

SKRIPSI

**STUDI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB)
DI KABUPATEN JENEPONTO**



NUR ALAM

105 82 1236 13

SUPRIADI

105 82 1258 13

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
2018**

**STUDI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB)
DI KABUPATEN JENEPONTO**

Skripsi

Diajukan sebagai salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Elektro
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik

Disusun dan diajukan oleh

NUR ALAM

105 82 1236 13

SUPRIADI

105 82 1258 13

**PADA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
MAKASSAR
2019**



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: unismuh@gmail.com

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>



HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **STUDI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB) KABUPATEN JENEPONTO**

Nama : 1. Nur Alam
 2. Supriadi

Stambuk : 1. 10582 1236 13
 2. 10582 1258 13

Makassar, 12 Februari 2019

Telah Diperiksa dan Disetujui
 Oleh Dosen Pembimbing;

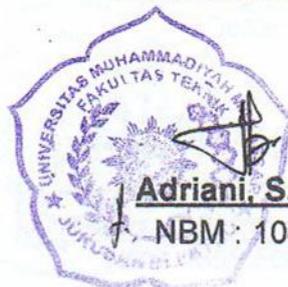
Pembimbing I

Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng

Pembimbing II

Suryani, S.T.,M.T

Mengetahui,
 Ketua Jurusan Elektro



Adriani, S.T., M.T.

NBM : 1044 202



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Nur Alam** dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1236 13 dan **Supriadi** dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1258 13, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0001/SK-Y/20201/091004/2019, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu tanggal 09 Februari 2019.

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. Ir. H. Muh. Arsyad Thaha, M.T

2. Penguji

a. Ketua : Andi Faharuddin, S.T.,M.T

b. Sekertaris : Adriani, S.T.,M.T

3. Anggota : 1. Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

2. Antarisubhi, S.T.,M.T

3. Ir. Abdul Hafid, M.T

Mengetahui :

Pembimbing I

Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng

Pembimbing II

Suryani, S.T.,M.T

Dekan



Dr. Ir. Hamzah Al Imran, S.T., M.T.

NBM : 855 500

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena Rahmat dan HidayahNya sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademik yang harus ditempuh dalam rangka penyelesaian program studi pada Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir adalah: **“STUDI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB) DI KABUPATEN JENEPONTO TOLO 1”**.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan-kekurangan, hal ini disebabkan penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan baik itu ditinjau dari segi teknis penulis maupun dari perhitungan-perhitungan. Oleh karena itu penulis menerima dengan ikhlas dan senang hati segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat.

Skripsi ini dapat terwujud berkat adanya bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segalan ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Hamzah Al Imran, ST, MT. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Ibu Adriani, S.T., M.T sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

3. Bapak. Dr.ENG Ir. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng, Selaku Pembimbing I dan Ibu Suryani, S.T., M.T selaku Pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktunya dalam membimbing kami.
4. Bapak dan ibu dosen serta setiap pegawai pada fakultas teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajarmengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
5. Ayahanda dan Ibunda yang tercinta, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, doa dan pengorbanan terutama dalam bentuk materi dalam menyelesaikan kuliah.
6. Saudara-saudaraku sertarekan-rekan mahasiswa fakultas teknik terkhusus angkatan 2013 yang dengan keakraban dan persaudaraan banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan skripsi yang sederhana ini dapat bermamfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan Negara. Amin.

Makassar, Januari 2019

Penulis

Nur Alam ¹, Supriadi²

¹Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Unismuh Makassar

Email : alamsniper5@gmail.com

² Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Unismuh Makassar

Email : adyvirus66@yahoo.com

ABSTRAK

Jenis penelitian ini adalah penelitian deskriptif kuantitatif. Dimana penelitian ini bertempat di pembangunan Pembangkit Energi Listrik Tenaga Bayu/Angin (PLTB Tolo-1) Di Kecamatan Turatea Kabupaten Jeneponto. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan angin dan energi listrik yang dapat di hasilkan. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret-April 2018. Penelitian ini menjelaskan kondisi angin di Kecamatan Turatea Kabupaten Jeneponto. serta energi listrik yang di hasilkan sebesar 72 MW dengan menggunakan 20 *Wind Turbin Generator* model SWT-3.6-130. Pengolahan data yang diperoleh dilakukan dengan menghitung kecepatan angin di daerah Kecamatan Turatea Kabupaten Jeneponto.

Kata Kunci : Studi, Potensi, Energi, PLTB, Kecepatan Angin

DAFTAR ISI

HALAMAN Sampul.....	
ABSTRAK.....	
KATA PENGANTAR.....	
DAFTAR ISI.....	
DAFTAR GAMBAR.....	
DAFTAR TABEL.....	
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan Penelitian.....	3
D. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
B. Kerangka Pikir.....	37
BAB III METODE PENELITIAN	
A. Jenis Penelitian	38
B. Waktu dan Tempat Penelitian	38
C. Teknik Pengumpulan Data	38
D. Teknik Analisa Data	39
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil Penelitian.....	40

B. Pembahasan.....	57
BAB V PENUTUP	
A. Kesimpulan.....	59
B. Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sirkulasi atmosfer secara umum, dan pada belahan utara.....	7
Gambar 2.2	Angin laut (siang) dan angin darat (malam).....	8
Gambar 2.3	Aliran angin melalui silinder.....	8
Gambar 2.4	Wind shear perbedaan kecepatan angin.....	9
Gambar 2.5	Wind shear perubahan kecepatan angin.....	10
Gambar 2.6	Gaya aerodinamis rotor turbin angin ketika di lalui udara.....	13
Gambar 2.7	Komponen utama turbin angin sumbu horizontal.....	13
Gambar 2.8	Jenis turbin angin berdasarkan jumlah sudu.....	13
Gambar 2.9	Turbin angin jenis <i>upwind</i> dan <i>downwind</i>	14
Gambar 2.10	Turbin angin <i>darrieus</i>	16
Gambar 2.11	Turbin angin <i>darrieus</i> tipe-H.....	17
Gambar 2.12	4 prinsip rotor <i>savonius</i>	18
Gambar 2.13	Sudu pengarah dengan rotor turbin angin <i>savonius</i>	19
Gambar 2.14	Pemodelan Betz' untuk aliran angin.....	19
Gambar 2.15	Koefisien daya C_p sebagai fungsi faktor α	20
Gambar 2.16	Varisai tip speed, koefisien daya pada jenis turbin	23
Gambar 2.17	Sistem kelistrikan lepas jaringan	23
Gambar 2.18	Sistem kelistrikan terhubung dengan baterai	24
Gambar 2.19	Sistem kelistrikan terhubung tanpa baterai	25
Gambar 2.20	Sistem kelistrikan langsung tanpa baterai	25

Gambar 2.21	Komponen-komponen turbin angin.....	25
Gambar 2.22	Proses pembangkitan tenaga listrik.....	31
Gambar 2.23	Proses pembangkitan PLTB.....	32
Gambar 2.24	Kerangka berfikir.....	37
Gambar 4.1	Peta Wilayah Kecamatan Turatea Kabupaten Jeneponto.....	41
Gambar 4.2	Peta Wilayah Kabupaten Jeneponto.....	42
Gambar 4.3	Diagram kecepatan angin ketinggian 50 m.....	45
Gambar 4.4	Diagram kecepatan angin ketinggian 75 m.....	47
Gambar 4.5	Diagram kecepatan angin ketinggian 100 m.....	50
Gambar 4.6	Diagram kecepatan angin ketinggian 150 m.....	52
Gambar 4.7	Warna tingkatan kecepatan angin.....	56
Gambar 4.8	Peta dan kondisi angin kecamatan turatea kabupaten jeneponto...	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Daftar kekuatan angin	6
Tabel 2.2. Perkiraan daya angin persatuan luas.....	8
Tabel 4.1 Ketinggian 50 meter <i>mean wind speed</i>	43
Tabel 4.2 Ketinggian 75 meter <i>mean wind speed</i>	46
Tabel 4.3 Ketinggian 100 meter <i>mean wind speed</i>	48
Tabel 4.4 Ketinggian 150 meter <i>mean wind speed</i>	51

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Listrik merupakan salah satu komponen terpenting dalam perkembangan teknologi saat ini. Ketergantungan terhadap ketersediaan daya listrik semakin hari semakin meningkat. Perkembangan jumlah penduduk disuatu daerah berbanding lurus dengan kebutuhan energi listrik di daerah tersebut. Namun hal itu berbanding terbalik dengan penyediaan energi listrik, semakin hari cadangan sumber energi tidak terbarukan yang selama ini menjadi bahan bakar utama pembangkit di Indonesia semakin menipis, sehingga penyediaan energi listrik juga ikut tersendak. Oleh karena itu, perlu dipikirkan suatu energi alternative terbarukan untuk mengatasi krisis tersebut.

Keberlangsungan berbagai macam bentuk aktivitas di masyarakat dan sektor industri nasional sangat tergantung pada tersedianya energi listrik. Beberapa tahun terakhir ini energi merupakan persoalan yang krusial di dunia. Peningkatan permintaan energi yang disebabkan oleh pertumbuhan populasi penduduk dan menipisnya sumber cadangan minyak dunia serta permasalahan emisi dari bahan bakar fosil memberikan tekanan kepada setiap Negara untuk segera memproduksi dan menggunakan *energi alternative*.

Energi dari suatu benda adalah ukuran dari kesanggupan benda tersebut untuk melakukan suatu usaha. Satuan energi adalah joule. Energi terbagi dalam berbagai jenis, contohnya energi panas, energi air, energi batu bara, energi minyak

bumi, energi listrik, energi matahari, energi angin, energi nuklir, dan energi gas bumi.

Energi yang disebutkan diatas termasuk energi yang tidak dapat diperbaharui. Artinya, energi tersebut sumbernya terbatas dan sulit diperbanyak. Penggunaan energi secara tidak terbatas akan mempercepat habisnya sumber energi sehingga saat ini pemerintah gencar melakukan kampanye hemat energi. Kebutuhan manusia yang tidak terbatas selalu dibatasi dengan ketersediaan sumber daya untuk memenuhinya. Salah satu masalah keterbatasan manusia pada saman modern ini adalah bahan bakar, khususnya bahan bakar minyak (BBM). Hal ini karena BBM merupakan sumber daya alam yang tidak bisa diperbaharui. Kondisi tersebut dialami oleh hampir seluruh negara di dunia, termasuk di Indonesia.

Energi yang paling banyak digunakan untuk aktivitas manusia adalah energi minyak bumi dan energi listrik. Energi minyak bumi yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah minyak tanah, bensin, dan solar. Pada saat ini perubahan harga energi minyak bumi sangat berpengaruh besar terhadap perekonomian Indonesia. Kenaikan harga minyak bumi menjadi masalah bagi pemerintah karena akan menambah biaya subsidi pemerintah. Polemik yang mendera bangsa Indonesia dibidang energi terasa semakin pelik. Berbagai kebijakan energi yang diterapkan pemerintah tidak mampu meyakinkan rakyat. Sementara itu, tuntutan pemenuhan kebutuhan energi semakin mendesak.

Untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak, pemerintah Indonesia telah menerbitkan peraturan Presiden Republik Indonesia

Nomor 5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional untuk mengembangkan sumber energi alternative sebagai pengganti bahan bakar minyak. Kebijakan tersebut menekankan pada sumber daya yang dapat diperbaharui sebagai alternative pengganti bahan bakar minyak.

Pada prinsipnya PLTB mengkonversi tenaga gerak angin menjadi tenaga putar oleh turbin, kemudian tenaga putar digunakan untuk menggerakkan sebuah generator listrik atau dinamo. Oleh karena itu fungsi terpenting sebuah PLTB terletak pada turbin dan dinamonya. Dalam perancangan PLTB pemilihan jenis turbin dan dinamo harus dilakukan dengan cermat disesuaikan dengan kondisi tempat didirikannya PLTB agar diperoleh hasil yang maksimal dalam hal efisiensinya.

B. BATASAN MASALAH

Masalah penelitian ini dibatasi hanya pada aspek potensi pembangkit listrik tenaga bayu (angin), sedangkan distribusi hingga sampai ke konsumen tidak dibahas secara detail dalam penelitian ini.

C. RUMUSAN MASALAH

Permasalahan yang dapat dirumuskan adalah bagaimana potensi pembangkit listrik tenaga bayu (angin) di Kecamatan Turatea, Kabupaten Jeneponto, Sulawesi Selatan ?

D. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi pembangkit listrik tenaga bayu (angin) di kecamatan Turatea, kabupaten Jeneponto, Sulawesi Selatan.

E. MANFAAT PENELITIAN

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Masyarakat

Sebagai bahan bacaan serta dapat menambah pengetahuan tentang potensi pembangkit listrik tenaga bayu (angin)

2. Bagi Perguruan Tinggi

Sebagai informasi tambahan bagi perguruan tinggi yakni Universitas Negeri Makassar khususnya Fakultas Teknik serta Jurusan Pendidikan Teknik Elektro terkait pembangkit listrik tenaga bayu (angin).

3. Bagi Peneliti Selanjutnya

Sebagai bahan referensi bagi peneliti selanjutnya yang ingin mengembangkan dan mengkaji terkait potensi pembangkit listrik tenaga bayu (angin).

4. Bagi Peneliti

Sebagai bahan pelajaran dan untuk menambah khasanah keilmuan dalam hal potensi pembangkit listrik tenaga bayu (angin).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. TINJAUAN PUSTAKA

1. Angin

Masa udara yang bergerak disebut angin. Menurut Yousef (1984), angin dituturkan oleh pola tekanan yang luas dalam atmosfer yang berhubungan dengan sumber panas atau daerah panas dan dingin pada atmosfer.

Angin dapat bergerak secara horizontal maupun vertical dengan kecepatan yang bervariasi dan berfluktuasi secara dinamis. Penyebab Bergeraknya massa udara adalah perbedaan tekanan udara antara suatu tempat dan tempat lain. Angin selalu bertiup dari tempat yang bertekanan udara tinggi ke tempat bertekanan udara rendah. Jika tidak ada gaya lain yang mempengaruhi, maka angin akan bergerak secara langsung dari udara bertekanan tinggi ke udara bertekanan rendah. Akan tetapi, perputaran bumi pada sumbunya akan menimbulkan gaya yang mempengaruhi arah pergerakan angin. Pengaruh perputaran bumi terhadap arah angin disebut pengaruh *coriolis* (*coriolis effect*).

