirkulasi pergerakan udara akibat aktivitas matahari dalam menyinari bumi yang berotasi.



Gambar 2. 12 Pola Sirkulasi Udara Akibat Rotasi Bumi

a. Angin Laut dan Angin Darat

Angin laut adalah angin yang timbul akibat adanya perbedaan suhu antara daratan dan lautan. Seperti yang kita ketahui bahwa sifat air dalam melepaskan panas dari radiasi sinar matahari lebih lambat daripada daratan, sehingga suhu di laut pada malam hari akan lebih tinggi dibandingkan dengan suhu di daratan. Semakin tinggi suhu, tekanan udara akan semakin rendah. Akibat adanya perbedaan suhu ini akan menyebabkan terjadinya perbedaan tekanan udara di atas daratan dan lautan. Hal inilah yang menyebabkan angin akan bertiup dari arah darat ke arah laut. Sebaliknya, pada siang hari dari pukul 09.00 sampai dengan pukul 16.00 angin akan berhembus dari laut ke darat akibat sifat air yang lebih lambat menyerap panas matahari

b. Angin Lembah

Angin lembah adalah angin yang bertiup dari arah lembah ke arah puncak gunung yang biasa terjadi pada siang hari. Prinsip terjadinya hampir sama dengan terjadinya angin darat dan angin laut yaitu akibat adanya perbedaan suhu antara lembah dan puncak gunung

c. Angin Musim

Angin musim dibedakan menjadi 2, yaitu angin musim barat dan angin musim timur. Angin Musim Barat/Angin Muson Barat adalah angin yang mengalir dari Benua Asia (musim dingin) ke Benua Australia (musim panas). Apabila angin melewati tempat yang luas, seperti perairan dan samudra, maka angin ini akan mengandung curah hujan yang tinggi. Angin Musim Barat menyebabkan Indonesia mengalami musim hujan. Angin ini terjadi pada bulan Desember, Januari dan Februari, dan maksimal pada bulan Januari dengan kecepatan minimum 3 m/s. Angin Musim Timur/Angin Muson Timur adalah angin yang mengalir dari Benua Australia (musim dingin) ke Benua Asia (musim panas). Angin ini menyebabkan Indonesia mengalami musim kemarau, karena angin melewati celah-celah sempit dan berbagai gurun (Gibson, Australia Besar dan Victoria). Musim kemarau di Indonesia terjadi pada bulan Juni, Juli dan Agustus, dan maksimal pada bulan Juli

d. Angin Permukaan

Kecepatan dan arah angin ini dipengaruhi oleh perbedaan yang diakibatkan oleh material permukaan Bumi dan ketinggiannya. Secara umum, suatu tempat dengan perbedaan tekanan udara yang tinggi akan memiliki potensi angin yang kuat. Ketinggian mengakibatkan pusat tekanan menjadi lebih intensif. Selain perbedaan tekanan udara, material permukaan bumi juga mempengaruhi kuat lemahnya kekuatan angin karena adanya gaya gesek antara angin dan material permukaan bumi ini. Disamping itu, material permukaan bumi juga mempengaruhi kemampuannya dalam menyerap dan melepaskan panas yang diterima dari sinar matahari. Sebagai contoh, belahan Bumi utara didominasi oleh daratan, sedangkan selatan sebaliknya lebih didominasi oleh lautan. Hal ini saja sudah mengakibatkan angin di belahan Bumi utara dan selatan menjadi tidak seragam. Gambar 5 menunjukkan tekanan udara dan arah angin bulanan pada permukaan Bumi dari tahun 1959-1997. Perbedaan tekanan terlihat dari perbedaan warna. Biru menyatakan tekanan rendah, sedangkan kuning hingga oranye menyatakan sebaliknya. Arah dan besar angin ditunjukkan dengan arah panah dan panjangnya

e. Angin Topan

Angin topan adalah pusaran angin kencang dengan kecepatan angin 120 km/jam atau lebih yang sering terjadi di wilayah tropis di antara garis balik utara dan selatan. Angin topan disebabkan oleh perbedaan tekanan dalam suatu sistem cuaca. Di Indonesia dan daerah lainnya yang sangat berdekatan dengan khatulistiwa, jarang sekali dilewati oleh angin ini. Angin paling kencang yang terjadi di daerah tropis ini umumnya berpusar dengan radius ratusan kilometer di sekitar daerah sistem tekanan rendah yang ekstrem dengan kecepatan sekitar 20 Km/jam.

