

TUGAS AKHIR

PENGUJIAN TEGANGAN DAN ARUS KELUARAN GENERATOR TERHADAP KECEPATAN ANGIN

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

Disusun Oleh:

IMAM RIZKI WAHYUDI
1507220074



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2019**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:


Nama : Imam Rizki Wahyudi
NPM : 1507220074
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Pengujian Tegangan dan Arus Keluaran Generator Terhadap Kecepatan Angin

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, 21 Maret 2019

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



Partaoman Harahap, S.T., M.T

Dosen Pembimbing II / Peguji




Faisal Irsan P, S.T., M.T

Dosen Pembanding I / Penguji



Ir Abdul Azis, M.M

Dosen Pembanding II / Penguji



Ir Muliadi

Program Studi Teknik Elektro

Ketua,



Faisal Irsan P, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Imam Rizki Wahyudi
Tempat /Tanggal Lahir : Belawan 07-November-1996
NPM : 1507220074
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

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

“PENGUJIAN TEGANGAN DAN ARUS KELUARAN GENERATOR TERHADAP KECEPATAN ANGIN”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

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

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

Medan, Maret 2019

Saya yang menyatakan,

Imam Rizki Wahyudi

ABSTRAK

Krisis energy saat ini sekali lagi mengajarkan kepada kita bangsa Indonesia bahwa usaha serius dan sistematis untuk mengembangkan dan menerapkan sumber energy terbarukan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil perlu segera dilakukan.

Kami telah membuat prototype pembangkit listrik tenaga angin dengan menggunakan turbin angin vertical sebagai penggerak generator, pembangkit listrik ini memanfaatkan kecepatan angin sebagai penggerak nya. Listrik yang di hasilkan berupa tegangan DC 0 volt sampai dengan 5,2 volt output dari generator diolah dengan menggunakan Inverter, inverter digunakan untuk merubah arus DC menjadi arus AC.

Tujuan dan manfaat dari peneliti ini adalah membuat generator pembangkit listrik tenaga angin yang mampu menghasilkan arus listrik $\pm 5,2$ ampere, dan mengharapkan pembangkit listrik tenaga angin dapat dipakai sebagai alternatif dari pembangkit listrik yang sudah ada seperti pembangkit listrik tenaga air, tenaga diesel(minyak solar) dan ramah lingkungan (tidak menimbulkan polusi udara).

Kata Kunci : Kecepatan Angin, Energy Alternatif, Angin Turbin Generator DC.

ABSTRACT

The current energy crisis once again teaches us the Indonesian people that serious and systematic efforts to develop and implement renewable energy sources to reduce dependence on fossil fuels need to be done immediately.

We have made a prototype of a wind power plant using a vertical wind turbine as a generator, this power plant utilizes the wind speed as its driver. Electricity generated in the form of 0 volt DC voltage up to 5.2 volts output from the generator is processed using an inverter, the inverter is used to convert the DC current into AC current.

The aim and benefit of this researcher is to make wind power generators capable of producing ± 5.2 amperes of electric current, and expect wind power plants to be used as an alternative to existing power plants such as hydroelectric power plants, diesel power (oil solar) and environmentally friendly (does not cause air pollution).

Keyword : Wind Speed, Alternative Energy, Wind DC Turbine Generator.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “PENGUJIAN TEGANGAN DAN ARUS KELUARAN GENERATOR TERHADAP KECEPATAN ANGIN” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

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

1. Bapak Partaonan Harahap, ST, MT selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ir.Muliadi, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Partaonan Harahap, ST, MT, yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Wakil Ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, ST, MT selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu kelistrikan kepada penulis.

7. Orang tua penulis: Suryadi dan Haryanti, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Sahabat-sahabat penulis: Irwansyah, Dedi Setiawan, Purnomo, Muhammad Murdani dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia Elektro teknik elektro/Mesin/Sipil.

Medan, Maret 2019

Imam Rizki Wahyudi

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	5
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Angin	7
2.3 Komponen Utama PLTA	7
2.3.1 Turbin Angin	8
2.3.2 Baling-Baling	10
2.3.3 Battery (AKI)	10
2.3.4 Inverter	10
2.3.5 Pitch	10
2.3.6 Rotor	10
2.3.7 Wind Direction	11
2.3.8 Low Speed Shaft	11
2.3.9 Break	11
2.3.10 Gear Box	11
2.3.11 Yaw Drive	11
2.3.12 Controller	11
2.3.13 Yaw Motor	11
2.3.14 Tower	12
2.3.15 High Speed Shaft	12
2.3.16 Anemometer	12
2.3.17 Nacelle	12
2.3.18 Wind Vane	12

2.4	Energi Angin	12
2.4.1	Energi Kinetik Angin Sebagai Fungsi dari Kecepatan angin	12
2.4.2	Jenis-Jenis Angin	12
2.4.3	Angin Laut dan Angin Darat	13
2.4.4	Angin Lembah	13
2.4.5	Angin Musim	14
2.5.6	Angin Permukaan	14
2.5.7	Angin Topan	15
2.5	Kecepatan Angin Berdasarkan Fungsi dari Ketinggiannya dari Permukaan Tanah	15
2.5.1	Potensi Energi Angin	17
2.5.2	Potensi Energi Angin di Indonesia	17
2.6	Karakteristik Kerja Turbin Angin	18
2.7	Sistem Kelistrikan PLTA (angin)	19
2.7.1	Arus Listrik	22
2.8	Kelebihan dan Kekurangan PLTA	23
2.9	Perkembangan PLTA di Indonesia dan Dunia	25
2.10	Generator DC	26
2.10.1	Prinsip Kerja Generator DC	28
2.11	Karakteristik Generator Arus Searah (DC)	30
2.13	Jenis-Jenis Generator DC	34
2.13.1	Generator Penguat Terpisah	35
2.13.2	Karakteristik Generator Penguat Terpisah	35
2.14	Generator Shunt	36
2.14.1	Karakteristik Generator Shunt	36
2.15	Generator Kompon	36
2.15.1	Karakteristik Generator DC	37
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	39
3.2	Peralatan dan Bahan	39
3.2.1	Peralatan	39
3.2.2	Bahan Penelitian	40
3.3	Metodologi Penelitian	40
3.3.1	Studi Literatur	40
3.4	Diagram Penelitian	41
3.5	Diagram Alur Penelitian	42
BAB 4	HASIL DAN ANALISA PENELITIAN	
4.1	Hasil Penelitian	44
4.2	Pengujian Pengukuran Arus dan Tegangan Pada turbi angin	45

4.3	Frekuensi Yang di Hasilkan Oleh Generator	46
4.4	Pengujian ke Beban Listrik	47
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1	Kesimpulan	49
5.2	Saran	50
	DAFTAR PUSTAKA	51
	LEMBAR ASISTENSI	52