Pengaruh ini menyebabkan angin bergerak searah jarum jam mengitari daerah bertekanan rendah di belahan bumi dan sebaliknya bergerak ke arah berlawanan dengan jarum jam mengitari daerah yang bertekanan rendah di belahan bumi utara.

a. Proses terjadinya angin

Karena angin merupakan benda gas, mudah sekali menyeimbangkan

tekanan. Penyeimbangan ini terjadi dengan perpindahan molekul-molekul udara. Gerakan akan berlanjut sampai tekanan menjadi seimbang. Kesimbangan tercapai pada titik kekal, hal ini terjadi karena pengaruh fisik berubah terus, misalnya saja suhu udara, ada siang ada malam ada belahan bumi utara dan Selatan dan kemiringan bumi terhadap bidang orbitnya.

Jadi angin terjadi karena udara pada daerah tertentu tinggi sedang pada daerah lainnya rendah. Perbedaan ini menyebabkan udara bergerak dari udara bertekanan tinggi menuju bertekanan rendah.

b. Kekuatan angin

Kekuatan angin ditentukan oleh kecepatannya, makin cepat angin bertiup makin tinggi/besar kekuatannya. Pada tahun 1804 Beaufort seorang Laksamana Inggris telah membuat daftar kekuatan dan kecepatan angin yang digunakannya untuk pelayaran. Untuk lebih jelasnya, perhatikan table berikut.

Tabel 2.1
Daftar kekuatan angin

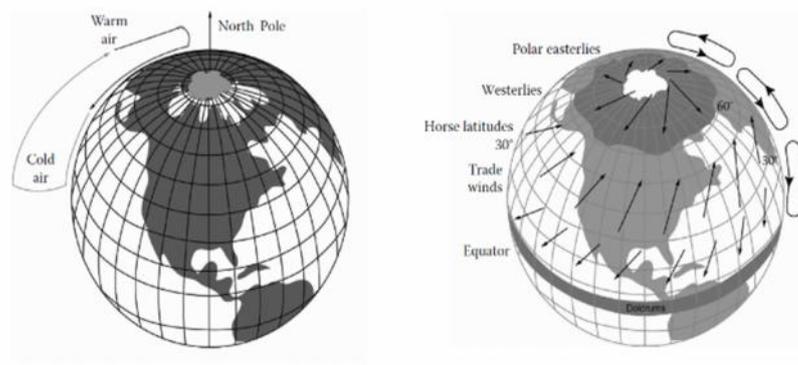
Kekuatan angin Skala beaufort	Kecepatan angin		Nama	Keterangan
	m/dt	Km/jam		
0	0,0 - 0,5	0 - 1	Angin reda	Tiang asap tegak
1	0,6 - 1,7	2 - 6	Angin sepoi-sepoi	Tiang asap miring
2	1,8 - 3,3	7 - 12	Angin lemah	Daun-daun bergerak
3	3,4 - 5,2	13 - 18	Angin sedang	Ranting-ranting bergerak
4	5,3 - 7,4	19 - 26	Angin tegang	Dahan-dahan bergerak
5	7,5 - 9,8	27 - 35	Angin keras	Batang pohon bergerak
6	9,9 - 12,4	36 - 44	Angin keras sekali	Batang pohon besar bergerak

7	12,5 – 15,2	45 – 54	Angin ribut	Dahan-dahan patah
8	15,3 – 18,2	55 – 65	Angin ribut sekali	Pohon-pohon kecil patah

Sumber: Meteorologi Dan Klimatologi (hal 53)

2. 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.

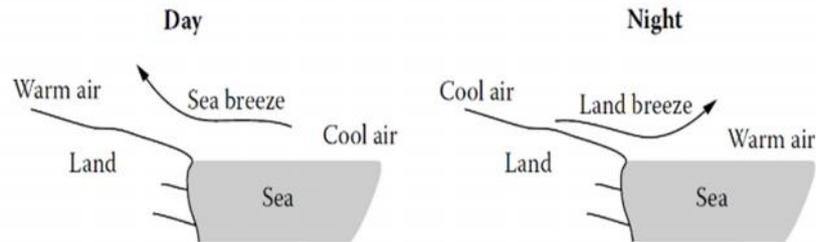


Gambar 2.1

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

Angin lokal disebabkan perbedaan tekanan lokal dan juga dipengaruhi topography, gesekan permukaan disebabkan gunung, lembah dan lain – lain. Variasi harian disebabkan perbedaan temperatur antara siang dan malam. Perbedaan temperatur daratan dan lautan juga mengakibatkan angin sepoi

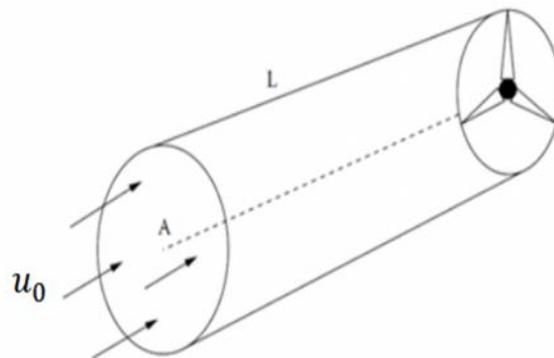
– sepoi, bagaimanapun angin tidak mengalir sangat jauh di daratan.



Gambar 2.2 Angin laut (siang) dan angin darat (malam)
(<http://energi.angin.pltb.com>)

3. Potensi Angin

Perpindahan molekul udara memiliki energi kinetik, sehingga secara lokal jumlah molekul udara berpindah melalui luasan selama selang waktu tertentu menentukan besarnya daya. Luasan ini adalah tidak luas permukaan bumi, tetapi luasan yang tegak lurus terhadap aliran udara, yang merupakan penentu untuk memperkirakan seberapa besar daya dan energi yang dapat diekstrak.



Gambar 2.3 Aliran angin melalui silinder dengan luas A
(<http://energi.angin.pltb.com>)

Dari persamaan di atas, daya angin per satuan luas dapat diperkirakan untuk kecepatan angin yang berbeda, seperti pada tabel 2.1. Bagaimanapun, tidak semua daya angin dapat diekstrak, efisiensi maksimum secara teoritis untuk turbin angin adalah 59,25%.

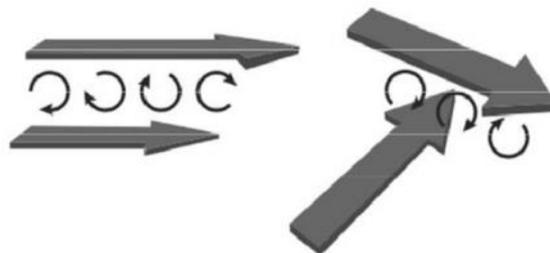
Tabel 2.2 Perkiraan daya angin persatuan luas

<i>Wind speed m/s</i>	<i>Power kW/m²</i>
0	0
5	0.06
10	0.50
15	1.68
20	4.00
25	7.81
30	13.50

(<http://energi.angin.pltb.com>)

4. Wind Shear

Wind shear adalah perubahan arah atau kecepatan angin saat melalui jarak tertentu. Wind shear dapat juga terjadi secara vertikal. Perubahan kecepatan angin terhadap ketinggian, horizontal wind shear merupakan faktor utama dalam memperkirakan produksi energi melalui turbin angin. Telah dilakukan pengukuran perubahan kecepatan angin terhadap ketinggian yang disebabkan perbedaan kondisi atmosfer.



Gambar 2.4 Kiri : wind shear disebabkan perbedaan kecepatan angin terhadap ketinggian. Kanan : wind shear disebabkan arah angin.

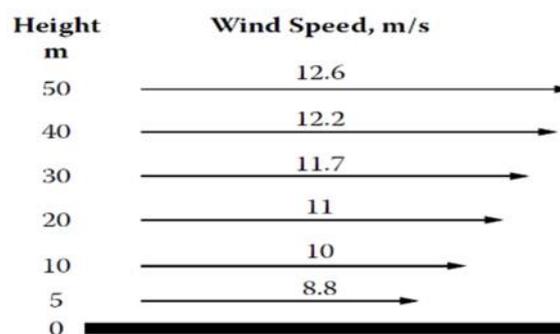
(<http://energi.angin.pltb.com>)

Metode umum yang memperkirakan kecepatan angin untuk ketinggian yang lebih tinggi dengan mengetahui kecepatan angin pada ketinggian yang lebih rendah disebut *power law*. *Power law* untuk wind shear adalah:

$$u = u_0 \left(\frac{H}{H_0} \right)^\alpha$$

Dimana u_0 = kecepatan angin yang telah diukur pada ketinggian tertentu, H_0 ketinggian pada kecepatan angin u_0 dan H = ketinggian.

Eksponen wind shear α , berkisar 1/7 (0.14) untuk atmosfer dalam kondisi stabil. Bagaimanapun nilai α berubah – ubah tergantung pada daerah dan kondisi atmosfer. Perubahan kecepatan angin terhadap ketinggian dapat diperkirakan seperti pada gambar 2.5, dengan catatan nilai $\alpha = 0,14$. 10 m merupakan standard ketinggian dunia untuk pengukuran kondisi cuaca, sehingga menggunakan data ketinggian 10 m dan eksponen wind shear 0,14 untuk memperkirakan potensi daya angin untuk sampai pada ketinggian 50 m untuk beberapa daerah lokasi yang diperkirakan daerah tersebut ladang angin (*wind farm*).



Gambar 2.5

Wind shear, perubahan kecepatan angin terhadap ketinggian. Dihitung untuk kecepatan angin 10 m/s pada ketinggian 10 m, $\alpha = 0,14$.
(<http://energi.angin.PLTB.com>)

5. Pengertian Turbin Angin

Turbin angin merupakan mesin dengan sudu berputar yang mengonversikan energi kinetik angin menjadi energi mekanik. Jika energi mekanik digunakan langsung secara permesinan seperti pompa atau grinding stones, maka mesin (turbin) disebut windmill. Jika energi mekanik dikonversikan menjadi energi listrik, maka mesin disebut turbin angin atau *wind energy converter* (WEC).

Ekstraksi potensi angin adalah sebuah upaya kuno dimulai dengan kapal-tenaga angin, pabrik gandum dan grinding stone. Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk menyuplai kebutuhan listrik masyarakat dengan menggunakan prinsip konversi energi dan memanfaatkan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. Walaupun sampai saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional, contohnya pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD), pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dan sebagainya. Turbin angin masih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbaharui, contohnya minyak bumi, batubara dan sebagainya sebagai bahan dasar untuk membangkitkan energi listrik.

6. Jenis – Jenis Turbin Angin

Turbin angin sebagai mesin konversi energi dapat digolongkan berdasarkan prinsip aerodinamik yang dimanfaatkan rotornya. Berdasarkan

prinsip aerodinamik, turbin angin dibagi menjadi dua bagian yaitu:

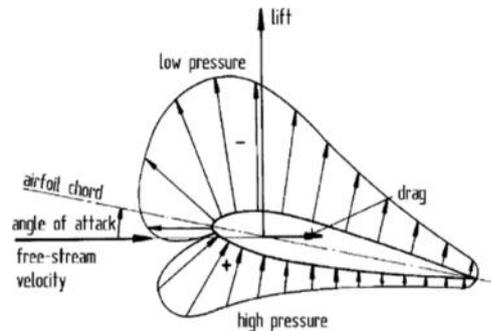
1. Jenis *drag* yaitu prinsip konversi energi yang memanfaatkan selisih koefisien *drag*.
2. Jenis *lift* yaitu prinsip konversi energi yang memanfaatkan gaya lift.

Pengelompokan turbin angin berdasarkan prinsip aerodinamik pada rotor yang dimaksud yaitu apakah rotor turbin angin mengekstrak energi angin memanfaatkan gaya *drag* dari aliran udara yang melalui sudu rotor atau rotor angin mengekstrak energi angin dengan memanfaatkan gaya lift yang dihasilkan aliran udara yang melalui profil aerodinamis sudu. Kedua prinsip aerodinamik yang dimanfaatkan turbin angin memiliki perbedaan putaran pada rotornya, dengan prinsip *drag* memiliki putaran rotor relatif rendah dibandingkan turbin angin yang rotornya menggunakan prinsip gaya lift. Jika dilihat dari arah sumbu rotasi rotor, turbin angin dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu:

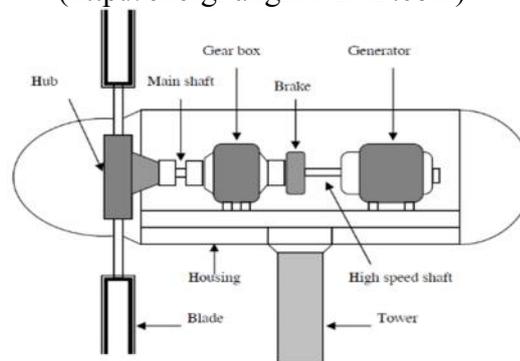
a. Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

Turbin angin sumbu horizontal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya paralel terhadap permukaan tanah. Turbin angin sumbu horizontal memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara dan diarahkan menuju dari arah datangnya angin untuk dapat memanfaatkan energi angin. Rotor turbin angin kecil diarahkan menuju dari arah datangnya angin dengan pengaturan baling-baling angin sederhana sedangkan turbin angin besar umumnya menggunakan sensor angin dan motor yang mengubah rotor turbin mengarah pada angin. Berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor turbin angin sumbu horizontal mengalami gaya lift dan gaya *drag*, namun gaya lift jauh lebih besar dari gaya *drag*

sehingga rotor turbin ini lebih dikenal dengan rotor turbin tipe lift, seperti terlihat pada gambar 2.7.