2.8 Turbin Angin Vertikal

Turbin angin salah satu bagian terpenting pembangkit listrik tenaga angin. Turbin angin adalah komponen mekanik yang mengkonversikan kecepatan angin menjadi daya poros. Turbin angin mempunyai sudu dengan bentuk irisan melintang khusus di mana aliran udara pada salah satu sisinya dapat bergerak lebih cepat dari aliran udara di sisi yang lain ketika angin melewatinya. Fenomena ini menimbulkan

daerah tekanan rendah pada belakang sudu dan daerah tekanan tinggi di depan sudu. Perbedaan tekanan ini membentuk gaya yang menyebabkan sudu berputar.

Turbin angin sumbu vertikal (TASV) memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. TASV mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah.

Dengan sumbu yang vertikal, generator serta roda gigi bisa ditempatkan di dekat tanah. Sehingga, menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Disisi lain, sejumlah desain TASV menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. *Drag* (gaya yang menahan pergerakan sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) dapat ditimbulkan saat kincir berputar.

Kecepatan angin lebih pelan pada ketinggian yang rendah sehingga menghasilkan energi angin yang rendah. Aliran udara di dekat tanah dan obyek yang lain mampu menciptakan aliran yang bergolak, yang bisa menyebabkan berbagai permasalahan yang berkaitan dengan getaran, diantaranya kebisingan dan *bearing wear* yang akan meningkatkan biaya pemeliharaan atau mempersingkat umur turbin angin. Jika tinggi puncak atap yang dipasang menara turbin kira-kira 50 persen dari tinggi bangunan dan merupakan titik optimal bagi energi angin maksimal dan turbulensi angin minimal. Adapun kelebihan dan kekurangan dari TASV, yaitu:

A. Kelebihan TASV

1. Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
2. Karena bilah-bilah rotornya vertikal sehingga tidak dibutuhkan mekanisme *yaw*.
3. TASV memiliki sudut *airfoil* (bentuk bilah sebuah baling-baling yang terlihat secara melintang) yang lebih tinggi memberikan keaerodinamisan yang tinggi dan mengurangi *drag* pada tekanan yang rendah dan tinggi.
4. Desain TASV berbilah lurus dengan potongan melintang berbentuk kotak

atau empat persegi panjang memiliki wilayah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu daripada wilayah tiupan berbentuk lingkarannya TASH.

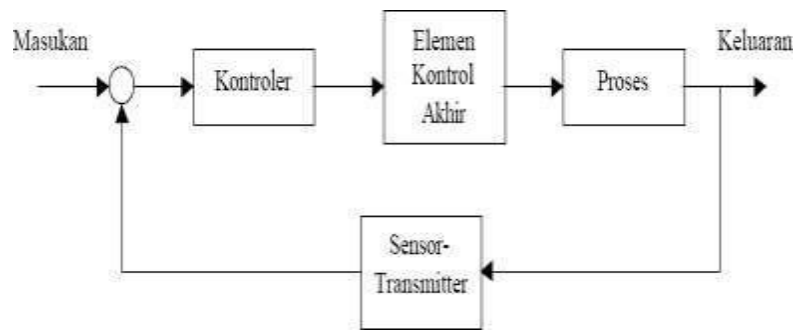
5. ASV memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada TASH. Biasanya TASV mulai menghasilkan listrik pada 10km/jam (6 m.p.h.)
6. TASV biasanya memiliki *tip speed ratio* (perbandingan antara kecepatan putaran dari ujung sebuah bilah dengan laju sebenarnya angin) yang lebih rendah sehingga lebih kecil kemungkinannya rusak di saat angin berhembus sangat kencang.
7. TASV yang ditempatkan di dekat tanah bisa mengambil keuntungan dari berbagai lokasi yang menyalurkan angin serta meningkatkan laju angin (seperti gunung atau bukit yang puncaknya datar dan puncak bukit)
8. TASV tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah.