DAFTAR TABEL

TABEL		HALAMAN
2.1	Tabel Nilai (N) Berdasarkan Jenis Permukaan Tanah	16
2.2	Tabel Sebaran Potensi Energi Angin	17
4.3	Data Hasil Pengujian Turbin Angin	45
4.4	Tabel Pengujian ke Beban Listrik	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
2.1	Bagian komponen penting turbin PLTA	7
2.2	Turbin Angin Sumbu Horizontal	9
2.3	Turbin Angin Sumbu Vertikal	10
2.4	Pola Sirkulasi Udara Akibat Rotasi Bumi	13
2.5	Arah Angin Permukaan dan Pusat Tekanan Atmosfer Rata-Rata	15
2.6	Kecepatan Angin Berdasarkan Ketinggiannya dari Tanah	16
2.7	Peta Persebaran Kecepatan Angin di Indonesia	18
2.8	Karakteristik Kerja Turbin Angin	18
2.9	Penentuan kecepatan Angin Rata-Rata Suatu Daerah	19
2.10	Sistem PLTA Kecepatan Konstan (<i>fixed-speed</i>)	20
2.11	Sistem PLTA Kecepatan Berubah (<i>variable speed</i>)	20
2.12	Sistem PLTA Kecepatan Berubah (<i>variable speed back to back</i>)	21
2.13	Sistem PLTA Kecepatan Berubah (<i>variable speed</i>) rotor sangkar	21
2.14	Sistem PLTA Kecepatan Berubah (<i>variable speed</i>)	21
2.15	Arah Arus Listrik dan Arah Gerakan Elektron	22
2.16	Gambar Generator DC	27
2.17	Gambar Syarat Untuk di Bangkitkan GGL	28
2.18	Generator di Hubungkan ke Beban	31
2.19	Gambar Generator Searah Seri	31
2.20	Gambar Generator DC Arus Searah	32
2.21	Gambar Generator Kompon Panjang	33
2.22	Gambar Generator Kompon Pendek	33

2.23	Gambar Generator Penguat Terpisah	34
2.24	Gambar Karakteristik Generator Penguat Terpisah	35
2.25	Gambar Rangkaian Generator Shunt	36
2.26	Gambar Karakteristik Generator Shunt	36
2.28	Gambar Rangkaian Generator Kompon	37
2.29	Gambar Karakteristik Generator Kompon	37

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Krisis penyediaan listrik di beberapa daerah mengakibatkan efek tidak menguntungkan bagi pertumbuhan ekonomi masyarakat menyebabkan permintaan akan tenaga listrik meningkat pula. Untuk mengatasi hal tersebut, pemerintah berupaya membuat pembangkit listrik alternatif memanfaatkan sumber daya yang bisa di perbaharui seperti angin, cahaya matahari dan lain-lain.

Angin merupakan energi yang dapat di perbaharui karena ketersediaannya tidak terbatas di alam. Tidak seperti batu bara dan minyak bumi yang ketersediaannya terbatas. Angin pada dasarnya di bandingkan menggunakan kincir angin. Cara ini telah di kenal sejak beberapa abad yang lalu di belanda yang di kenal sebagai kincir angin. Pembangkit listrik yang menggunakan energi yang tidak terbarukan seperti minyak bumi atau batu bara banyak di gunakan berbagai belahan negara untuk memproduksi listrik dalam skala besar. Namun karena merupakan energi yang tak terbarukan maka seiring berjalannya waktu sumber tersebut akan berkurang dan pada waktunya telah habis.

Peneliti sebelumnya telah membuat *prototype* pembangkit listrik tenaga angin dengan menggunakan turbin ventilator sebagai penggerak generator. Pembangkit listrik ini memanfaatkan kecepatan angin sebagai penggerakannya. Listrik yang di hasilkan merupakan tegangan DC antara 0 volt sampai dengan 7,46 volt. Output dari generator di olah dengan menggunakan modul MT 3608. Modul MT 3608 di gunakan untuk menstabilkan dan menaikkan tegangan dengan yang di pasang di input dan output dari rangkaian charging. Untuk pengujian alat, kecepatan angin yang di pakai dari kecepatan angin 0 m/s sampai dengan 6 m/s. Keluaran maksimal alat ini dengan kecepatan angin 6 m/s adalah 7,46 volt (Made Padmika 2017).

Dari hasil yang diperoleh dan pembahasan yang sudah di sampaikan, telah di buat *prototype* pembangkit listrik tenaga angin dengan turbin ventilator sebagai penggerak generator yang mampu berputar dengan kecepatan angin minimal 2

m/s. Listrik yang di hasilkan dengan kecepatan angin 6 m/s adalah 7,46 volt. Semakin cepat kecepatan angin akan mengakibatkan tegangan maupun arus listrik yang di hasilkan semakin besar.

Dari penelitian-penelitian sebelumnya maka peneliti dapat menguji output keluaran alternator terhadap kecepatan angin. Sehingga penulis mengambil judul tugas akhir yaitu **PENGUJIAN TEGANGAN DAN ARUS KELUARAN GENERATOR TERHADAP KECEPATAN ANGIN**. Yang nanti nya akan di gunakan sebagai media pembelajaran tentang pembangkit listrik tenaga angin dengan mengujikan tegangan dan arus keluaran alternator terhadap kecepatan angin.

1.2. Rumusan Masalah

Masalah yang akan di bahas dalam penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana mengetahui pengaruh kecepatan angin terhadap tegangan dan arus Generator
2. Bagaimana frekuensi gelombang yang di hasilkan Generator
3. Bagaimana cara mengetahui pembagian ke beban listrik

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini meliputi sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui tegangan dan arus keluaran Generator
2. Untuk mengetahui gelombang yang di hasilkan generator
3. Untuk mengetahui proses pembagian ke beban listrik

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari pada tugas akhir ini adalah untuk :

1. Pembahasan hanya menguji tegangan dan arus keluaran generator
2. Pembahasan hanya menguji gelombang yang di hasilkan oleh generator
3. Pembahasan hanya menguji pembagian ke beban listrik

1.5. Manfaat Penulisan

Adapun manfaat penelitian bagi mahasiswa dan masyarakat :

1. Dapat mengetahui potensi energi angin melalui proses keluaran generator
2. Dapat mengetahui seberapa besar energi yang tersimpan di akumulator
3. Bagi mahasiswa seluruh tahap penelitian yang di peroleh dapat memperluas wawasan dan sekaligus memperoleh pengetahuan mengenai pemanfaatan turbin angin sebagai penggerak mula generator
4. Bagi masyarakat memberikan informasi sehingga dapat di jadikan sebagai masukan referensi untuk pembangkit listrik tenaga angin dan di manfaatkan untuk kepentingan masyarakat indonesia.

1.6. Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah pembahasan dan pemahaman, maka sistematika penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang penyusunan Tugas Akhir, latar belakang, rumusan masalah, dan batasan masalah, manfaat penulisan, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan konsep teori yang menunjang kasus Tugas Akhir, memuat tentang dasar teori yang digunakan dan menjadi ilmu penunjang bagi peneliti, berkenaan dengan masalah yang akan diteliti yaitu komponen-komponen utama PLTA (Angin).

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini akan menerangkan mengenai alat-alat, bahan dan lokasi di laksanakan pembuatan, pengujian alat, jadwal pengujian, serta jalannya alat.

BAB IV ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai analisa data.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat tentang kesimpulan dari seluruh hasil pengujian tegangan dan arus keluaran alternator terhadap kecepatan angin dan juga saran-saran yang berhubungan dengan tugas akhir.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Krisis energi saat ini sekali lagi mengajarkan kepada kita, bangsa Indonesia bahwa usaha serius dan sistematis untuk mengembangkan dan menerapkan sumber energi terbarukan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil perlu segera dilakukan. Penggunaan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan, terutama yang dapat mengurangi berbagai dampak buruk yang ditimbulkan akibat penggunaan BBM. Desakan untuk meninggalkan minyak bumi sebagai sumber pengadaan energi nasional saat ini terus digulirkan oleh berbagai pihak, termasuk dari pemerintah sendiri. Langkah tersebut diperlukan agar Indonesia keluar dari krisis energi yang berkelanjutan (Ibrahim Nawawi 2017).