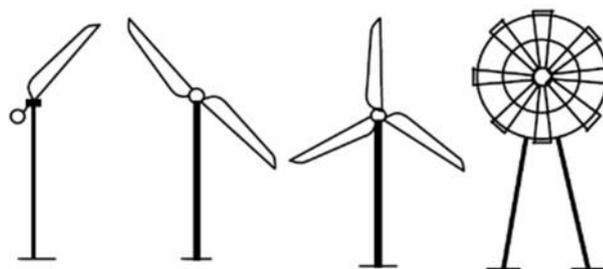
Gambar 2.6 Gaya aerodinamis rotor turbin angin ketika dilalui aliran udara.
([http://energi angin PLTB.com](http://energi%20angin%20PLTB.com))



Gambar 2.7 Komponen utama turbin angin sumbu horizontal
([http://energi angin PLTB.com](http://energi%20angin%20PLTB.com))

Dilihat dari jumlah sudu, turbin angin sumbu horizontal terbagi menjadi:

1. Turbin angin satu sudu (*single blade*)
2. Turbin angin dua sudu (*double blade*)
3. Turbin angin tiga sudu (*three blade*)
4. Turbin angin banyak sudu (*multi blade*)



Single bladed, two bladed, three bladed and multi bladed turbines

Gambar 2.8 Jenis turbin angin berdasarkan jumlah sudu
([http://energi angin PLTB.com](http://energi%20angin%20PLTB.com))

Berdasarkan letak rotor terhadap arah angin, turbin angin sumbu horizontal dibedakan menjadi dua macam yaitu:

1. *Upwind*

2. *Downwind*

Turbin angin jenis *upwind* memiliki rotor yang menghadap arah datangnya angin sedangkan turbin angin jenis *downwind* memiliki rotor yang membelakangi/menurut jurusan arah angin.



Gambar 2.9 Turbin angin jenis *upwind* dan *downwind*
([http://energi angin PLTB.com](http://energi%20angin%20PLTB.com))

Rotor pada turbin *upwind* terletak di depan turbin, posisinya mirip dengan pesawat terbang yang didorong baling – baling. Untuk menjaga turbin tetap menghadap arah angin, diperlukan mekanisme yaw seperti ekor turbin. Keuntungannya, naungan menara berkurang. Udara akan mulai menekuk di sekitar menara sebelum berlalu begitu sehingga ada kehilangan daya dari gangguan yang terjadi, hanya tidak setingkat dengan turbin *downwind*. Kekurangannya, membutuhkan nacelle yang panjang untuk menjaga rotor sejauh mungkin dari menara untuk menghindari terjadinya tabrakan sudu. Sudu dibuat kaku untuk menghindari sudu melentur ke arah menara.

Turbin angin *downwind* memiliki rotor di sisi bagian belakang

turbin. Bentuk nacelle didesain untuk menyesuaikan dengan arah angin, sehingga tidak membutuhkan mekanisme yaw. Keunggulannya yaitu sudu rotor dapat lebih fleksibel karena tidak ada bahaya tabrakan dengan menara. Sudu fleksibel memiliki keuntungan, biaya pembuatan sudu lebih murah dan mengurangi tegangan pada tower selama keadaan angin dengan kecepatan tinggi karena melentur memberikan beban angin didistribusikan secara langsung ke sudu daripada ke menara. Sudu yang fleksibel dapat juga sebagai kekurangan dimana kelenturannya menyebabkan kelelahan sudu. Dibelakang menara merupakan masalah dengan mesin *downwind* karena menyebabkan turbulensi aliran dan meningkatkan kelelahan pada turbin.

b. Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya tegak lurus terhadap permukaan tanah. Jika dilihat dari efisiensi turbin, turbin angin sumbu horizontal lebih efektif dalam mengekstrak energi angin dibanding dengan turbin angin sumbu vertikal. Meskipun demikian, turbin angin vertikal memiliki keunggulan, yaitu:

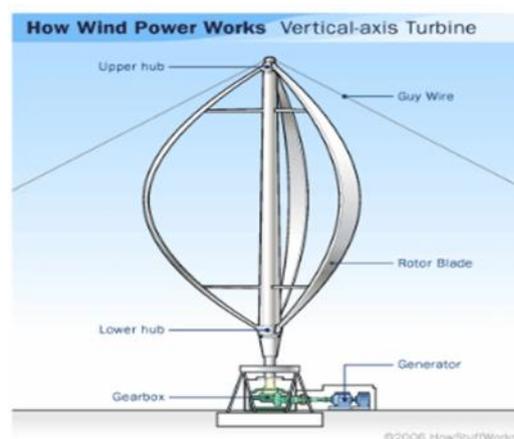
- Turbin angin sumbu vertikal tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah, tidak seperti turbin angin horizontal yang memerlukan mekanisme tambahan untuk menyesuaikan rotor turbin dengan arah angin. Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
- Konstruksi turbin sederhana
- Turbin angin sumbu vertikal dapat didirikan dekat dengan permukaan tanah, sehingga memungkinkan menempatkan komponen mekanik dan

komponen elektronik yang mendukung beroperasinya turbin.

Jika dilihat dari prinsip aerodinamik rotor yang digunakan, turbin angin sumbu vertikal dibagi menjadi dua bagian yaitu:

1. Turbin angin *Darrieus*

Turbin angin *Darrieus* pada umumnya dikenal sebagai turbin *eggbeater*. Turbin angin *Darrieus* pertama kali ditemukan oleh Georges Darrieus pada tahun 1931. Turbin angin *Darrieus* merupakan turbin angin yang menggunakan prinsip aerodinamik dengan memanfaatkan gaya lift pada penampang sudu rotornya dalam mengekstrak energi angin. Turbin *Darrieus* memiliki torsi rotor yang rendah tetapi putarannya lebih tinggi dibanding dengan turbin angin *Savonius* sehingga lebih diutamakan untuk menghasilkan energi listrik. Namun turbin ini membutuhkan energi awal untuk mulai berputar. Rotor turbin angin *Darrieus* pada umumnya memiliki variasi sudu yaitu dua atau tiga sudu. Modifikasi rotor turbin angin *Darrieus* disebut dengan turbin angin H.



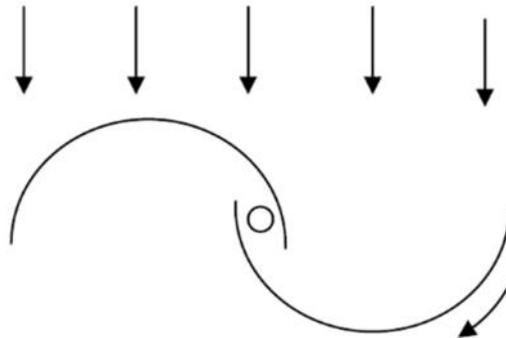
Gambar 2.10
Turbin angin *Darrieus*
(Sumber:rapidshare.com)



Gambar 2.11
Turbin angin *Darrieus* tipe-H
(Sumber:rapidshared.com)

2. Turbin angin *Savonius*

Turbin angin *Savonius* pertama kali diperkenalkan oleh insinyur Finlandia Sigurd J. Savonius pada tahun 1922. Turbin angin sumbu vertikal yang terdiri dari dua sudu berbentuk setengah silinder (atau elips) yang dirangkai sehingga membentuk 'S', satu sisi setengah silinder berbentuk cembung dan sisi lain berbentuk cekung yang dilalui angin seperti pada gambar 2.12. Berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor turbin ini memanfaatkan gaya hambat (*drag*) saat mengekstrak energi angin dari aliran angin yang melalui sudu turbin. Koefisien hambat permukaan cekung lebih besar daripada permukaan cembung. Oleh sebab itu, sisi permukaan cekung setengah silinder yang dilalui angin akan memberikan gaya hambat yang lebih besar daripada sisi lain sehingga rotor berputar. Setiap turbin angin yang memanfaatkan potensi angin dengan gaya hambat memiliki efisiensi yang terbatas karena kecepatan sudu tidak dapat melebihi kecepatan angin yang melaluinya.



gambar 2.12 Prinsip rotor *savonius*
(<http://energi.angin.PLTB.com>)

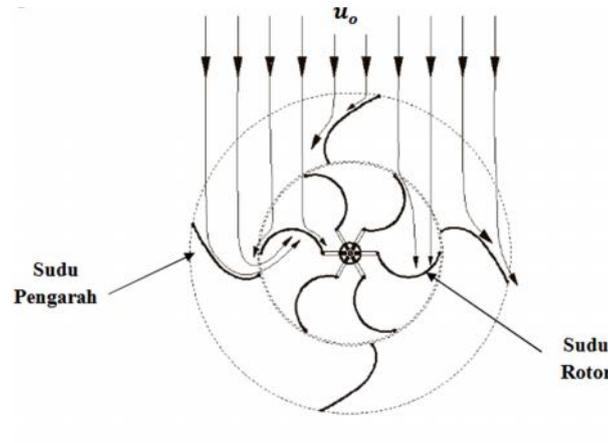
Dengan memanfaatkan gaya hambat, turbin angin *savonius* memiliki putaran dan daya yang rendah dibandingkan dengan turbin angin Darrius. Meskipun demikian turbin *savonius* tidak memerlukan energi awal memulai rotor untuk berputar yang merupakan keunggulan turbin ini dibanding turbin *Darrieus*.

Daya dan putaran yang dihasilkan turbin *savonius* relatif rendah, sehingga pada penerapannya digunakan untuk keperluan yang membutuhkan daya kecil dan sederhana seperti memompa air. Turbin ini tidak sesuai digunakan untuk pembangkit listrik dikarenakan *tip speed ratio* dan faktor daya yang relatif rendah.

a. Sudu Pengarah

Melihat sudu rotor *savonius* pada gambar 2.12, bila dilihat dengan seksama bahwa bentuk sudu di bagian kiri dan kanan yang langsung dihadapkan dengan arah angin memiliki gaya hambat (*drag*) yang berbeda. Bila dilihat dari arah angin, bagian kiri memiliki bentuk sudu cembung sedangkan bagian kanan berbentuk cekung. Untuk itu diperlukan sudu pengarah, dengan tujuan mengarahkan aliran angin sehingga energi angin setelah menggunakan sudu

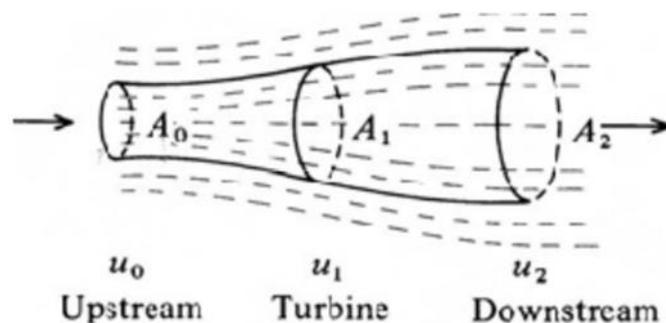
pengarah dapat dimanfaatkan semaksimal mungkin seperti pada gambar 2.13



Gambar 2.13
Sudu Pengarah dengan Rotor Turbin Angin *Savonius*
([http://energi angin PLTB.com](http://energi%20angin%20PLTB.com))

b. Teori Momentum Betz'

Teori momentum Betz' sederhana berdasarkan pemodelan aliran dua dimensi angin yang mengenai rotor menjelaskan prinsip konversi energi angin pada turbin angin terlihat seperti pada gambar 2.14. Berkurangnya kecepatan aliran udara disebabkan karena sebagian energi kinetik angin diekstrak oleh rotor turbin angin.



Gambar 2.14
Pemodelan Betz' untuk aliran angin
([http://energi angin PLTB.com](http://energi%20angin%20PLTB.com))

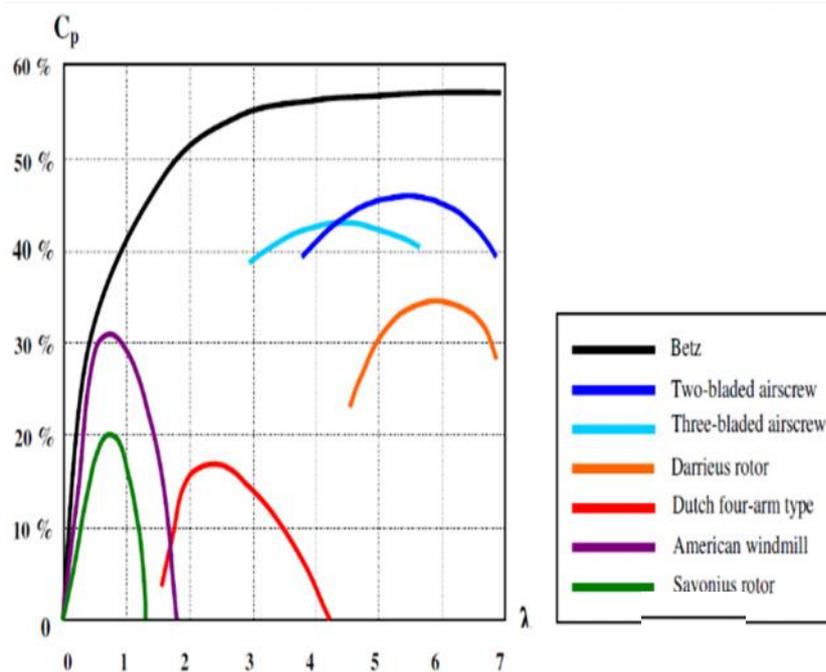
Penampang A_1 adalah luas sapuan rotor turbin, luas A_0 dan A_2 luas penampang aliran masuk dan keluar dengan massa angin konstan mengalir

melalui A_1 . A_0 diposisikan pada dari arah datangnya angin tanpa dipengaruhi oleh rotor turbin, dan A_2 diposisikan pada kecepatan angin rendah.

c. Tip Speed Ratio

Tip speed ratio merupakan rasio kecepatan ujung rotor turbin terhadap kecepatan angin yang melalui rotor. Rasio kecepatan ujung rotor memiliki nilai nominal yang berubah – ubah terhadap perubahan kecepatan angin. Turbin angin tipe lift memiliki *tip speed ratio* yang lebih besar dibanding dengan turbin angin tipe *drag*.