B. Kekurangan TASV

1. Kebanyakan TASV memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi TASH karena drag tambahan yang dimilikinya saat kincir berputar.
2. TASV tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang dielevasi yang lebih tinggi.
3. Kebanyakan TASV mempunyai torsi awal yang rendah, dan membutuhkan energi untuk mulai berputar.

2.9 Sistem Kontrol

Secara Umum sistem kontrol adalah proses pengaturan/pengendalian satu atau beberapa besaran sehingga berada pada suatu harga atau rangkuman harga tertentu. Fungsi dasar sistem kontrol adalah mencakup "...pengukuran (*measurement*), membandingkan (*comparisan*), pencatatan dan perhitungan (*computation*), dan perbaikan (*correction*)". Komponen-komponen dasar sistem kendali terdiri dari input, kontroler, elemen kontrol akhir, proses, sensor/transmitter, dan output



Gambar 2.13 Komponen sistem kendali

Masukan/input sebagai stimulan yang diterapkan ke suatu sistem pengendalian dari sumber energi dan menghasilkan respon tertentu dari sistem yang dikendalikan. Kontroler berfungsi untuk mengendalikan input agar tidak mempengaruhi sistem. Proses merupakan suatu bagian operasi atau perkembangan alamiah yang berlangsung secara kontinu; yang ditandai oleh suatu perubahan kecil yang berurutan secara relatif tetap sehingga mendapatkan suatu respon yang diinginkan. Sensor adalah alat yang digunakan untuk mendeteksi mengukur, atau mencatat fenomena fisik seperti panas, radiasi, dan dapat diketahui dengan mentransmisikan informasi yang didapat, perubahan initial, atau operasi kontrol. Keluaran/output merupakan respon sebenarnya yang diperoleh dari sebuah sistem pengendalian.

Ditinjau dari sistem operasinya sistem kontrol dibagi menjadi sistem kontrol lup tertutup (*Closed-loop control system*) dan sistem kontrol lup terbuka (*Open-loop control system*).

BAB III METODELOGI PENELITIAN

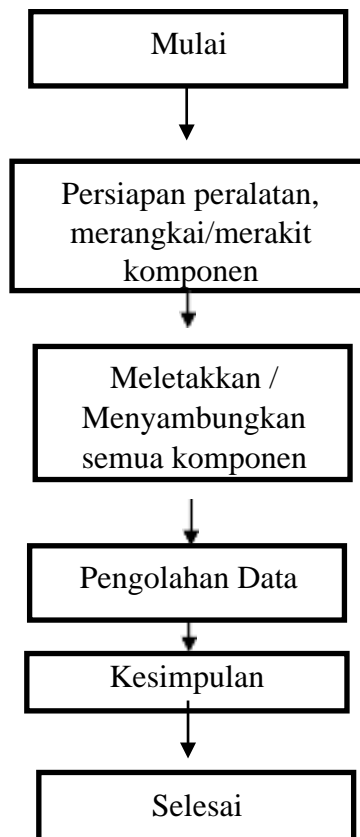
3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini membahas tentang pemanfaatan energi angin sebagai pemanfaatan pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) untuk supply energy beban penerangan pada perahu nelayan, selain itu pada penelitian ini akan dilakukan pengujian serta prinsip kerja pada sistem yang akan dirancang.

3.2 Waktu dan Tempat

Pada kali ini saya ingin merancang sebuah alat dengan judul pemanfaatan pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) untuk supply energy beban penerangan pada perahu nelayan yang akan dilakukan minggu, 12 Mei 2022