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh seperangkat pembangkit listrik tenaga angin dengan kincir tipe horizontal dengan memanfaatkan ketinggian gedung, mengetahui adanya keterkaitan atau hubungan antara kecepatan angin dengan daya output pada pembangkit listrik tenaga angin, dan merancang suatu sistem pembangkit listrik tenaga angin skala kecil yang mampu menghasilkan daya 50-100 watt.

Pemanfaatan peralatan sisa pakai dalam mengurangi limbah sangat penting. Alternator merupakan salah satu komponen pada kendaraan yang dapat dilakukan peningkatan pemanfaatannya. Modifikasi alternator pada kendaraan dapat dilakukan modifikasi untuk pembangkit listrik tenaga angin. Penelitian yang dilakukan adalah dengan membandingkan tegangan keluaran alternator sebelum modifikasi dengan keluaran alternator setelah dimodifikasi. Modifikasi alternator dilakukan dengan metode variasi beban. Berdasarkan Hasil pengukuran alternator sebelum dan sesudah modifikasi memperlihatkan hasil yang berbanding lurus terhadap hasil keluaran (Sudirman Lubis 2018).

Pada penelitian selanjutnya tentang perancang pembangkit listrik kincir angin menggunakan generator dinamo drillini terhadap empat sumbu horizontal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui cara kerja pembangkit listrik tenaga

kincir angin sehingga dapat menghasilkan listrik. Metode yang digunakan antara lain studi literatur yaitu mencari buku, modul yang berkaitan dengan judul penelitian, pengumpulan alat dan bahan, perancangan, pengujian alat dan pengambilan data. Dari hasil pengujian satu kincir angin mampu menghasilkan tegangan 0,76 volt dengan kecepatan angin high, maka kami berinisiatif menambah kincir menjadi empat yang dihubungkan secara seri yang bertujuan menambah tegangan yang dicapai. Dari hasil pengukuran menggunakan empat kincir mendapat hasil tegangan sebesar 2,46 volt dengan kecepatan angin high. Adriani (2018)

Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. Walaupun sampai saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (Contoh: PLTD, PLTU, dll), turbin angin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbaharui (Contoh: batubara, minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik. Perhitungan daya yang dapat dihasilkan oleh sebuah turbin angin dengan diameter kipas r adalah :

$$P = \frac{1}{2} \rho \pi r^2 v^3$$
 Dimana P adalah kerapatan angin pada waktu tertentu dan V adalah kecepatan angin pada waktu tertentu.

Umumnya daya efektif yang dapat dipanen oleh sebuah turbin angin hanya sebesar 20%-30%. Jadi rumus di atas dapat dikalikan dengan 0,2-0,5 untuk mendapatkan hasil yang cukup eksak. Prinsip dasar kerja dari turbin angin adalah mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada kincir, lalu putaran kincir digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik.

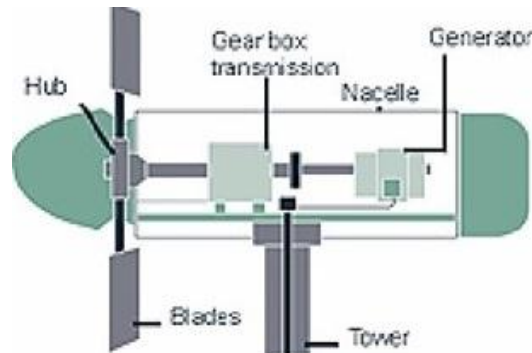
Sebenarnya prosesnya tidak semudah itu, karena terdapat berbagai macam sub-sistem yang dapat meningkatkan safety dan efisiensi dari turbin angin, yaitu :

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA)

Pembangkit listrik tenaga angin adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit ini dapat mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Sistem pembangkitan listrik menggunakan angin sebagai sumber energi merupakan sistem alternatif yang sangat berkembang pesat, mengingat angin merupakan salah satu energi yang tidak terbatas di alam.

2.3 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA)

Sistem pembangkit listrik tenaga angin (PLTA) umumnya terdapat mesin pembangkit listrik yang mempunyai bagian penting seperti gambar di bawah ini, diantaranya turbin angin dengan bagian-bagian komponen utama baling-baling kipas (*blades*), penghubung baling-baling kipas dengan poros mesin (*hub*), transmisi pemercepat putaran poros (*gearbox*), suatu pengarah penyimpangan untuk memutar menara (*Nacelle*), mesin pembangkit listrik (*generator*), dan menara (*tower*).



Gambar 2.1 Bagian Komponen Penting Turbin PLTB

- | | |
|--------------------|--------------------|
| 1. Turbin angin | 7. Wind Direction |
| 2. Baling-Baling | 8. Low Speed Shaft |
| 3. Battery (Aki) | 9. Break |
| 4. Inverter | 10. Gear Box |
| 5. Pitch | 11. Yaw Drive |
| 6. Rotor | 12. Controller |

- | | |
|----------------------|----------------|
| 13. Yaw motor | 16. Anemometer |
| 14. Tower | 17. Nacelle |
| 15. High Speed Shaft | 18. Wind Vane |

2.3.1. Turbin Angin

a. Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

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

Karena turbulensi menyebabkan kerusakan struktur menara, dan realibilitas begitu penting, sebagian besar TASH merupakan mesin upwind (melawan arah angin). Meski memiliki permasalahan turbulensi, mesin downwind (menurut jurusan angin) dibuat karena tidak memerlukan mekanisme tambahan agar mereka tetap sejalan dengan angin, dan karena di saat angin berhembus sangat kencang, bilah-bilahnya bisa ditekuk sehingga mengurangi wilayah tiupan mereka dan dengan demikian juga mengurangi resintensi angin dari bilah-bilah itu.



Gambar 2.2 Turbin Angin Sumbu Horizontal

b. Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin sumbu vertikal/tegak (atau 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. VAWT mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah. Dengan sumbu yang vertikal, generator serta gearbox bisa ditempatkan di dekat 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. Karena sulit dipasang di atas menara, turbin sumbu tegak sering dipasang lebih dekat ke dasar tempat ia diletakkan, seperti tanah atau puncak atap sebuah bangunan. Kecepatan angin lebih pelan pada ketinggian yang rendah, sehingga yang tersedia adalah energi angin yang sedikit. 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 dipasangi menara turbin kira-kira 50% dari tinggi bangunan, ini merupakan titik optimal bagi energi angin yang maksimal dan turbulensi angin yang minimal.



Gambar 2.3 Turbin Angin Sumbu Vertikal

2.3.2. Baling-Baling

Mengubah hembusan angin menjadi energi kinetik. Untuk memutar generator listrik. Semakin panjang baling-baling akan semakin luas area yang di sapu, akan semakin banyak menerima terpaan angin sehingga akan semakin besar energi putaran (mekanik) yang di hasilkan untuk memutar generator.

2.3.3. Battery (Aki)

Bagian ini akan menyimpan arus listrik yang di hasilkan oleh generator listrik agar bisa di gunakan setiap saat. Jenis aki sebaiknya jenis *Deep Cycle Battery*

2.3.4. Inverter

Bagian ini merupakan alat yang mengubah tegangan listrik DC 12V dari aki menjadi tegangan listrik AC 220V / 110V untuk peralatan rumah tangga yang bekerja pada tegangan 220V / 110V.