Grafik berikut menunjukkan variasi *tip speed ratio* dan koefisien daya C_p pada berbagai jenis turbin angin seperti pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Variasi tip speed ratio dan koefisien daya C_p pada berbagai jenis turbin angin ([http://energi angin PLTB.com](http://energi%20angin%20PLTB.com))

7. Generator Listrik

Turbin angin yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik tentu

memerlukan generator yang berguna mengubah energi mekanik gerak rotasi rotor menjadi energi listrik. Terdapat beberapa jenis generator yang digunakan. Berdasarkan arah arus yang dikeluarkan, generator dibagi menjadi dua jenis yaitu:

1. Generator arus searah (*Direct Current - DC*)
2. Generator arus bolak – balik (*Alternating Current - AC*)

Generator arus searah (DC) menghasilkan tegangan yang arahnya tetap dan jika dihubungkan dengan beban akan menghasilkan arus searah pula. Pada umumnya generator arus searah dapat menghasilkan energi listrik pada putaran tinggi. Untuk digunakan pada turbin angin, jenis generator ini memerlukan sistem transmisi untuk menaikkan putaran (*speed increasing*).

Generator arus bolak – balik (AC) menghasilkan tegangan yang arahnya bolak – balik dan jika dihubungkan dengan beban akan menimbulkan arus bolak – balik pula. Generator AC dapat menghasilkan daya pada putaran yang bervariasi bergantung pada spesifikasi generator itu sendiri.

Besar putaran minimal yang diperlukan generator AC untuk dapat menghasilkan energi listrik dan besar putaran kerja bergantung pada jumlah kutub dan kumparan dalam generator, semakin banyak jumlah kumparannya maka semakin kecil putaran minimal dan putaran kerjanya. Jumlah kumparan merupakan kelipatan dari jumlah kutub yang dimiliki generator.

Untuk putaran turbin yang memiliki putaran yang relatif rendah, digunakan jenis generator magnet permanen dengan variasi jumlah kutub, semakin banyak jumlah kutub generator maka putaran yang dibutuhkan semakin kecil untuk membangkitkan listrik dan sebaliknya. Untuk generator yang menggunakan

magnet permanen sebagai penginduksi kumparnya disebut generator magnet permanen.

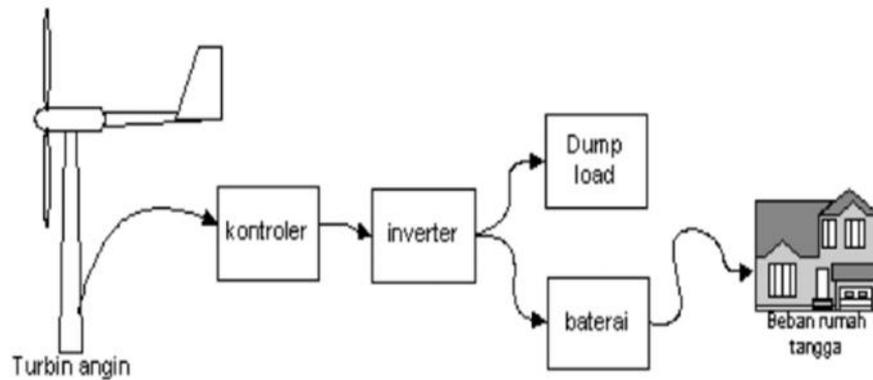
8. Sistem Kelistrikan

Pada turbin angin pembangkit energi listrik tentu memiliki sistem kelistrikan yang merupakan bagian dari rantai konversi energi angin menjadi energi listrik. Ian Woovenden memberikan penyederhanaan dalam memahami sistem kelistrikan turbin angin. sistem kelistrikan ini dibedakan menjadi:

- 1) .Sistem jaringan lepas dari jaringan (*off-grid wind-electric system*)
- 2) .Sistem kelistrikan terhubung dengan baterai (*grid tied wind-electric system with battery backup*)
- 3) Sistem kelistrikan terhubung tanpa baterai (*batteryless grid tied wind-electric system*)
- 4) Sistem kelistrikan langsung tanpa baterai (*direct-drive batteryless wind-electric system*)

a. Sistem Kelistrikan Lepas Jaringan

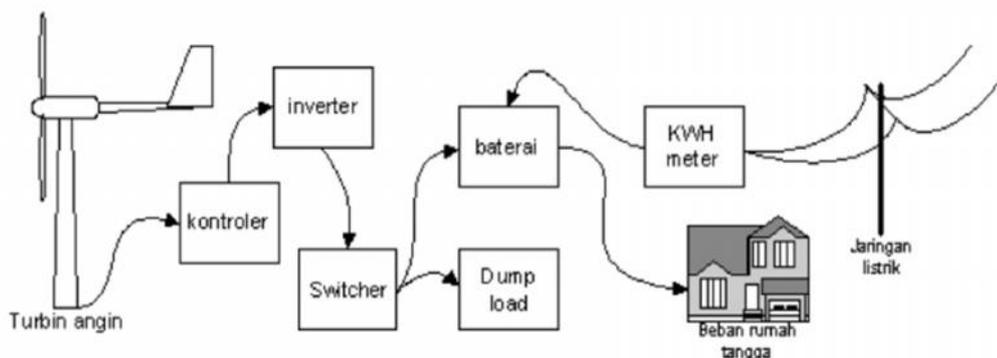
Sistem listrik turbin angin lepas jaringan berbasis pada penggunaan baterai. Sistem ini dipilih jika penggunaan energi terhubung dengan jaringan atau akan lebih mahal jika terhubung dengan jaringan karena membutuhkan perangkat tambahan. Sistem lepas jaringan terbatas dalam kapasitas oleh ukuran sumber pembangkit listrik, sumber energi angin, dan kapasitas baterai.



Gambar 2.16 Sistem kelistrikan lepas jaringan
(<http://energi.angin.PLTB.com>)

b. Sistem Kelistrikan Terhubung Dengan Baterai

Menghubungkan sistem kelistrikan turbin angin dengan jaringan dan baterai adalah sistem terbaik untuk penggunaan rumah tangga. Kapasitas listrik tidak terbatas dan kelebihan energi listrik dapat dijual masuk ke dalam jaringan. Ketika jaringan listrik padam, kapasitas baterai (meskipun terbatas) dan turbin tetap dapat menyuplai energi listrik untuk beban rumah tangga. Kekurangannya adalah sistem ini mahal untuk diterapkan dalam rumah tangga.

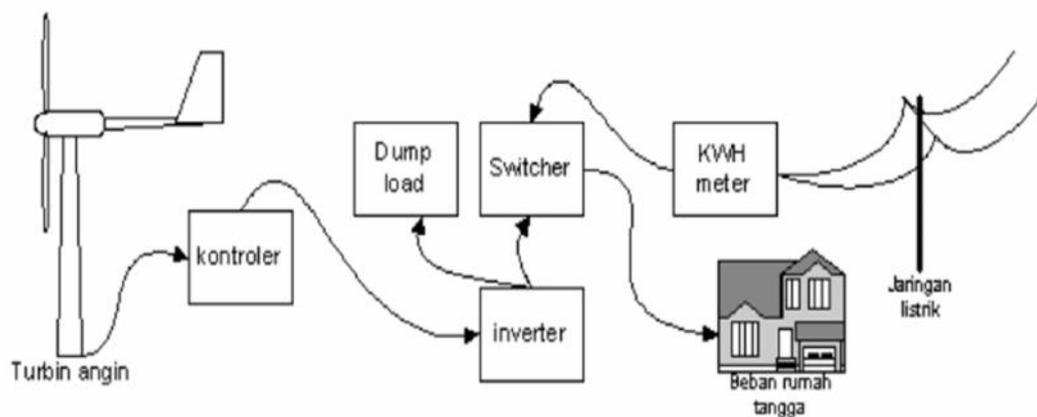


Gambar 2.17 Sistem kelistrikan terhubung dengan baterai
(<http://energi.angin.PLTB.com>)

c. Sistem Kelistrikan Terhubung Tanpa Baterai

Menghubungkan sistem kelistrikan turbin angin dengan jaringan tanpa menggunakan baterai merupakan pilihan yang efektif untuk aspek biaya dan lingkungan. Sistem ini mengeliminasi baterai yang mahal harganya maupun pemeliharannya, juga secara signifikan mengurangi efisiensi sistem. Kekurangan sistem ini adalah jika jaringan listrik padam, tidak ada sumber energi cadangan untuk mengatasi kekurangan listrik.

Sistem tanpa baterai dapat meningkatkan efisiensi secara signifikan jika dibandingkan dengan sistem yang menggunakan baterai. Hal ini karena inverter dapat menyesuaikan beban angin lebih baik, menjalankan turbin angin pada kecepatan maksimal dan mengekstrak energi angin lebih besar.

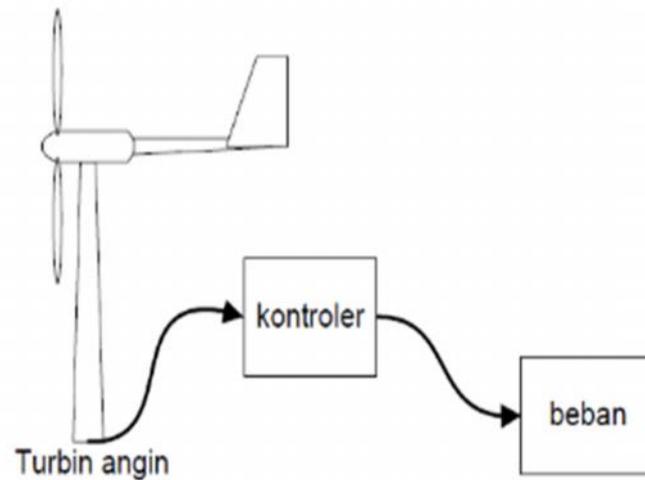


Gambar 2.18 Sistem kelistrikan terhubung tanpa baterai
([http://energi angin PLTB.com](http://energi%20angin%20PLTB.com))

d. Sistem Kelistrikan Langsung Tanpa Baterai

Jenis ini adalah sistem kelistrikan turbin angin yang paling umum, biasanya digunakan untuk memompa air. Turbin angin dihubungkan dengan pompa air melalui kontroler atau langsung. Ketika angin bertiup, pompa air akan

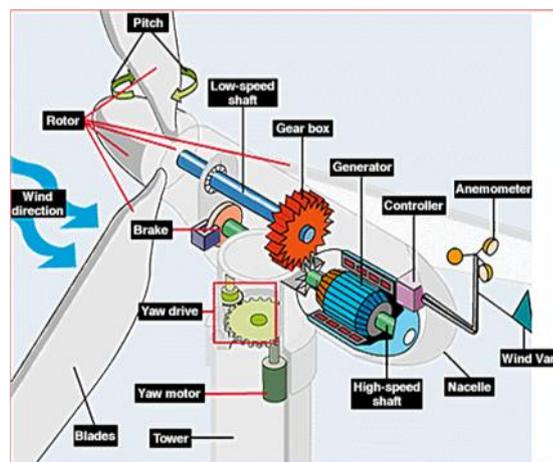
menaikkan air ke tangki penyimpanan. Penggunaannya dapat untuk irigasi maupun untuk keperluan lainnya.



Gambar 2.19 Sistem kelistrikan langsung tanpa baterai
([http://energi angin PLTB.com](http://energi%20angin%20PLTB.com))

9. Komponen Turbin Angin

Turbin angin yang digunakan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin (PLTB) tersusun dari berbagai komponen, berikut akan dijelaskan bagian-bagian dari turbin :



Gambar 2.21
komponen-komponen turbin angin
(<http://lugiromadoni.blogspot.com>)

a. *Blades*

Kebanyakan turbin baik dua atau tiga pisau. Angin bertiup di atas menyebabkan pisau pisau untuk "mengangkat" dan berputar.

b. *Rotor*

Bagian dari generator listrik yang berputar pada sumbu rotor.

c. *Pitch*

Blades yang berbalik, atau nada, dari angin untuk mengontrol kecepatan rotor dan menjaga rotor berputar dalam angin yang terlalu tinggi atau terlalu rendah untuk menghasilkan listrik.

d. *Brake*

Sebuah cakram rem, yang dapat diterapkan dalam mekanik, listrik, hidrolik atau untuk menghentikan rotor dalam keadaan darurat.

e. *Low-speed shaft*

Mengubah poros rotor kecepatan rendah sekitar 30-60 rotasi per menit.

f. *Gear box*

Gears menghubungkan poros kecepatan tinggi di poros kecepatan rendah.

g. *Generator*

Berfungsi mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik.

h. *Controller*

pengontrol mesin mulai dengan kecepatan angin sekitar 8-16 mil per/jam (mph) dan menutup mesin turbin sekitar 55 mph. tidak beroperasi pada kecepatan angin sekitar 55 mph di atas, karena dapat rusak karena angin yang kencang.

i. Anemometer

Mengukur kecepatan angin dan mengirimkan data kecepatan angin ke pengontrol.

j. *Wind vane*

Tindakan arah angin dan berkomunikasi dengan yaw drive untuk menggerakkan turbin dengan koneksi yang benar dengan angin.

k. *Nacelle*

Nacelle berada di atas menara dan berisi *gear box*, poros kecepatan rendah dan tinggi, generator, kontrol, dan rem.

l. *High-speed shaft*

drive generator

m. *Yaw drive*

Digunakan untuk menjaga rotor menghadap ke arah angin sebagai perubahan arah angin.

n. *Yaw motor*

kekuatandrive yaw.

o. Tower

Menara yang terbuat dari baja tabung (yang ditampilkan di sini), beton atau kisi baja. Karena kecepatan angin meningkat dengan tinggi, menara tinggi memungkinkan turbin untuk menangkap lebih banyak energi dan menghasilkan listrik lebih banyak.