3.3 Diagram Alir



Gambar 3.1 Bagan Penelitian

3.4 Peralatan Pengujian

Alat Dan Bahan

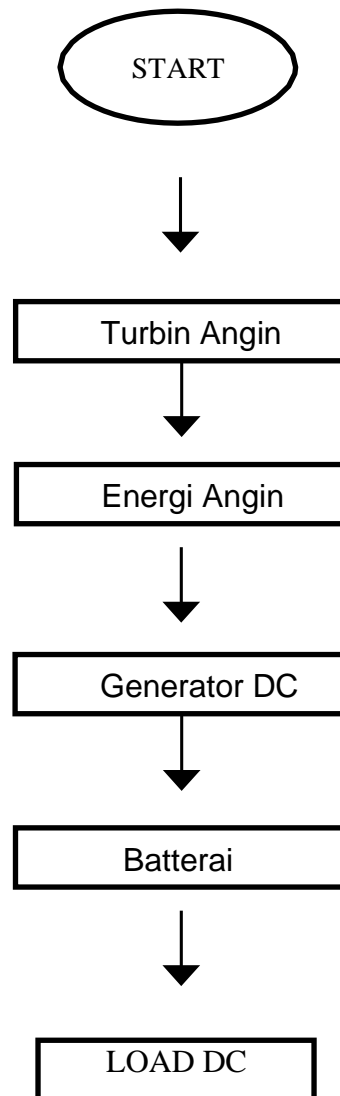
- | | |
|---------------------------|--------------------|
| 1. Gearbox | 6. Kabel |
| 2. Generator | 7. Baling – Baling |
| 3. Penyimpan Energi / Aki | 9. Tiang Dudukan |
| 4. Pipa PVC | 10. Anemometer |
| 5. Turbin | |
| 6. Multimeter Digital | |

3.5 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Tahap pertama adalah persiapan perancangan alat pembangkit listrik tenaga turbin
- 2) Selanjutnya perancangan alat PLTB dengan perangkat – perangkat yang telah disediakan.
- 3) Setelah alat selesai dibuat, maka tahap selanjutnya adalah pengujian alat PLTB yang telah dibuat
- 4) Pengujian dilakukan yaitu pengujian alami dan buatan, dimana pengujian alami yaitu menggunakan energi angin asli dari alam sedangkan buatan adalah menguji turbin dengan energi angin buatan yang dihasilkan dari kipas angin
- 5) Dimana dari masing – masing pengujian akan menghasilkan daya keluaran PLTB yang kemudian akan dihubungkan dengan kebutuhan beban yang ada

3.6 Flowchart Kerja Alat



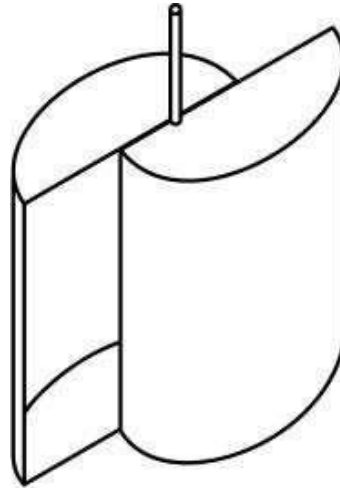
Gambar 3.2 Flowchart Alat

BAB 4 PERENCANAAN DAN ANALISIS

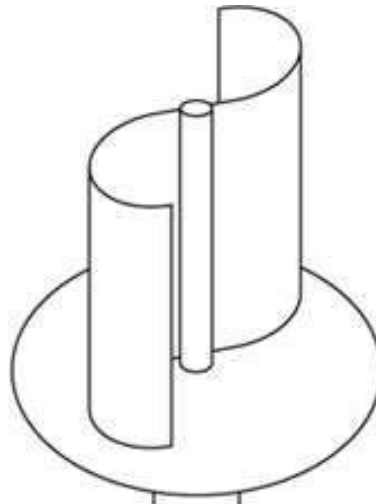
4.1 Design Turbin Angin

Untuk memudahkan proses pembuatan turbin angin, terlebih dahulu turbin angin di design menggunakan software. Adapun hasil design turbin angin adalah sebagai berikut :