2.3.5. Pitch

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

2.3.6. Rotor

Pisau dan terhubung bersama-sama di sebut rotor

2.3.7. Wind Direction

Ini adalah turbin pertama yang di sebut karena beroperasi melawan angin. Turbin lainnya di rancang hanya untuk menjalankan melawan arah angin, menghadap jauh dari angin.

2.3.8. Low Speed Shaft

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

2.3.9. Break

Digunakan untuk menjaga putaran pada poros setelah gearbox agar bekerja pada titik aman saat terdapat angin yang besar. Alat ini perlu di pasang karena generator memiliki titik kerja aman dalam pengoperasiannya.

2.3.10. Gear Box

Menghubungkan poros kecepatan tinggi di poros kecepatan rendah dan meningkatkan kecepatan sekitar 30-60 rotasi per menit (rpm), sekitar 1000-1800 rpm, kecepatan rotasi yang di perlukan oleh sebagian besar generator untuk menghasilkan listrik. Gear box adalah bagian mahal dan berat dari turbin angin dan insinyur generator mengeksplorasi *direct-drive* yang beroperasi pada kecepatan rotasi yang lebih rendah dan tidak perlu kotak gigi.

2.3.11. Yaw Drive

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

2.3.12. Controller

Pengontrollan mesin mulai dari 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.

2.3.13. Yaw Motor

Kekuatan dari drive Yaw. Penyimpanan energi battery karena keterbatasan kesediaan akan energi angin (tidak sepanjang hari angin akan tersedia) maka ketersediaan listrik pun tidak menentu. Oleh karena itu, di gunakan alat penyimpanan energi yang berfungsi sebagai back-up energi listrik. Ketika beban listrik meningkat maka permintaan daya listrik akan terpenuhi.

2.3.14. Tower

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

2.3.15. High-Speed Shaft

Drive generator

2.3.16. Anemometer

Mengukur kecepatan angin dan mengirimkan data kecepatan angin ke pengontrol.

2.3.17. Nacelle

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

2.3.18. Wind Vane

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

2.4. Energi Angin

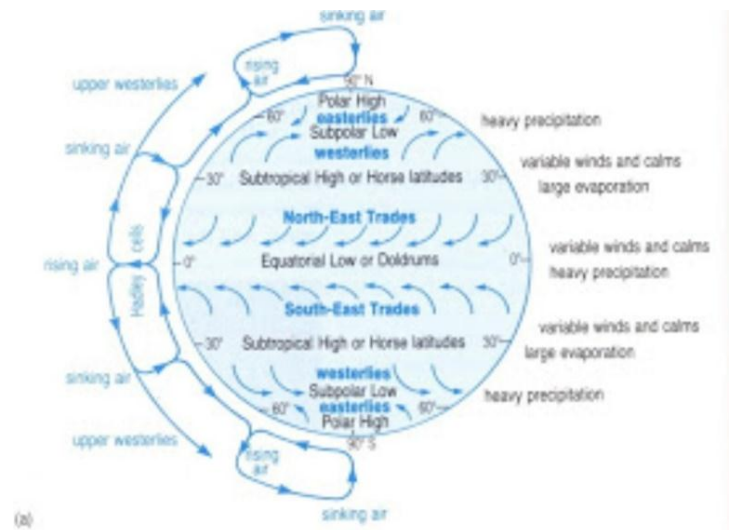
2.4.1. Energi Kinetik Angin Sebagai Fungsi dari Kecepatan angin

Energi kinetik angin yang dapat masuk ke dalam area efektif turbin angin dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.1 berikut :

$$p = \frac{mv^2}{2} = \frac{(pAv)v^2}{2} = \frac{pAv^3}{2} \dots\dots\dots(2.1)$$

2.4.2. 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 2.4 merupakan pola sirkulasi pergerakan udara akibat aktivitas matahari dalam menyinari bumi dan rotasi.



Gambar 2.4 Pola sirkulasi udara akibat rotasi bumi

2.4.3. 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 dari pada 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.

2.4.4. Angin Lembah

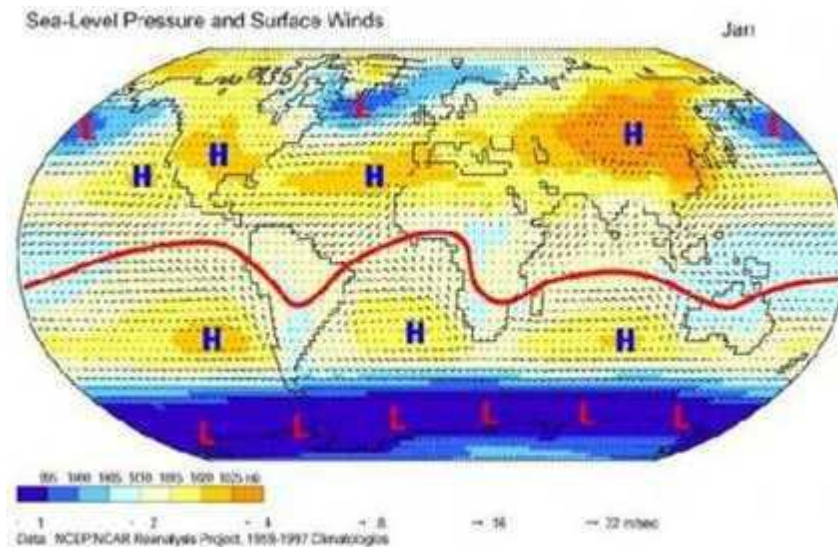
Angin lembah adalah angin yang bertiup dari arah lembah ke arah puncak gunung yang biasa terjadi pada siang hari. Prinsip terjadinya hampir sama dengan terjadinya angin darat dan angin laut yaitu akibat adanya perbedaan suhu antara lembah dan puncak gunung.

2.4.5. 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.

2.4.6. 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 4 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.



Gambar 2.5 Arah angin permukaan dan pusat tekanan atmosfer rata-rata pada bulan Januari, 1959-1997. Garis merah merupakan zona konvergen intertropik (ITCZ).

2.4.7. 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.

2.5. Kecepatan Angin Berdasarkan Fungsi dari Ketinggiannya dari Permukaan Tanah

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa kecepatan angin sangat dipengaruhi oleh ketinggian dari permukaan tanah. Semakin mendekati permukaan tanah, kecepatan angin semakin rendah karena adanya gaya gesekantara permukaan tanah dan angin. Untuk alasan ini, PLTB biasanya dibangun dengan menggunakan tower yang tinggi atau dipasang diatas bangunan.

Berikut adalah rumus bagaimana cara mengukur kecepatan angin berdasarkan ketinggiannya dan jenis permukaan tanah sekitarnya.

$$V = V_1(Z/Z_1)^{1/n} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

V : kecepatan angin pada ketinggian Z

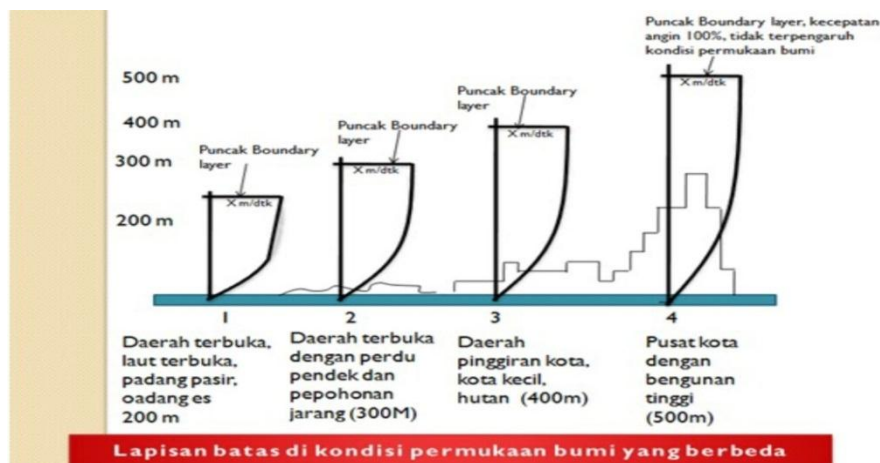
V₁ : kecepatan angin pada ketinggian Z₁

N : nilai n di pengaruhi oleh jenis permukaan tanah

Tabel 2.1 Nilai n berdasarkan jenis permukaan tanah

Jenis permukaan tanah	N	1/n
Padang rumput datar	7-10	0,10-0,14
Pesisir pantai	7-10	0,10-0,14
Sawah dan perkebunan	4-6	0,17-0,25
Daerah perkotaan	2-4	0,25-0,20