10. Daya Listrik

Daya listrik didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Satuan SI daya listrik adalah watt yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir persatuan waktu. Arus listrik yang mengalir dalam rangkaian dengan hambatan listrik menimbulkan kerja. Peranti mengkonversi kerja ini ke dalam berbagai bentuk yang berguna, seperti panas (seperti pada pemanas listrik), cahaya (seperti pada bola lampu), energi kinetik (motor listrik), dan suara (loudspeaker). Listrik dapat diperoleh dari pembangkit listrik atau penyimpan energi seperti baterai.

Listrik Arus bolak-balik (listrik AC - alternating current) adalah arus listrik dimana besarnya dan arahnya arus berubah-ubah secara bolak-balik. Berbeda dengan listrik arus searah dimana arah arus yang mengalir tidak berubah – ubah dengan waktu. Bentuk gelombang dari listrik arus bolak-balik biasanya berbentuk gelombang sinusoidal, karena ini yang memungkinkan pengaliran energi yang paling efisien.

Arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang mengalir tiap satuan waktu. Muatan listrik bisa mengalir melalui kabel atau penghantar listrik lainnya.

$$P = V \cdot I$$

dimana:

P = daya (W)

I = arus (A)

V = perbedaan potensial (V)

Daya listrik, seperti daya mekanik, dilambangkan oleh huruf P dalam persamaan listrik. Pada rangkaian arus DC, daya listrik sesaat dihitung menggunakan Hukum Joule, sesuai nama fisikawan Britania James Joule, yang pertama kali menunjukkan bahwa energi listrik dapat berubah menjadi energi mekanik, dan sebaliknya.

11. Energi listrik

Energi listrik adalah energi yang dihasilkan oleh kerja vektor gaya coulomb dalam menempuh vektor jarak lintasan tertentu. Vektor gaya coulomb searah dengan arah vektor kuat medan listrik yang bekerja pada muatan titik q tertentu. Jika arah vektor gaya coulomb berlawanan dengan arah vektor elemen jarak lintasan, maka rumus energi yang dihitung ditulis negatif dan, sebaliknya jika vektor gaya coulomb searah dengan vektor elemen jarak listasan, maka rumus ditulis positif.

Potensial listrik muatan listrik statik pada jarak r dan muatan adalah energi per satuan muatan yang diperlukan untuk membawa satu satuan dari tak hingga ke titik tersebut.

Dipole listrik adalah dua muatan sama besar, berlawanan tanda yang dipisahkan oleh jarak d di medium dielektrik. Perkalian vektor jarak dari muatan listrik negatif ke positif dengan muatan listrik positif akan menghasilkan vektor momen dipole. Dipole menghasilkan potensial listrik dan kuat medan listrik pada jarak r dari pole.

Energi listrik adalah produk skalar dari vektor gaya coulomb dengan

vektor perpindahan, atau dapat diartikan juga sebagai kerja yang dilakukan oleh vektor gaya coulomb untuk menempuh vektor elemen perpindahan. Jika arah vektor gaya coulomb beralawan dengan arah vektor perpindahan maka bernilai negatif, yang artinya kerja diberikan dari luar ke sistem, atau dengan kata lain kerja diperlukan oleh sistem

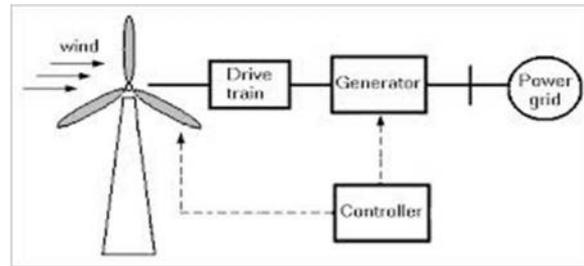
12. Pembangkit Energi Listrik

Pembangkitan yaitu produksi tenaga listrik, dilakukan dalam pusat-pusat tenaga listrik atau sentral-sentral, dengan mempergunakan generator-generator. Dengan demikian dalam suatu sistem tenaga listrik yang dimaksud pembangkit tenaga listrik ialah suatu alat/peralatan yang berfungsi untuk membangkitkan tenaga listrik dengan cara mengubah energi potensial menjadi tenaga mekanik, selanjutnya menjadi tenaga listrik..

Untuk mendapatkan energi listrik dapat memanfaatkan bermacam-macam sumber energi, misalnya tenaga air, tenaga angin, bahan bakar fosil, dan bahan bakar nuklir.

Dengan memakai sumber energi tersebut diperoleh tenaga untuk menggerakkan turbin yang akan mengaktifkan generator listrik. Energi listrik yang dihasilkan harus diubah menjadi tegangan yang sesuai untuk transmisi. Setelah proses ini, arus listrik dialirkan melalui jaringan kabel transmisi ke daerah yang memerlukan.

Pada proses pembangkitan tenaga listrik telah terjadi proses perubahan energi mekanik menjadi energi listrik.



Gambar 2.22 Proses Pembangkitan Tenaga Listrik
(<http://www.collegetextbookprice.com>)

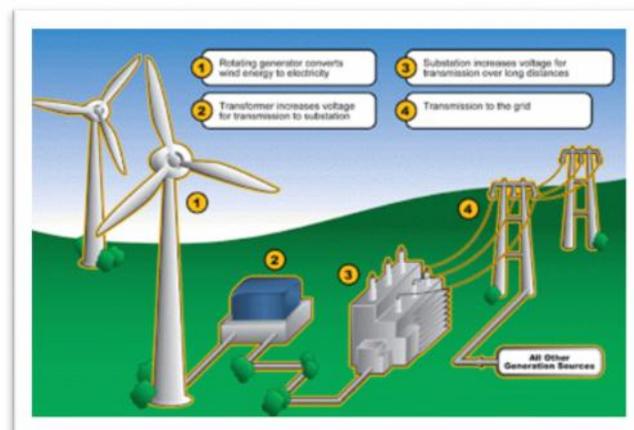
Terdapat dua jenis turbin sebagai penggerak generator, yaitu turbin mekanik dan turbin uap. Turbin mekanik digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dan tenaga angin. Turbin uap digunakan pada pembangkit listrik berbahan bakar fosil dan nuklir, misalnya Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), dan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP).

Masing-masing jenis pembangkit tenaga listrik mempunyai prinsip kerja yang berbeda-beda, sesuai dengan penggerak mulanya (prime mover). Satu hal yang sama dari beberapa jenis pembangkit tenaga listrik tersebut yaitu semuanya sama-sama berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, dengan cara mengubah potensi energi mekanik dari air, uap, gas, panas bumi, nuklir, kombinasi gas dan uap, menggerakkan atau memutar turbin yang porosnya dikopel dengan generator, selanjutnya dengan sistem pengaturannya generator tersebut akan menghasilkan daya listrik.

13. 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 fisiknya 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 2.23 Proses Pembangkitan PLTB
(<http://www.jendeladenngabei.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. kenaikan 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.

14. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin Dan Lingkungan

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, 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 seperseratus 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.

15. Pentingnya Energi Listrik Bagi Perekonomian

Sebagaimana diketahui, energi listrik dipakai untuk berbagai keperluan. Energi listrik dapat dipergunakan untuk menggerakkan macam-macam mesin dan proses di pabrik. Dapat juga dimanfaatkan untuk pemanasan, pendinginan komputer, telekomunikasi dan berbagai keperluan lainnya dalam industri dan perdagangan. Penting juga untuk musik dan industry hiburan. energi listrik juga diperlukan untuk belajar di sekolah untuk meningkatkan kenyamanan di rumah. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa energi listrik merupakan penggerak perekonomian suatu Negara. Lebih maju perekonomian Negara, lebih banyak energi listrik yang dipakai. Memang penggerak ekonomi secara keseluruhan adalah pemakaian energi secara umum: minyak, batu bara dan gas, akan tetapi di semua Negara, komponen listrik di dalam gambaran energi keseluruhan, terus menerus menunjukkan kecenderungan yang naik. Di Negara yang maju, energi listrik merupakan bagian 50 persen atau lebih, dan terus naik. Dengan demikian maka lambat laun, pemakaian energi listrik di suatu Negara merupakan suatu tolok ukur penting dari kemajuan perekonomiannya.

16. Manajemen Operasi Tenaga Listrik

Operasi sistem tenaga listrik menyangkut berbagai aspek yang luas, khusus karena menyangkut biaya yang tidak sedikit serta menyangkut penyediaan tenaga listrik bagi masyarakat sehingga menyangkut hajat hidup orang banyak. Oleh karena itu operasi sistem tenaga listrik memerlukan manajemen yang baik.

Dari uraian dalam pasal 1.4., maka untuk dapat mengoperasikan sistem tenaga listrik dengan baik perlu ada hal-hal sebagai berikut:

a. Perencanaan operasi

Yaitu pemikiran mengenai bagaimana sistem tenaga listrik akan dioperasikan untuk jangka waktu tertentu.

b. Pelaksanaan dan pengendalian operasi

Yaitu pelaksanaan dari rencana operasi serta pengendaliannya apabila hal-hal yang menyimpang dari rencana operasi.

c. Analisa operasi

Yaitu analisa atas hasil-hasil operasi untuk memberikan umpan balik bagi perencanaan operasi maupun bagi pelaksanaan dan pengendali operasi. Analisa operasi juga memberikan saran-saran bagi pengembang sistem serta penyempurnaan pemeliharaan instalasi.

17. Perencanaan dan pengembangan tenaga listrik

Sejak dimulai rencana pembangunan lima tahun (replitan) perkembangan tenaga listrik di Indonesia mengalami kenaikan yang terus-menerus dengan peningkatan daya terpasang pembangkit tenaga listrik setiap tahunnya di atas 10 persen, bahkan hingga 15 persen. Dalam kaitan ini beberapa kejadian penting banyak berpengaruh pada dunia ketenagalistrikan. Pertama adalah kemelut energi yang terjadi pada tahun 1973-1974 yang disebabkan oleh embargo minyak yang dilakukan oleh beberapa Negara timur tengah.

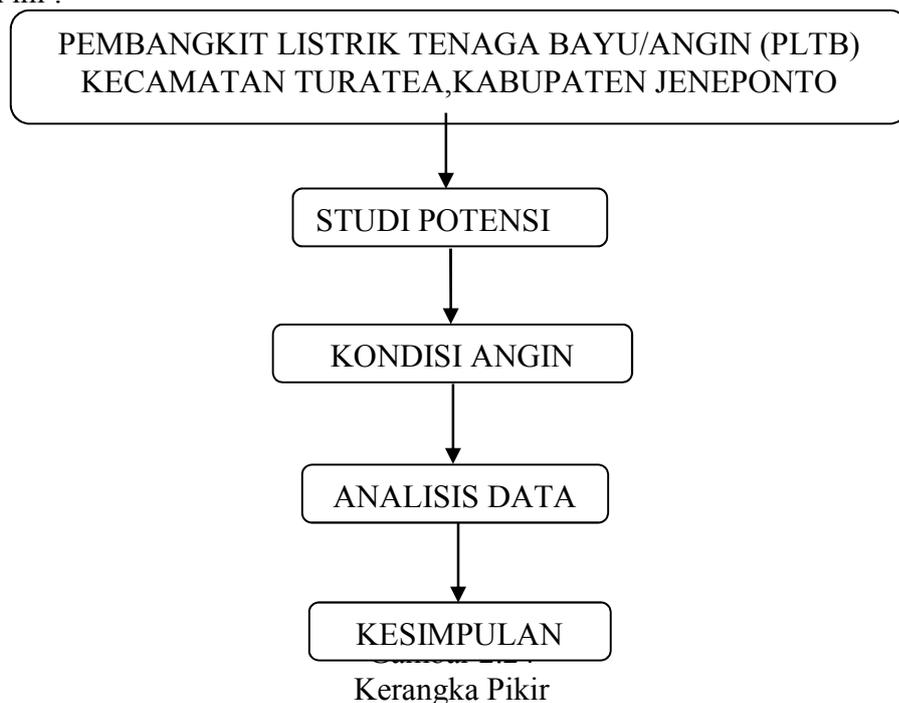
B. Kerangka Pikir

Masih banyak desa-desa atau tempat-tempat di Negara kita yang belum terjangkau oleh jaringan listrik. Perusahaan listrik Negara (PLN). Oleh karena itu diperlukan upaya pencarian sumber listrik yang mudah dan sederhana yang dapat diusahakan oleh masyarakat setempat dengan memanfaatkan potensi yang ada.

Salah satu usaha untuk meningkatkan kesejahteraan penduduk adalah meningkatkan suplai listrik, sehingga pemakaian listrik tidak hanya dirasakan di kota-kota, tetapi juga sampai ke pelosok-pelosok desa untuk alat penerangan maupun usaha-usaha lain dibidang ekonomi.

Pembangkit listrik tenaga bayu (angin) (PLTB) yang direncanakan ini akan dilihat dari aspek teknis, sehingga dapat ditentukan apakah PLTB tersebut dapat memberikan sumbangan dan peran positif pada masyarakat.

Bagan alur pikir dalam penelitian ini dapat digambarkan dalam gambar di bawah ini :



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis penelitian

Jenis penelitian adalah penelitian deskriptif kuantitatif. Penelitian kuantitatif adalah penelitian dengan memperoleh variable dalam bentuk angka. Penelitian deskriptif kuantitatif bermaksud untuk fenomena atau kondisi objek penelitian dalam bentuk angka-angka. Pada penelitian ini yaitu kondisi angin di Kecamatan Turatea, Kabupaten Jeneponto yang diperoleh melalui pengukuran kecepatan angin.

B. Lokasi dan Waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT. Energi Bayu Jeneponto. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli - November 2018.

C. Teknik pengumpulan data

Teknik pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Teknik observasi yaitu melakukan pengamatan-pengamatan di lapangan untuk memperoleh data yang dibutuhkan untuk menentukan potensi pembangkit listrik tenaga bayu/angin (PLTB)
2. Teknik wawancara yaitu mengadakan wawancara langsung dengan pihak pemerintah, perusahaan, dan masyarakat setempat tentang potensi pembangkit listrik tenaga bayu/angin (PLTB)

3. Teknik dokumentasi yaitu usaha untuk memperoleh data dan informasi melalui pengamatan yang berhubungan dengan potensi pembangkit listrik tenaga bayu/angin (PLTB).