1. Design pada sudu – sudu turbin

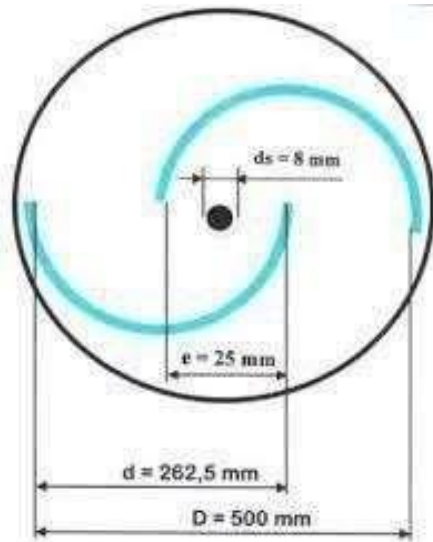


Gambar 4.1. Design Sudu 1



Gambar 4.2. Design Sudu yang sudah terpasang

2. Design Dudukan Sudu Turbin



Gambar 4.3. Design Dudukan Sudu

3. Design Sudu dan Dudukan Setelah Terpasang



Gambar 4.4. Sudu dan Dudukan Setelah Terpasang

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

4. Design Turbin Secara Keseluruhan



Gambar 4.5 Turbin Secara Keseluruhan

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

4.2 Pembuatan PLTB

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 4.6 Batas Bawah Turbin



Gambar 4.7 Batas Atas Turbin

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



Gambar 4.8 Aluminium Dudukan Turbin

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



Gambar 4.9 Sudu – Sudu Turbin

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



Gambar 4.10 Memasang Sudu – Sudu Turbin

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



Gambar 4.11 Perekatan



Gambar 4.12 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 4.13 Besi Penghubung

7. Kemudian rekatkan besi penghubung turbin dan generator menggunakan sebilah besi.
8. Setelah turbin terhubung dengan sebatang besi yang berfungsi untuk perekat pada generator, maka langkah selanjutnya adalah membuat

dudukkan turbin, dimana dudukan turbin terbuat dari alumunium agar tidak teralu berat.



Gambar 4.14 Dudukan Turbin

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



Gambar 4.15 Turbin Keseluruhan

10. Setelah turbin selesai dibuat, maka selanjutnya adalah menghubungkan turbin pada generator yang kemudian hasil putar

generator akan masuk pada Charger Controller dan disimpan pada baterai yang ada.

4.3 Hasil Pengujian Turbin Angin

4.3.1 Menentukan Kecepatan Angin Nominal

Turbin angin yang akan dibuat dirancang untuk dapat memenuhi kebutuhan penerangan untuk nelayan dan membantu suplai daya dari PLTS yang ada, sehingga pengambilan data dilakukan tidak jauh dari pantai.



Gambar 4.16 Penerapan Alat



Gambar 4.17 Penerapan Alat 2

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 10 Mei 2023

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

Tabel 4.2 Data Kecepatan Angin Pada Tanggal 11 Mei 2023

Waktu (Jam)	Kecepatan Angin (m/s)
06.00	1,6
07.00	1,9
08.00	2,1
09.00	2,3
10.00	3,5
11.00	3,7
12.00	4,9
13.00	4,0
14.00	4,4
15.00	4,6
16.00	5,4
17.00	3,7
18.00	2,4
19.00	2,7
20.00	1,71

Tabel 4.3 Data Kecepatan Angin Pada Tanggal 12 Mei 2023

Waktu (Jam)	Kecepatan Angin (m/s)
06.00	1,2
07.00	1,7
08.00	2,0
09.00	2,4
10.00	2,5
11.00	3,1
12.00	4,5
13.00	4,0
14.00	3,3
15.00	3,8
16.00	4,4
17.00	3,2
18.00	4,4
19.00	3,7
20.00	1,25

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 daripukul 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.

4.3.1.1 Pengujian Alami

Pengujian dilakukan selama 1 hari, dimana 1hari 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 4.4 Data PLTB Alami

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
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 :

$$P = V \times I \times \text{Cos phi}$$

Dimana :