Gambar diatas menunjukkan hasil perhitungan kecepatan angin berdasarkan ketinggian, dengan garis putus-putus menggunakan asumsi n = 7, sedangkan garis lurus dengan asumsi n =5.



Gambar 2.6 Kecepatan angin berdasarkan ketinggiannya dari permukaan tanah

2.5.1 Potensi Energi Angin

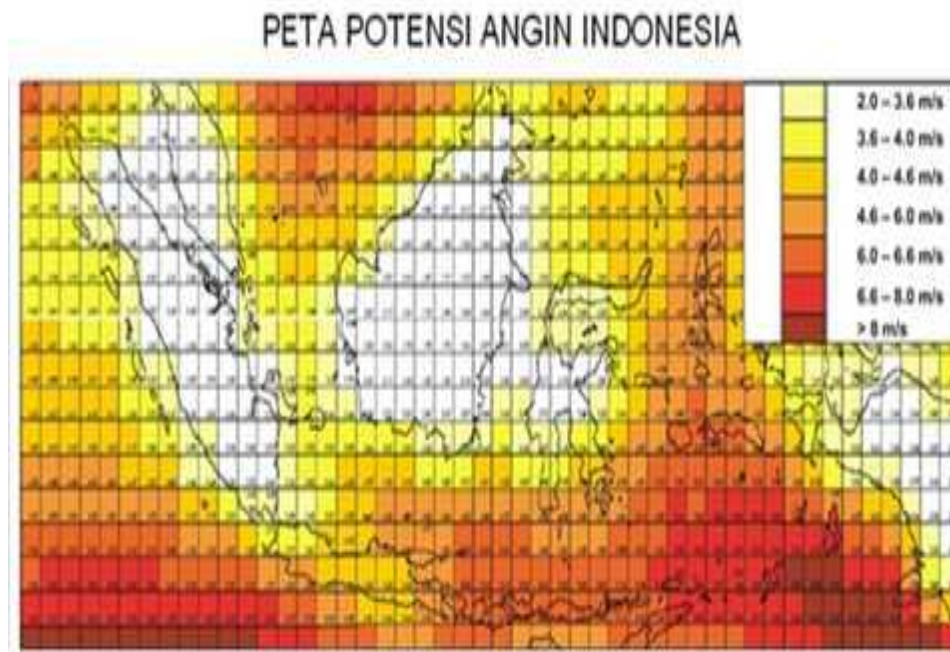
Berdasarkan data dari GWEC, potensi sumber angin dunia diperkirakan sebesar 50,000 TWh/tahun. Total potensial ini dihitung pada daratan dengan kecepatan angin rata-rata diatas 5,1 m/s dan pada ketinggian 10 m. Data ini setelah direduksi sebesar 10% sebagai toleransi yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kepadatan penduduk, dan lain-lain.

Tabel 2.2 sebaran potensi energi angin. (Twh/tahun)

Daerah	Grub And Mayer[4]	Wijk and Coelingh [5]
Afrika	10.600	-
Australia	3000	1638
Amerika Utara	14.000	3762
Amerika Latin	5.400	-
Eropa Barat	500	520
Eropa Timur	10.600	-
Asia	4.900	-
Perkiraan Total	50.000	20.000 (+ Area lain)

2.5.2. Potensi Energi Angin di Indonesia

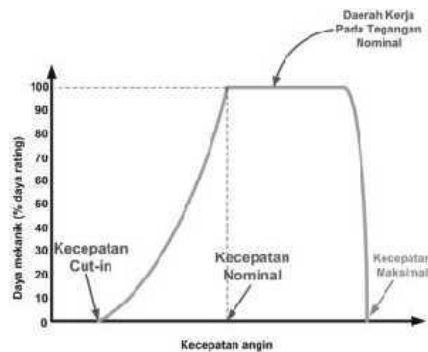
Berikut ini adalah peta potensi energi angin di Indonesia yang dapat digunakan sebagai referensi dalam mengembangkan pembangkit listrik tenaga angin di Indonesia. Perbedaan kecepatan udara terlihat dari perbedaan warnanya. Biru menyatakan kecepatan udara rendah, sedangkan hijau, kuning, merah dan sekitarnya menyatakan semakin besarnya kecepatan angin.



Gambar 2.7 Peta persebaran kecepatan angin di Indonesia

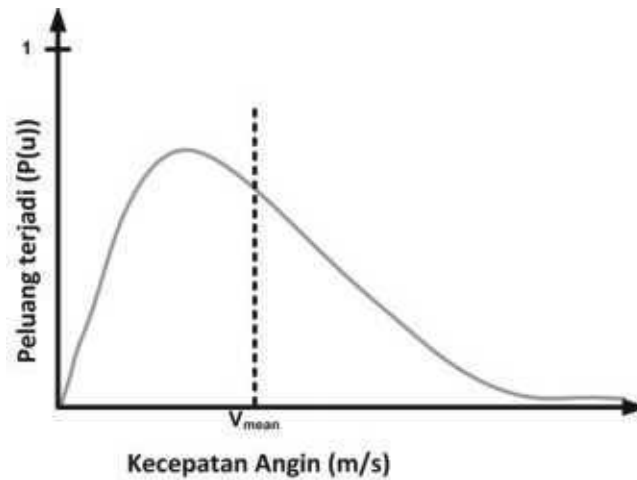
2.6. Karakteristik Kerja Turbin Angin

Gambar 2.8 menunjukkan pembagian daerah kerja dari turbin angin. Berdasarkan gambar 2.8 ini, daerah kerja angin dapat dibagi menjadi 3, yaitu (a) *cut-in speed* (b) kecepatan kerja angin rata-rata (kecepatan nominal) (c) *cut-out speed*. Secara ideal, turbin angin dirancang dengan kecepatan cut-in yang seminimal mungkin, kecepatan nominal yang sesuai dengan potensi angin lokal, dan kecepatan cut-out yang semaksimal mungkin. Namun secara mekanik kondisi ini sulit diwujudkan karena kompensasi dari perancangan turbin angin dengan nilai kecepatan maksimal (V_{cutoff}) yang besar adalah V_{cut} dan V_{rated} yang relatif akan besar pula.