D. Teknik analisis data

Analisis data yang digunakan adalah analisis deskriptif dengan perhitungan-perhitungan teknis untuk menggambarkan keadaan yang berhubungan dengan potensi pembangkit listrik tenaga bayu/angin (PLTB) dengan menggunakan generator jenis Siemens dengan kapasitas 3.6 MW.

Energi angin dilihat dari energi kecepatan aliran angin, dapat dituliskan dalam bentuk: (Perhitungan Pembangkit Listrik Tenaga

Angin <https://www.scribd.com>.)

perhitungan daya turbin

$$P_m = \varphi_t \frac{1}{2} \rho A v_i^3$$

Perhitungan daya mekanik pada *gearbox*

$$P_g = \varphi_g \times P_m$$

Perhitungan daya listrik

$$P_e = \varphi_{gen} \times P_g$$

keterangan :

P_m = Daya mekanik turbin (W)

φ_t = Efisiensi turbin angin ρ = Massa jenis udara (kg/s)

φ_g = Efisiensi *gearbox* A = Area sapuan turbin (m^2)

φ_{gen} = Efisiensi generator V_i = kecepatan angin nominal (m/s)

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Deskriptif Wilayah Kecamatan Turatea Kabupaten Jeneponto

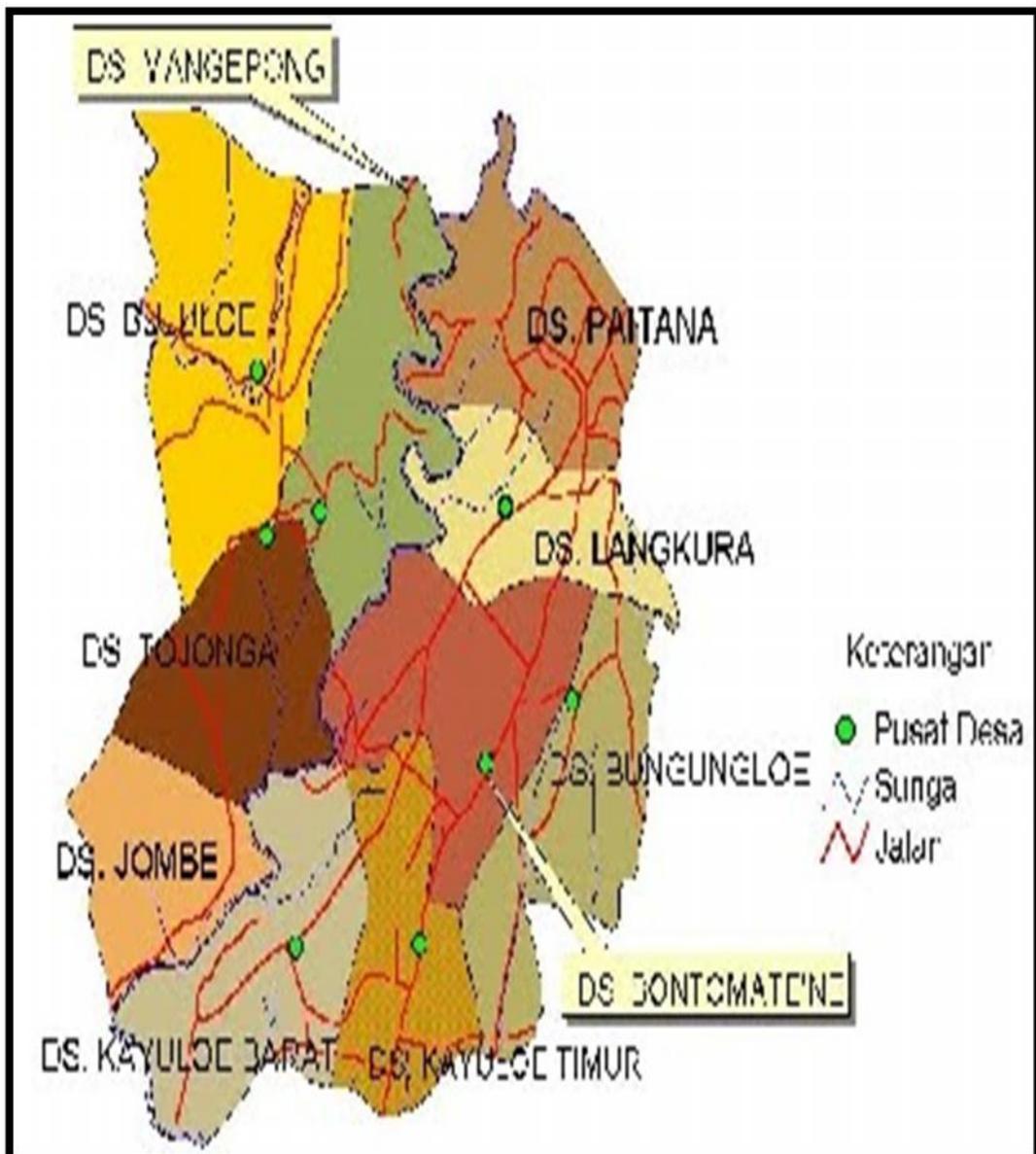
a. Kondisi Geografis

Kecamatan Turatea merupakan satu dari 11 Kecamatan di Kabupaten Jeneponto dengan luas wilayah 53.76 km². Sebanyak 11 Desa/Kelurahan di Kecamatan Turatea yaitu :

1. Desa/Kelurahan Kayuloe Barat
2. Desa/Kelurahan Kayuloe Timur
3. Desa/Kelurahan Bontomatene
4. Desa/Kelurahan Paitana
5. Desa/Kelurahan Mangepong
6. Desa/Kelurahan Bululoe
7. Desa/Kelurahan Jombe
8. Desa/Kelurahan Parasangang Beru
9. Desa/Kelurahan Langkura
10. Desa/Kelurahan Tanjoga
11. Desa/Kelurahan Bungunloe

Adapun batas wilayah kecamatan yaitu :

- Utara : Kecamatan Kelara
- Selatan : Kecamatan Binamu
- Timur : Kecamatan Batang
- Barat : Kecamatan Bonto Ramba



Gambar 4.1
Peta Wilayah Kecamatan Turatea Kabupaten Jeneponto
<http://bonthain.blogspot.co.id>



Gambar 4.2
 Peta Wilayah Kabupaten Jeneponto
<http://rutanjeneponto.blogspot.com>

2. Hasil Pengukuran Kecepatan Angin Kecamatan Turatea Kabupaten Jeneponto

Dengan kecepatan rata rata perhari, perbulan dan pertahunnya di ketinggian 50 meter dengan di ukur memakai alat *Anemometer*.

Berdasarkan data yang di peroleh dari P.T Energi Bayu Jeneponto data kecepatan angin dapat dilihat dari tabel di bawah ini :

Tabel 4.1
Ketinggian 50 meter *mean wind speed* 6.6 m/s

Rata-Rata Perjam		Rata-Rata Perbulan		Rata-Rata Pertahun	
Pukul	Kecepatan angin	Bulan	Kecepatan angina	Tahun	Kecepatan angin
0-1	6.32 m/s	Januari	6.49 m/s	2004	6.78 m/s
1-2	6.25 m/s	Februari	5.44 m/s	2005	6.40 m/s
2-3	6.21 m/s	Maret	4.55 m/s	2006	6.88 m/s
3-4	6.16 m/s	April	4.70 m/s	2007	6.65 m/s
4-5	6.14 m/s	Mei	6.81 m/s	2008	7.06 m/s
5-6	6.15 m/s	Juni	7.86 m/s	2009	6.56 m/s
6-7	6.07 m/s	Juli	9.14 m/s	2010	5.75m/s
7-8	5.95 m/s	Agustus	9.76 m/s	2011	6.70 m/s
8-9	5.91 m/s	September	8.85 m/s	2012	6.20 m/s

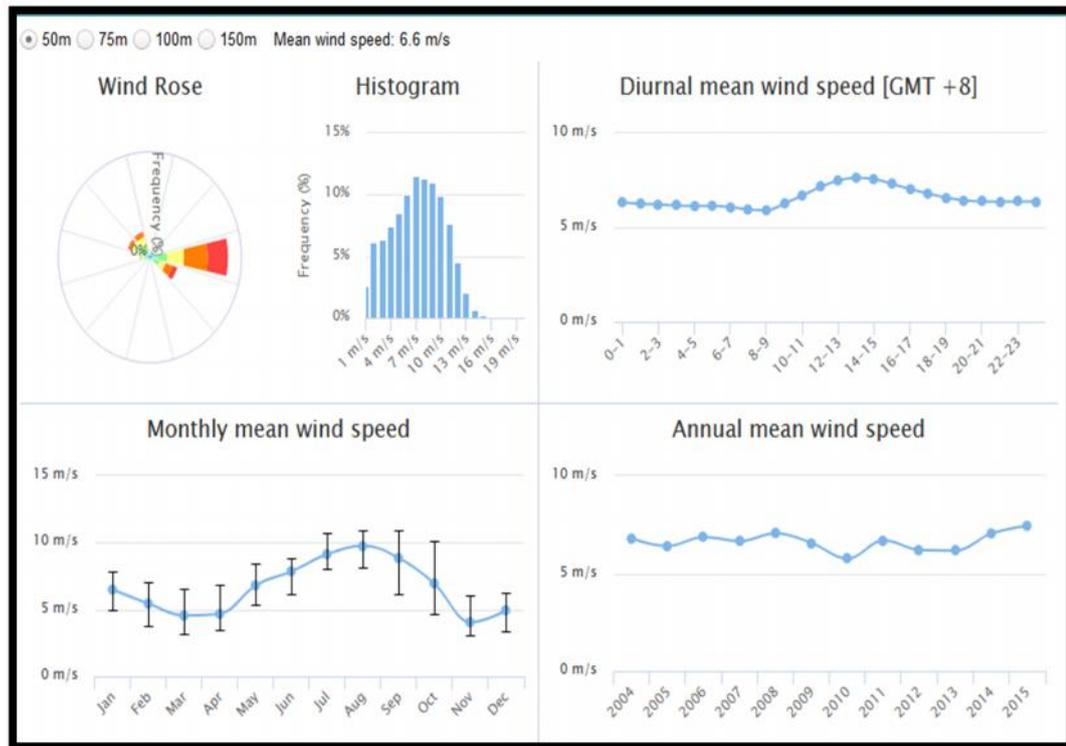
9-10	6.28 m/s
10-11	6.70 m/s
11-12	7.15 m/s
12-13	7.49 m/s
13-14	7.64 m/s
14-15	7.56 m/s
15-16	7.30 m/s
16-17	7.03 m/s
17-18	6.79 m/s
18-19	6.58 m/s
19-20	6.43 m/s
20-21	6.38 m/s
21-22	6.36 m/s
22-23	6.37 m/s
23-24	6.36 m/s

Oktober	6.91 m/s
November	4.05 m/s
Desember	4.49 m/s

2013	6.17 m/s
2014	7.05 m/s
2015	7.44 m/s

Sumber : P.T Energi Bayu Jeneponto

Data kecepatan angin dapat dilihat dari diagram 4.3 :



Gambar 4.3
Diagram kecepatan angin ketinggian 50 m
Sumber : P.T Energi Bayu Jeneponto

Berdasarkan tabel 4.1 kecepatan angin paling rendah dan paling tinggi dengan ketinggian 50 m diatas permukaan tanah yaitu :

a. Jam

Rendah (pukul 8 – 9 dengan kecepatan angin 5.91 m/s)

Tinggi (pukul 13 – 14 dengan kecepatan angin 7.64 m/s)

Rata- kecepatan angin Jam yaitu 6.56 m/s

b. Bulan

Rendah (Bulan November dengan kecepatan angin 4.49 m/s)

Tinggi (Bulan Agustus dengan kecepatan 9.76 m/s)

Rata- kecepatan angin perbulan yaitu 6.58 m/s

c. Tahun

Rendah (tahun 2010 dengan kecepatan angin 5.75 m/s)

Tinggi (tahun 2015 dengan kecepatan angin 7.44 m/s)

Rata- kecepatan angin pertahun yaitu 6.66 m/s

Rata-rata kecepatan angin dengan ketinggian 50 m yaitu 6.59 m/s

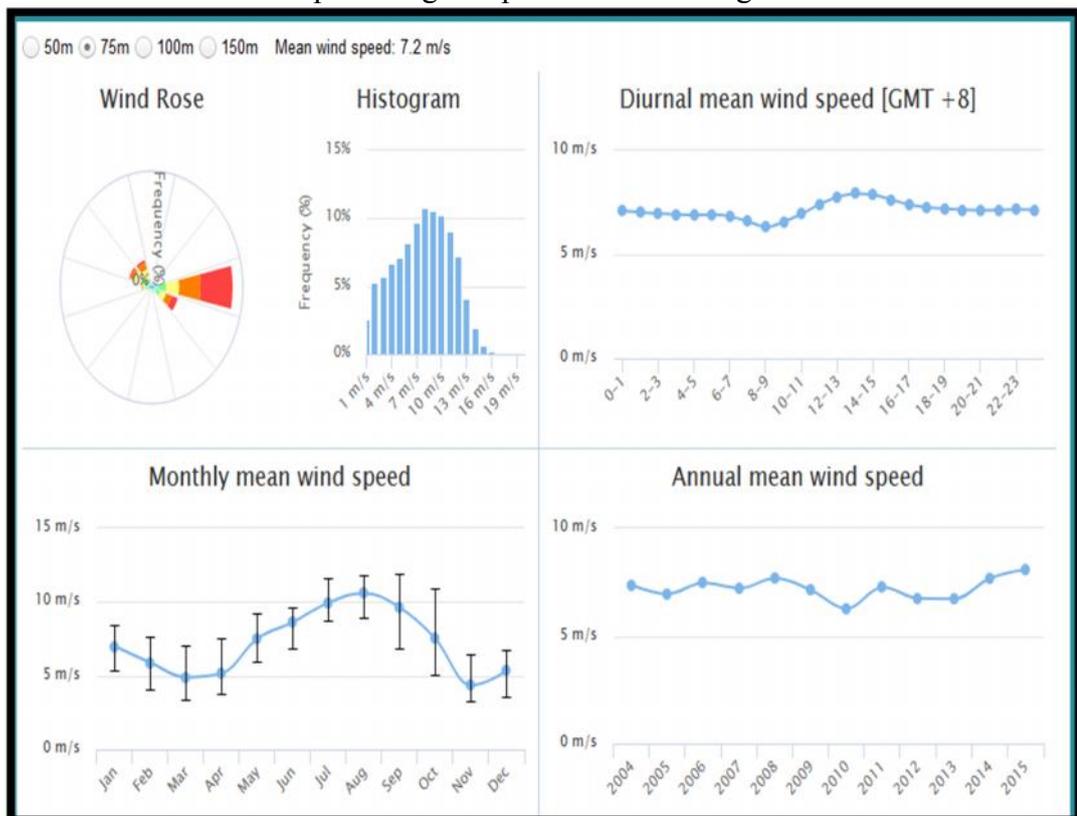
Tabel 4.2
Ketinggian 75 meter *mean wind speed* 7.2 m/s