P = Daya Keluaran

I = Arus Keluaran

V =

Tegangan

KeluaranCosphi

= Faktor daya

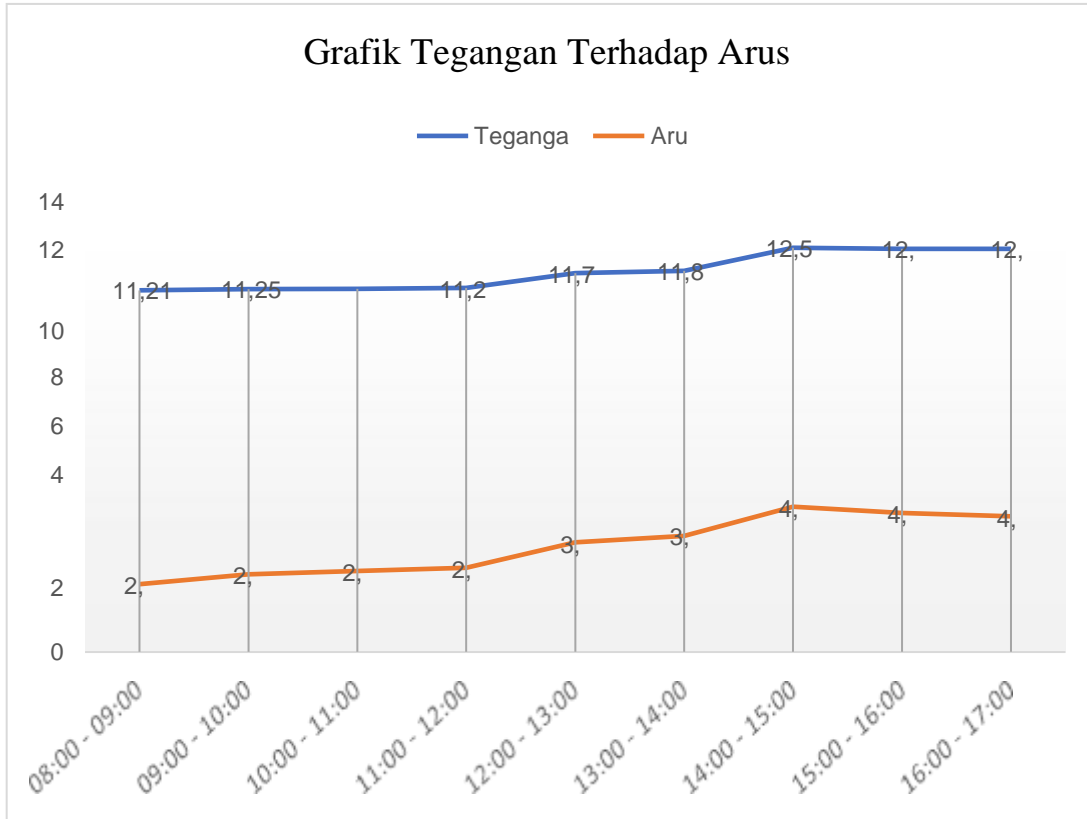
DC = 1

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

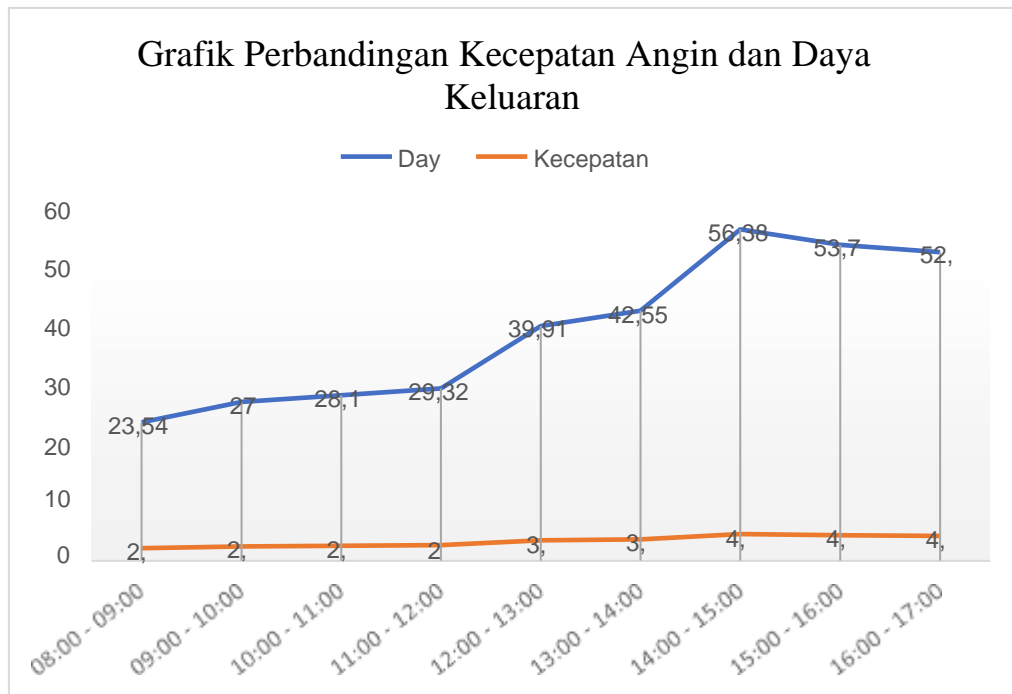
Tabel 4.5 Daya Keluaran

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
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 :



Gambar 4.18 Grafik Tegangan Terhadap Arus



Gambar 4.19 Grafik 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 arustegangan dan daya keluaran yang dihasilkan oleh PLTB yang telah dibuat. Adapun hasil dari pemngambilan data adalah :

Tabel 4.6 Nilai Rata – Rata

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

4.3.1.2 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 4.7 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 sebagaiberikut :

Tabel 4.8 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 :



Gambar 4.20 Grafik Daya dan Kecepatan Angin Buatan

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

BAB 5

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 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

- Alifyanti, D. F. (n.d.). *Dian Furqani Alifyanti*. 1(1), 79–95.
- 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.
- 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.

- 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.
Wangi-wangi, D. I. P., Widyanto, S. W., Wisnugroho, S., & Agus, M. (2018). *SURYA PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HIBRID*. 1–12.
- F. Teknik, U. Islam, and K. Maab, “MEMBUAT SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK GABUNGAN ANGIN DAN SURYA KAPASITAS 385 WATT Mujiburrahman,” vol. 02, no. 01, pp. 41–48, 2016.
- D. Istaridi and A. Wirabowo, “Rancang Bangun Square Wave Full-Bridge Inverter,”