Gambar 2.8 Karakteristik kerja turbin angin

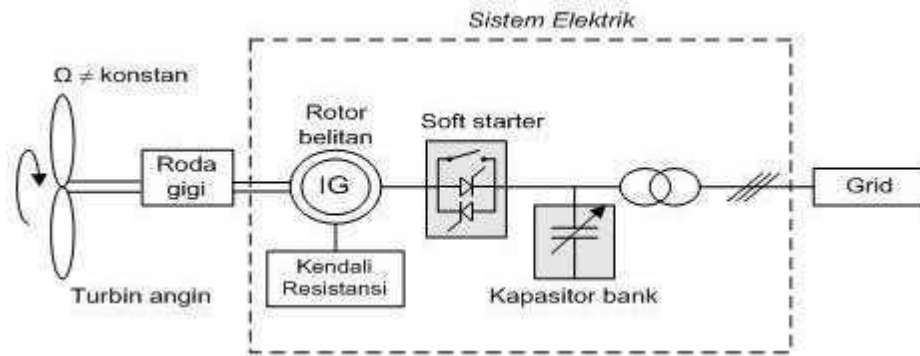
Selain dari data yang ditunjukkan gambar 2.8 sebelumnya, penentuan kecepatan angin suatu daerah dapat juga dilakukan dengan menggunakan metode probalistik distribusi Weibull dalam mengolah kumpulan data hasil survey seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Penentuan kecepatan angin rata-rata suatu daerah

2.7. Sistem Kelistrikan PLTA (Angin)

Secara umum sistem kelistrikan dari PLTA dapat dibagi menjadi 2 yaitu (i) kecepatan konstan (ii) kecepatan berubah. Keuntungan dari sistem kecepatan konstan (*fixed-speed*) adalah murah, sistemnya sederhana dan kokoh (*robust*). Sistem ini beroperasi pada kecepatan putar turbin yang konstan dan menghasilkan daya maksimum pada satu nilai kecepatan angin. Sistem ini biasanya menggunakan generator tak-serempak (*unsynchronous generator*), dan cocok diterapkan pada daerah yang memiliki potensi kecepatan angin yang besar. Kelemahan dari sistem ini adalah generator memerlukan daya reaktif untuk bisa menghasilkan listrik sehingga harus dipasang kapasitor bank atau dihubungkan dengan *grid*. Sistem ini rentan terhadap pulsating power menuju grid dan rentan terhadap perubahan mekanis secara tiba-tiba. Gambar 2.10 (a) menunjukkan diagram skematik dari sistem ini.

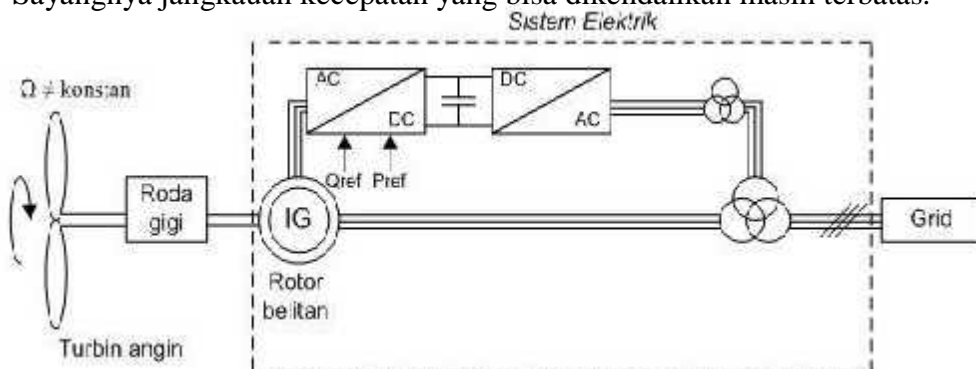


Gambar 2.10 (a) Sistem PLTA kecepatan konstan (*fixed-speed*)

Selain kecepatan konstan, ada juga sistem turbin angin yang menggunakan sistem kecepatan berubah (*variable speed*), artinya sistem didesain agar dapat mengekstrak daya maksimum pada berbagai macam kecepatan. Sistem *variable speed* dapat menghilangkan *pulsating torque* yang umumnya timbul pada sistem *fixed speed*.

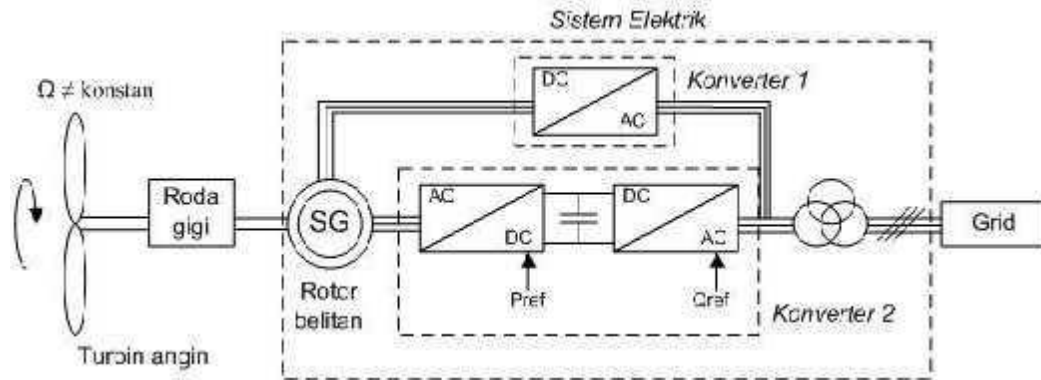
Secara umum sistem *variable speed* mengaplikasikan elektronika daya untuk mengkondisikan daya, seperti penyearah (*rectifier*), Konverter DC-DC, ataupun *Inverter*. Gambar 2.11 (b) sampai dengan (e) adalah jenis-jenis sistem PLTA kecepatan berubah.

Pada sistem *variable speed* (b) menggunakan generator induksi rotor belitan. Karakteristik kerja generator induksi diatur dengan mengubah-ubah nilai resistansi rotor, sehingga torsi maksimum selalu didapatkan pada kecepatan putar turbin berapa pun. Sistem ini lebih aman terhadap perubahan beban mekanis secara tiba-tiba, terjadi reduksi pulsating power menuju grid dan memungkinkan memperoleh daya maksimum pada beberapa kecepatan angin yang berbeda. Sayangnya jangkauan kecepatan yang bisa dikendalikan masih terbatas.



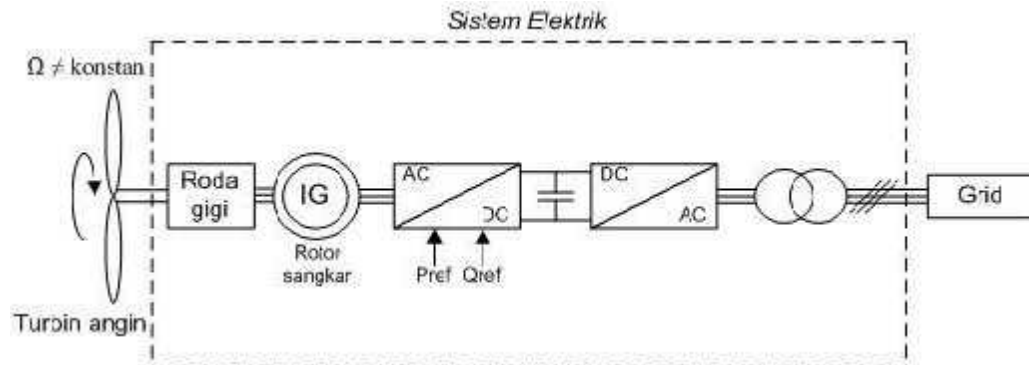
Gambar 2.11 (b) Sistem PLTA kecepatan berubah (*variable-speed*) (rotor belitan)

Pada sistem *variable speed* (c) menggunakan rangkaian elektronika daya untuk mengatur nilai resistansi rotor. Sistem ini memungkinkan memperbaiki jangkauan kecepatan yang bisa dikendalikan sistem pertama.