Rata-Rata Perjam		Rata-Rata Perbulan		Rata-Rata Pertahun	
Pukul	Kecepatan angin	Bulan	Kecepatan angin	Tahun	Kecepatan angina
0-1	7.09 m/s	Januari	7.00 m/s	2004	7.37 m/s
1-2	7.03 m/s	Februari	5.88 m/s	2005	6.95 m/s
2-3	6.98 m/s	Maret	4.90 m/s	2006	7.46 m/s
3-4	6.93 m/s	April	5.15 m/s	2007	7.22 m/s
4-5	6.90 m/s	Mei	7.51 m/s	2008	7.67 m/s
5-6	6.91 m/s	Juni	8.63 m/s	2009	7.13 m/s
6-7	6.82 m/s	Juli	9.95 m/s	2010	6.27 m/s
7-8	6.58 m/s	Agustus	10.59 m/s	2011	7.27 m/s
8-9	6.32 m/s	September	9.61 m/s	2012	6.75 m/s
9-10	6.58 m/s	Oktober	7.51 m/s	2013	6.73 m/s
10-11	6.97 m/s	November	4.35 m/s	2014	7.67 m/s
11-12	7.42 m/s	Desember	5.32 m/s	2015	8.08 m/s
12-13	7.77 m/s				
13-14	7.93 m/s				

14-15	7.87 m/s
15-16	7.63 m/s
16-17	7.40 m/s
17-18	7.26 m/s
18-19	7.20 m/s
19-20	7.14 m/s
20-21	7.13 m/s
21-22	7.14 m/s
22-23	7.16 m/s
23-24	7.15 m/s

Sumber : P.T Energi Bayu Jeneponto

Data kecepatan angin dapat dilihat dari diagram di 4.4 :



Gambar 4.4

Diagram kecepatan angin ketinggian 75 m
Sumber : P.T Energi Bayu Jeneponto

Berdasarkan tabel 4.2 kecepatan angin paling rendah dan paling tinggi dengan ketinggian 75 m diatas permukaan tanah yaitu :

a. Jam

Rendah (pukul 8 – 9 dengan kecepatan angin 6.32 m/s)

Tinggi (pukul 13 – 14 dengan kecepatan angin 7.93 m/s)

Rata- kecepatan angin Jam yaitu 7.17 m/s

b. Bulan

Rendah (Bulan November dengan kecepatan angin 4.77 m/s)

Tinggi (Bulan Agustus dengan kecepatan 10.59 m/s)

Rata- kecepatan angin perbulan yaitu 7.20 m/s

c. Tahun

Rendah (tahun 2010 dengan kecepatan angin 6.27 m/s)

Tinggi (tahun 2015 dengan kecepatan angin 8.08 m/s)

Rata- kecepatan angin pertahun yaitu 7.24 m/s

Rata-rata kecepatan angin dengan ketinggian 75 m yaitu 7.18 m/s

Tabel 4.3
Ketinggian 100 meter *mean wind speed* 7.6 m/s

Rata-Rata Perjam		Rata-Rata Perbulan		Rata-Rata Pertahun	
Pukul	Kecepatan angin	Bulan	Kecepatan angin	Tahun	Kecepatan angina
0-1	7.63 m/s	Januari	7.36 m/s	2004	7.78 m/s
1-2	7.56 m/s	Februari	6.18 m/s	2005	7.34 m/s
2-3	7.51 m/s	Maret	5.14 m/s	2006	7.88 m/s
3-4	7.46 m/s	April	5.46 m/s	2007	7.62 m/s

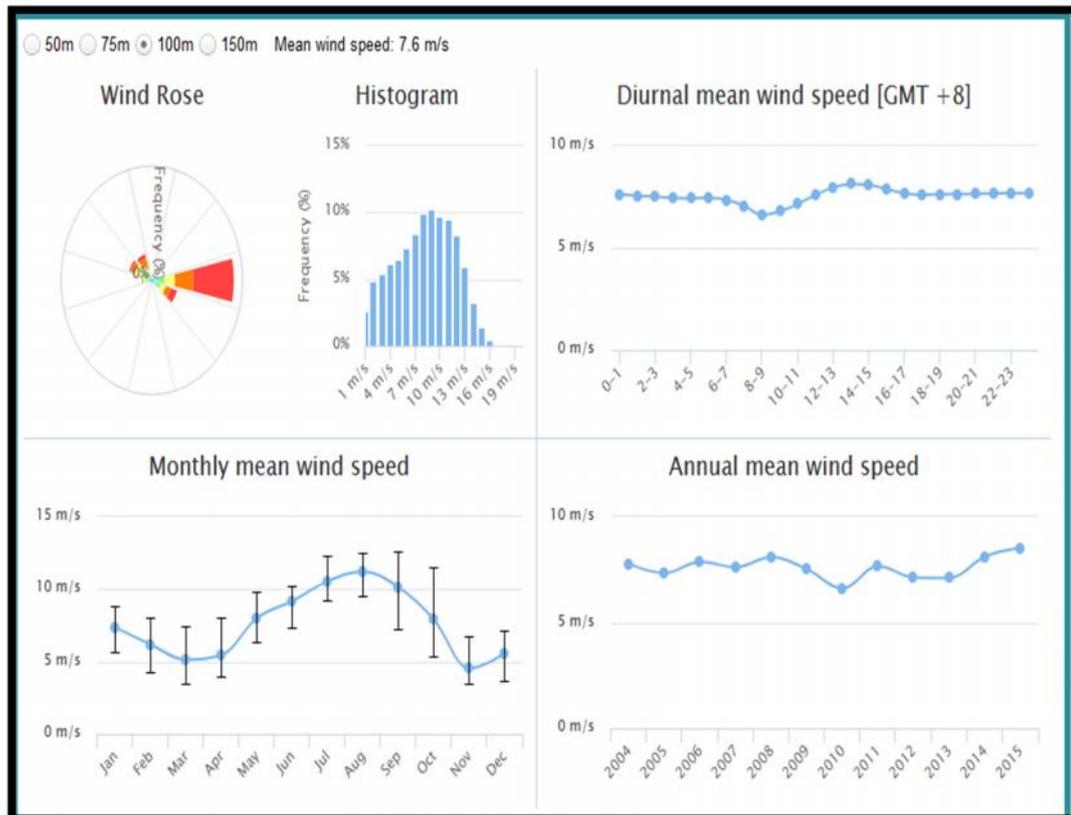
4-5	7.43 m/s
5-6	7.45 m/s
6-7	7.36 m/s
7-8	7.05 m/s
8-9	6.62 m/s
9-10	6.80 m/s
10-11	7.16 m/s
11-12	7.61 m/s
12-13	7.97 m/s
13-14	8.14 m/s
14-15	8.09 m/s
15-16	7.87 m/s
16-17	7.67 m/s
17-18	7.60 m/s
18-19	7.63 m/s
19-20	7.64 m/s
20-21	7.65 m/s
21-22	7.67 m/s
22-23	7.70 m/s
23-24	7.70 m/s

Mei	8.00 m/s
Juni	9.17 m/s
Juli	10.54 m/s
Agustus	11.19 m/s
September	10.15 m/s
Oktober	7.93 m/s
November	4.55 m/s
Desember	5.57 m/s

2008	8.10 m/s
2009	7.52 m/s
2010	6.63 m/s
2011	7.67 m/s
2012	7.13 m/s
2013	7.11 m/s
2014	8.11 m/s
2015	8.53 m/s

Sumber : P.T Energi Bayu Jeneponto

Data kecepatan angin dapat dilihat dari diagram 4.5 :



Gambar 4.5
Diagram kecepatan angin ketinggian 100 m
Sumber : P.T Energi Bayu Jeneponto

Berdasarkan tabel 4.3 kecepatan angin paling rendah dan paling tinggi dengan ketinggian 100 m diatas permukaan tanah yaitu :

a. Jam

Rendah (pukul 8 – 9 dengan kecepatan angin 6.62 m/s)

Tinggi (pukul 13 – 14 dengan kecepatan angin 8.14 m/s)

Rata- kecepatan angin Jam yaitu 7.54 m/s

b. Bulan

Rendah (Bulan November dengan kecepatan angin 4.55 m/s)

Tinggi (Bulan Agustus dengan kecepatan 11.19 m/s)

Rata- kecepatan angin perbulan yaitu 7.60 m/s

c. Tahun

Rendah (tahun 2010 dengan kecepatan angin 6.63 m/s)

Tinggi (tahun 2015 dengan kecepatan angin 8.53 m/s)

Rata- kecepatan angin pertahun yaitu 7.55 m/s

Rata-rata kecepatan angin dengan ketinggian 100 m yaitu 7.56 m/s

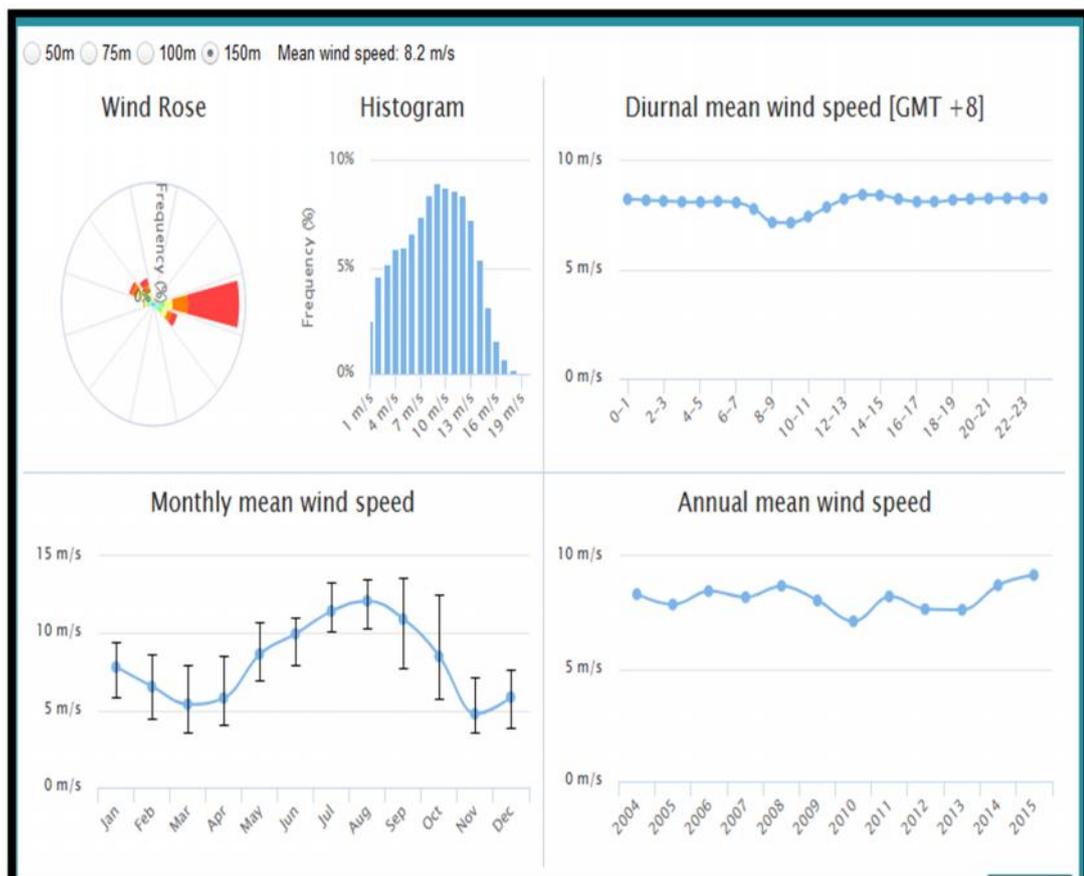
Tabel 4.4
Ketinggian 150 meter *mean wind speed* 8.2 m/s

Pukul	Kecepatan angin	Bulan	Kecepatan angin	Tahun	Kecepatan angin
0-1	8.25 m/s	Januari	7.81 m/s	2004	8.31 m/s
1-2	8.20 m/s	Februari	6.54 m/s	2005	7.85 m/s
2-3	8.16 m/s	Maret	5.40 m/s	2006	8.45 m/s
3-4	8.12 m/s	April	5.80 m/s	2007	8.18 m/s
4-5	8.12 m/s	Mei	8.65 m/s	2008	8.68 m/s
5-6	8.14 m/s	Juni	9.96 m/s	2009	8.03 m/s
6-7	8.10 m/s	Juli	11.44 m/s	2010	7.11 m/s
7-8	7.79 m/s	Agustus	12.10 m/s	2011	8.21 m/s
8-9	7.18 m/s	September	10.92 m/s	2012	7.65 m/s
9-10	7.17 m/s	Oktober	8.50 m/s	2013	7.62 m/s
10-11	7.45 m/s	November	4.77 m/s	2014	8.71 m/s
11-12	7.88 m/s	Desember	5.86 m/s	2015	9.16 m/s
12-13	8.26 m/s				
13-14	8.45 m/s				
14-15	8.43 m/s				
15-16	8.26 m/s				