J. Manutech, vol. 9, no. 1, pp. 18–23, 2017.
- H. Hilmansyah, R. J. Yuniar, and R. Ramli, “Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Kendali Pi,” *JST (Jurnal Sains Ter.)*, vol. 3, no. 1, pp. 1–5, 2017, doi: 10.32487/jst.v3i1.226.
- L. Hakim, H. Suyono, and H. S. Dachlan, “Analisis Injeksi Pembangkit Hybrid Tenaga Surya-Angin pada Sistem GI Sengkaling Penyulang Pujon,” *J. EECCIS*, vol. 11, no. 1, pp. 14–19, 2018.
- E. Timotius, A. Duka, N. Setiawan, and A. I. Weking, “Eric Timotius Abit Duka, INyoman Setiawan,” *Antonius Ibi Weking*, vol. 5, no. 2, p. 67, 2018.
- E. Y. Muabuay, C. Author, S. Pengajar, and P. Studi, “Pengembangan pembangkit listrik alternatif melalui pemanfaatan kincir angin savonius untuk pengisian bateray bagi nelayan kota jayapura 1).”
- D. Hidayanti and G. Dewangga, “Rancang Bangun Pembangkit Hybrid Tenaga Angin dan Surya dengan Penggerak Otomatis pada Panel Surya,” *Eksergi*, vol. 15, no. 3, p. 93, 2020, doi: 10.32497/eksergi.v15i3.1784.
- P. Gunoto and S. Sofyan, “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya 100 Wp Untuk Penerangan Lampu di Ruang Selasar Fakultas Teknik Universitas Riau Kepulauan,” *Sigma Tek.*, vol. 3, no. 2, pp.

96–106, 2020,

- D. W. Ramadhan, “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Portable Tenaga Surya dan Angin Dengan Sistem Hybrid Untuk Tempat Pengungsian Bencana Alam,” *ALINIER J. Artif. Intell. Appl.*, vol. 1, no. 2, pp. 85–93, 2021, doi: 10.36040/alinier.v1i2.2972.
- M. F.- Faisal, M. I. Arsyad, J. Marpaung, and R. Ratiandi, “Pengembangan Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Angin Untuk Nelayan Guna Meningkatkan Kapasitas Ikan Tangkapan,” *J. Pengabdi*, vol. 4, no. 1, p. 62, 2021, doi: 10.