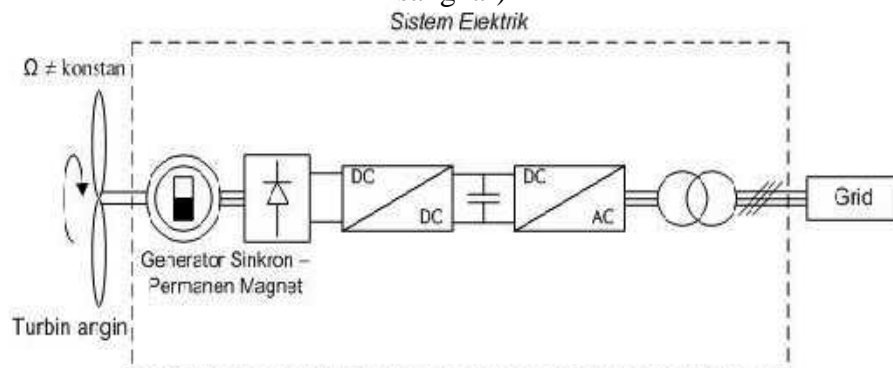


Gambar 2.12 (c) Sistem PLTA kecepatan berubah (*variable-speed back to back converter*)

Sistem *variable speed* (d) dan (e) adalah sistem PLTA yang dibedakan berdasarkan jenis generator yang digunakan.



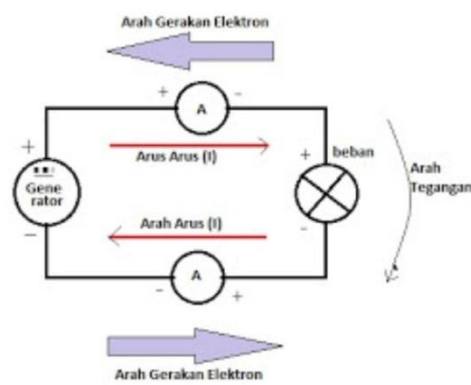
Gambar 2.13 (d) Sistem PLTA kecepatan berubah (*variable-speed*) (rotor sangkar)



Gambar 2.14 (e) Sistem PLTB kecepatan berubah (*variable-speed*)

2.7.1. Arus Listrik

Arus Listrik adalah mengalirnya elektron secara terus menerus dan berkesinambungan pada konduktor akibat perbedaan jumlah elektron pada beberapa lokasi yang jumlah elektronnya tidak sama. satuan arus listrik adalah Ampere. Arus listrik bergerak dari terminal positif (+) ke terminal negatif (-), sedangkan aliran listrik dalam kawat logam terdiri dari aliran elektron yang bergerak dari terminal negatif (-) ke terminal positif(+), arah arus listrik dianggap berlawanan dengan arah gerakan elektron .



Gambar 2.15 Arah arus listrik dan arah gerakan elektron.

Formula arus listrik adalah:

$$I = Q/t \text{ (ampere)} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

I = Besarnya arus listrik yang mengalir, ampere

Q = Besarnya muatan listrik, coulomb

T = Waktu, detik

$$Q = I \times t \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

Q = Banyaknya muatan listrik dalam satuan coulomb

I = Kuat arus dalam satuan Ampere.

t = Waktu dalam satuan detik.

2.8. Kelebihan dan Kekurangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin

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 dioksidanya, pembangkit listrik tenaga angin ini hanya 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 sudusudu turbin, penggunaan *gearbox* serta generator dapat menyebabkan derau suara mekanis dan juga derau suara listrik. Derau mekanik 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.

2.9. Perkembangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Indonesia dan Dunia

Pada saat ini, sistem pembangkit listrik tenaga angin mendapat perhatian yang cukup besar sebagai sumber energi alternatif yang bersih, aman, serta ramah lingkungan serta kelebihan-kelebihan lain yang telah disebutkan sebelumnya di atas. Turbin angin skala kecil mempunyai peranan penting terutama bagi daerah-daerah yang belum terjangkau oleh jaringan listrik. Pemanfaatan energi angin merupakan pemanfaatan energi terbaru yang paling berkembang saat ini. Berdasarkan data dari WWEA (*World Wind Energi Association*), sampai dengan tahun 2007 perkiraan energi listrik yang dihasilkan oleh turbin angin mencapai 93,85 GW dan menghasilkan lebih dari 1% dari total kelistrikan secara global. Amerika, Spanyol dan China merupakan negara terdepan dalam pemanfaatan energi angin. Diharapkan pada tahun 2010, total kapasitas pembangkit listrik tenaga angin secara global mencapai 170 GigaWatt.

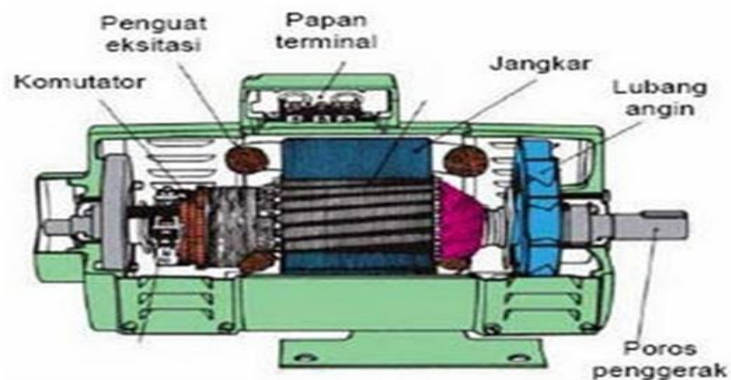
Indonesia, negara kepulauan yang 2/3 wilayahnya adalah lautan dan mempunyai garis pantai terpanjang di dunia yaitu $\pm 80.791,42$ Km merupakan wilayah potensial untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin, namun sayang potensi ini nampaknya belum dilirik oleh pemerintah. Sungguh ironis, disaat Indonesia menjadi tuan rumah konferensi dunia mengenai pemanasan global di Nusa Dua, Bali pada akhir tahun 2007, pemerintah justru akan membangun pembangkit listrik berbahan bakar batubara yang merupakan penyebab nomor 1 pemanasan global.

Namun, pada akhir tahun 2007 telah dibangun kincir angin pembangkit dengan kapasitas kurang dari 800 watt dibangun di empat lokasi, masing-masing di Pulau Selayar tiga unit, Sulawesi Utara dua unit, dan Nusa Penida, Bali, serta Bangka Belitung, masing-masing satu unit. Kemudian, di seluruh Indonesia, lima unit kincir angin pembangkit berkapasitas masing-masing 80 kilowatt (kW) mulai dibangun. Mengacu pada kebijakan energi nasional, maka pembangkit listrik

tenaga bayu (PLTB) ditargetkan mencapai 250 megawatt (MW) pada tahun 2025 (RD Ishak 2015).

2.10. Generator DC

Generator DC merupakan sebuah perangkat mesin listrik dinamis yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Generator DC menghasilkan arus DC / arus searah. Generator DC dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan dari rangkaian belitan magnet atau penguat eksitasinya terhadap jangkar (anker), jenis generator DC yaitu:



Gambar 2.16 Generator DC

1. Generator penguat terpisah
2. Generator shunt
3. Generator kompon

a. Konstruksi Generator DC

Pada umumnya generator DC dibuat dengan menggunakan magnet permanent dengan 4-kutub rotor, regulator tegangan digital, proteksi terhadap beban lebih, starter eksitasi, penyearah, bearing dan rumah generator atau casis, serta bagian rotor.