16-17	8.13 m/s
17-18	8.14 m/s
18-19	8.21 m/s
19-20	8.26 m/s
20-21	8.28 m/s
21-22	8.29 m/s
22-23	8.30 m/s
23-24	8.28 m/s

Sumber : P.T Energi Bayu Jeneponto

Data kecepatan angin ketinggian 150 m dapat dilihat dari diagram 4.6 :



Gambar 4.6
Diagram kecepatan angin ketinggian 150 m
Sumber : P.T Energi Bayu Jeneponto

Berdasarkan tabel 4.4 kecepatan angin paling rendah dan paling tinggi dengan ketinggian 150 m diatas permukaan tanah yaitu :

a. Jam

Rendah (pukul 9 – 10 dengan kecepatan angin 7.7 m/s)

Tinggi (pukul 13 – 14 dengan kecepatan angin 8.45 m/s)

Rata- kecepatan angin Jam yaitu 8.01 m/s

b. Bulan

Rendah (Bulan November dengan kecepatan angin 4.77 m/s)

Tinggi (Bulan Juli dengan kecepatan 11.44 m/s)

Rata- kecepatan angin perbulan yaitu 8.15 m/s

c. Tahun

Rendah (tahun 2010 dengan kecepatan angin 7.11 m/s)

Tinggi (tahun 2015 dengan kecepatan angin 9.16 m/s)

Rata- kecepatan angin pertahun yaitu 8.16 m/s

Rata-rata kecepatan angin dengan ketinggian 150 m yaitu 8.16 m/s

3. Data perhitungan rata-rata kecepatan angin dengan ketinggian 150 m yaitu 8.16 m/s dengan kecepatan putaran nominal yaitu 12.2 rpm/menit

Data-data berikut merupakan data perhitungan yang didapat dari spesifikasi teknis turbin dan sumber lain terkait dengan proses konversi. Data tersebut sebagai berikut : (Perhitungan Pembangkit Listrik Tenaga Angin <https://www.scribd.com>)

- 1) Kecepatan nominal (V_i) = 12.2 rpm/menit

- 2) Luas sapuan *blade* (A) = 13300 m^2
- 3) Massa jenis udara = 1.2 kg/m^3
- 4) *Power coefecient* (efisiensi turbin) = 0.35
- 5) Efisiensi gearbox = 0.9
- 6) Efisiensi generator = 0.75

a. Perhitungan daya turbin angin

Perhitungan bertujuan untuk mengetahui daya mekanik turbin (P_{mt}) berupa putaran yang dapat dihasilkan oleh turbin.

$$P_m = \varphi t \frac{1}{2gc} \rho A v^3$$

$$P_m = 0.35 \frac{1}{2 \cdot 1.0} 1.2 \times 13300 \times 12.2^3$$

$$P_m = \frac{10143326.928}{2}$$

$$= 5071663.4640 \text{ W}$$

$$= 5071663.4640 \text{ W} = 5.1 \text{ MW}$$

b. Perhitungan daya mekanik pada gearbox

Perhitungan ini untuk mengetahui besarnya daya keluaran mekanik gearbox (P_g). Besarnya nilai daya yang di dapat dikonvensi tergantung dari efisiensi gearbox. Pada perhitungan ini efisiensi yang digunakan diasumsikan sebesar 0.9 sehingga besarnya daya mekanik pada keluaran gearbox dalah sebagi berikut :

$$P_g = \varphi_g \times P_{mt}$$

$$P_g = 0.9 \times 5.1 \text{ MW}$$

$$P_g = 4.59 \text{ MW}$$

c. Perhitungan daya listrik (pe)

Perhitungan daya listrik karena tidak dituliskan efisiensi generator pada data spesifikasi generator maka diasumsikan efisiensi generator sebesar 0.75. besarnya daya listrik tersebut adalah sebagai berikut :

$$P_e = \varphi_{gen} \times P_g$$

$$P_e = 0.75 \times 4.59 \text{ MW}$$

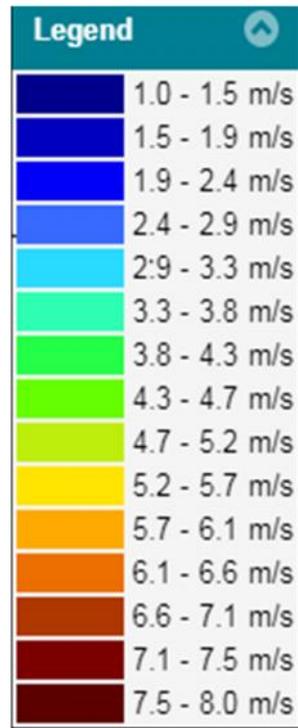
$$P_e = 3.4425 \text{ MW}$$

Apabila dihitung efisiensi turbin angin pada kecepatan angin nominal adalah sebagai berikut :

$$\varphi_{sistem} = 3.4425 \text{ MW} / 5.1 \text{ MW} \times 100\% = 0.675 \%$$

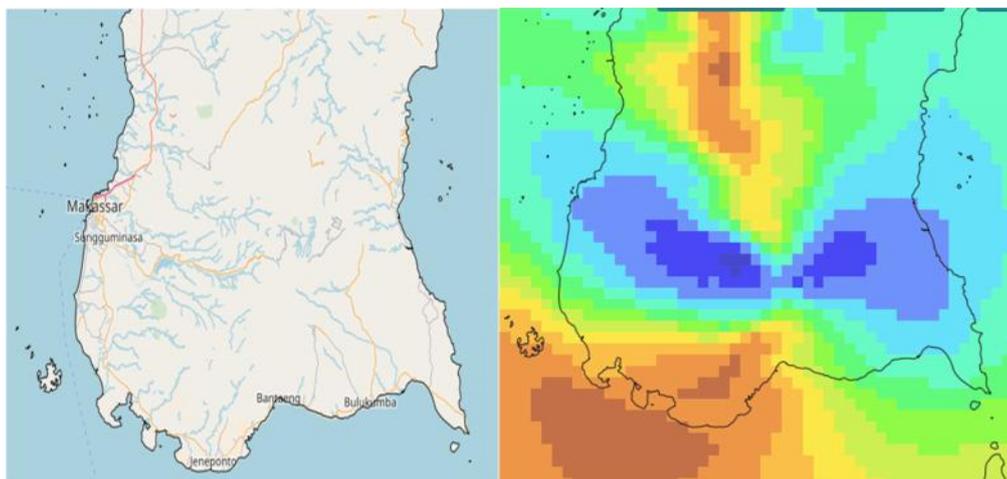
perhitungan daya dari rumus tersebut belum dapat dijadikan acuan dalam menetapkan kapasitas daya input turbin bagi generator, sebab belum mempertimbangkan rugi-rugi daya dan faktor lain.

Oleh karena itu diperlukan suatu faktor pengali yang biasa disebut sebagai faktor efisiensi. Seorang Ilmuwan Fisika dari Jerman bernama Albert Betz pada tahun 1919 menyatakan bahwa tidak ada turbin angin yang dapat mengkonversi energi kinetik angin menjadi energi mekanik (putaran) lebih dari 16/27 (59,3%). Dikalangan peneliti dan pengembang turbin angin hal ini dikenal sebagai Batas Betz (Betz Limits) dan membulatkan faktor tersebut menjadi 60% yang artinya tidak ada turbin angin yang dapat mengkonversi energi kinetik angin menjadi energi putaran lebih dari 60%.



Gambar 4.7

Warna tingkatan kecepatan angin

Sumber : P.T Energi Bayu Jeneponto/ www.windprospectinng.com

Gambar : 4.8

Peta dan kondisi angin kecamatan turatea kabupaten jeneponto

Sumber : www.windprospectinng.com

B. Pembahasan

Kecamatan Turataea merupakan satu dari 11 Kecamatan di Kabupaten Jeneponto dengan luas wilayah 53.76 km². Dan mempunyai potensi angin cukup besar. Sehingga didirikan pembangkit energi listrik tenaga bayu/angin yang merupakan energi terbarukan.

Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di Kecamatan Turatea Kabupaten Jeneponto, Sulawesi Selatan, telah mencapai sekitar 65%. Saat ini, PLTB ini akan dipasang 20 turbin angin dengan masing-masing kapasitas 3,6 megawatt (MW), sehingga total kapasitas pembangkit mencapai 72 MW. dengan 60 baling-baling dengan jenis *sovanius (three blade) upwind* memiliki rotor yang menghadap arah datangnya angin dengan panjang 63 m dan tinggi tower 135 m. Jenis turbin yang dipasang di PLTB ini model SWT-3.6-130. Pada kecepatan angin 3-5 m/s, turbin angin mulai bekerja. Diameter rotor Siemens SWT-3.6-130 adalah 130,0 m. Area rotor berjumlah 13.300,0 m². Turbin angin dilengkapi dengan 3 bilah rotor. Kecepatan rotor maksimum adalah 12.2 rpm/menit. Siemens SWT-3.6-130 dilengkapi dengan gearbox penggerak langsung. Pada generator, Siemens Wind Power A / S set untuk tetap sinkron. Tegangan berjumlah 690,0 V. Pada frekuensi utama, SWT-3.6-130 berada pada 50 Hz. dan 2 unit transformator dipasang dengan kapasitas masing-masing 45 MVA. pembangkit berbasis angin tersebut akan terkoneksi dengan jaringan transmisi sebesar 150 kV melalui Gardu Induk Jeneponto.

Berdasarkan tabel 4.4 dengan ketinggian 150 m dengan kecepatan angin rata-rata 8.2 m/s dan kecepatan putaran 12 rpm/menit. Daya turbin angin sebesar 5.1 MW, daya mekanik pada gearbox 4.59 MW, daya listrik sebesar 3.4425 MW dan efisiensi pada turbin yaitu 0.675 %. Dengan jumlah 20 turbin maka daya turbin angin yang dapat di hasilkan yaitu sebesar $20 \times 3.4425 = 68.850$ MW.

BAB V

PENUTUP

C. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin (PLTB) di Kecamatan Turatea Kabupaten Jeneponto merupakan salah satu daerah yang mempunyai potensi angin sangat besar sehingga didirikan PLTB di daerah tersebut dengan kapasitas 72 MW. PLTB ini akan dipasang 20 turbin angin dengan masing-masing kapasitas 3,6 megawatt (MW), sehingga total kapasitas pembangkit mencapai 72 MW. dengan 60 baling-baling dengan jenis *sovanius (three blade) upwind* memiliki rotor yang menghadap arah datangnya angin dengan panjang 63 m dan tinggi tower 135 m. Kecepatan maksimum generator adalah 12,2 rpm/menit. Tegangan berjumlah 690,0 V. Pada frekuensi utama, SWT-3.6-130 berada pada 50 Hz. Dengan rata-rata kecepatan angin sebesar 8.2 m/s di ketinggian 150 m dengan kecepatan putaran 12.2 rpm/menit.

Berdasarkan tabel 4.4 dengan ketinggian 150 m dengan kecepatan angin rata-rata 8.2 m/s dan kecepatan putaran 12.2 rpm/menit. Daya turbin angin sebesar 5.1 MW, daya mekanik pada gearbox 4.59 MW, daya listrik sebesar 3.4425 MW dan efisiensi pada turbin yaitu 0.675 %. Dengan jumlah 20 turbin maka daya turbin angin yang dapat di hasilkan yaitu sebesar $20 \times 3.4425 = 68.850$ MW.

D. Saran

Berdasarkan hasil penelitian pada proyek pembangunan PLTB di Kecamatan Turatea Kabupaten Jeneponto disadari bahwa daerah ini mempunyai potensi energi angin yang sangat tinggi.

1. Untuk daerah Jeneponto terkhususnya kecamatan Turatea manfaatkan potensi energi angin dengan penambahan pembangkit energi listrik tenaga angin.
2. Bagi peneliti selanjutnya penelitian ini di harapkan dapat di jadikan sebagai bahan referensi atau kajian pustaka dan pengembangan penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan PLTB.
3. Kepada mahasiswa yang akan melakukan penelitian sebaiknya memahami terlebih dahulu pokok permasalahan yang akan diteliti, sehingga dalam melaksanakan penelitian tidak mengalami kesulitan dan kendala dalam mengola data.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Kadir. 1995. *Energi, Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik, Dan Potensi Ekonemi*. Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press)
-1996. *Pembangkit Tenaga Listrik*. Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press)
-2000. *Distribusi Dan Utilisasi Tenaga Listrik*. Jakarta. Universitas Indonesia (UI-Press)
- Artono Arismundar Dan Susumu Kuwahara. 2004. *Teknik Tenaga Listrik*. Jakarta. PT Pradnya Paramita
- Cara Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Angin. <http://lugiromadoni.blogspot.com>. Diakses 14 Juni 2017
- Djiteng Marsudi. 2005. *Pembangkit Energi Listrik*. Yogyakarta: Erlangga.2006. *Operasi Ssitem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Grahan Ilmu
- Dr. Suyitno M. 2011. *Pembangkit Energi Listrik*. Jakarta: PT RINEKA CIPTA
- Makmu Dan Srilestari Rahayu. 2007. *Permasalahan Bidang Ketenangalistrikan Di Indonesia Sekarang Dan Masa Depan*. Bandung. Fokusmedia
- Njoman Kertiasa. 1979. *Zat Dan Energi 2*. Jakarta. Depertemen Pendidikan Dan Kebudayaan
- Prof. Ir. Abdul Kadir. 1980. *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*. Jakarta. LP3ES
- Pembangkit energi listrik *electrical power engineering*. <http://www.collegetextbookprice.com>. Diakses 14 juni 2017
- Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/angin (PLTB). <http://www.jendeladengabei.com> Diakses 14 Juni 2017
- Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/angin (PLTB). <http://www.energi angin PLTB.com> Diakses 14 Februari 2018
- Pembangkit Listrik. Wikipedia Bahasa Indonesia, Ensiklopedia Bebas, https://id.wikipedia.org/wiki/Pembangkit_listrik, Diakses 29 Mei 2017
- Perhitungan Pembangkit Listrik Tenaga Angin <https://www.scribd.com>, Diakses 03 Juni 2018