Generator DC terdiri dua bagian, yaitu stator, yaitu bagian mesin DC yang diam, dan bagian rotor, yaitu bagian mesin DC yang berputar. Bagian stator terdiri dari: rangka motor, belitan stator, sikat arang, bearing dan terminal box. Sedangkan bagian rotor terdiri dari: komutator, belitan rotor, kipas rotor dan poros rotor.

Bagian yang harus menjadi perhatian untuk perawatan secara rutin adalah sikat arang yang akan memendek dan harus diganti secara periodic / berkala. Komutator harus dibersihkan dari kotoran sisa sikat arang yang menempel dan serbuk arang yang mengisi celah-celah komutator, gunakan amplas halus untuk membersihkan noda bekas sikat arang.

2.10.1 Prinsip Kerja generator DC

Prinsip kerja suatu generator arus searah berdasarkan hukum Faraday :

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots(2.5)$$

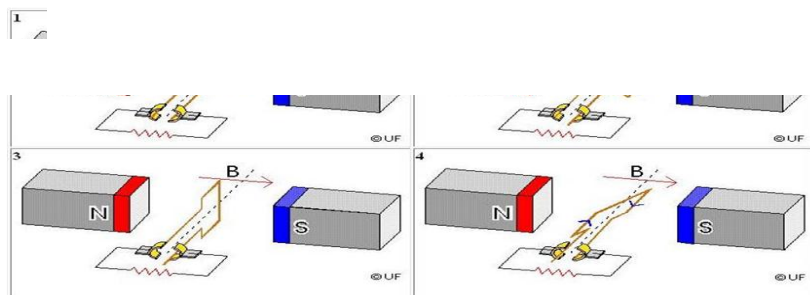
Dimana : N = Jumlah lilitan

ϕ = Fluksi magnet

e = Tegangan Imbas, GGL

Dengan lain perkataan, apabila suatu konduktor memotong garis-garis fluksi magnetik yang berubah-ubah, maka GGL akan dibangkitkan dalam konduktor itu. Jadi syarat untuk dapat dibangkitkan GGL adalah :

1. harus ada konduktor (hantaran kawat)
2. harus ada medan magnetik
3. harus ada gerak atau perputaran dari konduktor dalam medan, atau ada fluksi yang berubah yang memotong konduktor itu.



Gambar 2.17 Kutub Generator DC

Keterangan gambar :

1. Pada gambar Generator DC Sederhana dengan sebuah penghantar kutub tersebut, dengan memutar rotor (penghantar) maka pada penghantar akan timbul EMF.
2. Kumparan ABCD terletak dalam medan magnet sedemikian rupa sehingga sisi A-B dan C-D terletak tegak lurus pada arah fluks magnet.

3. Kumparan ABCD diputar dengan kecepatan sudut yang tetap terhadap sumbu putarnya yang sejajar dengan sisi A-B dan C-D.
4. GGL induksi yang terbentuk pada sisi A-B dan sisi C-D besarnya sesuai dengan perubahan fluks magnet yang dipotong kumparan ABCD tiap detik sebesar :

$$E = - N \frac{d\phi}{dt} \text{ Volt} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$p = v \times i \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

P = daya (watt)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (ampere)

Untuk menentukan arah arus pada setiap saat, berlaku pada kaidah tangan kanan :

1. Ibu jari : Gerak perputaran
2. Jari telunjuk : Medan magnet kutub utara dan selatan
3. Jari tengah : Besaran galvanis tegangan U dan arus I
4. Untuk memperoleh arus searah dari tegangan bolak balik, meskipun tujuan utamanya adalah pembangkitan tegangan searah, tampak bahwa tegangan kecepatan yang di bandingkan pada kumparan jangkar merupakan tegangan bolak-balik. Bentuk gelombang yang berubah-ubah tersebut karenanya harus di searahkan.

Untuk mendapatkan arus searah bolak balik dengan menggunakan metode atau system :

1. Saklar
2. Komutator
3. Dioda

Saklar berfungsi untuk menghubungkan singkatkan ujung-ujung kumparan prinsip kerjanya adalah sebagai berikut :

Bila kumparan jangkarnya berputar, maka pada kedua ujung putarannya akan timbul tegangan yang sinusoidal. Bila setengah periode tegangan positif saklar di hubungkan, maka tegangan menjadi nol. Dan bila saklar di buka lagi akan timbul lagi tegangan. Begitu seterusnya setiap setengah periode tegangan saklar di hubungkan, maka akan dihasilkan tegangan searah gelombang penuh.

Sistem dioda, diode adalah komponen pasif yang mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

1. Bila di beri prasiakap maju (forward bias) bias di aliri arus.
2. Bila di beri prasiakap balik (reverse bias) diode tidak akan di aliri arus.

2.11. Karakteristik Generator Arus Searah (DC)

Medan magnet pada generator dapat dibandingkan dengan dua cara yaitu :

- A. Dengan magnet permanen
- B. Dengan magnet remanen

Generator listrik dengan magnet permanen sering juga di sebut magneto dynamo. Karena banyak kekurangannya, maka sekarang jarang banyak digunakan. Sedangkan generator dengan magnet remanen menggunakan medan magnet listrik, mempunyai kelebihan-kelebihan yaitu:

1. Medan magnet yang dibangkitkan dapat di atur

Pada generator arus searah berlaku hubungan-gubungan sebagai berikut :

$$E_a = \frac{\Phi z n P}{60a} \text{ Volt} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

E_a = GGL yang di bangkitkan pada jangkar generator

Φ = Fluksi per kutub

n = kecepatan putar

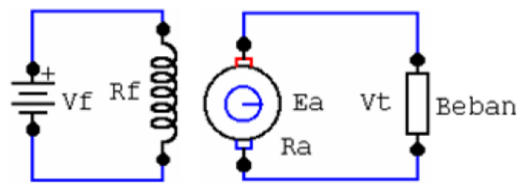
e = jumlah hubungan paralel

$\frac{zP}{60a} = C$ bila (konstanta), maka : $E_a = cn \Phi$ volt

Berdasarkan cara memberikan fluks pada kumparan medannya, generator arus searah dapat dikelompokkan menjadi 2 yaitu:

A. Generator Penguat Bebas

Generator penguat bebas dan terpisah ini adalah generator yang lilitan medannya dapat dihubungkan ke sumber dc yang secara listrik tidak tergantung dari mesin. Tegangan searah yang di pasangkan pada kumparan medan yang mempunyai tahanan R_f akan menghasilkan arus I_f dan menimbulkan fluks pada kedua kutub. Tegangan induksi akan dibangkitkan pada generator.



Gambar 2.18 Generator di hubungkan ke beban

Jika generator dihubungkan dengan beban, dan R_a adalah tahanan dalam generator, maka hubungan yang dapat dinyatakan adalah :

$$v_f = I_f R_f \dots\dots\dots (2.9)$$

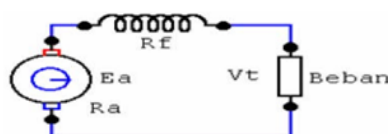
$$E_a = V_t + I_a R_a \dots\dots\dots (2.10)$$

Besaran yang mempengaruhi kerja dari generator :

1. Tegangan jepit
2. Arus eksitasi (penguatan)
3. Arus jangkar (I_a)
4. Kecepatan putar (n)

B. Generator Berpenguat Sendiri

1. Generator searah seri

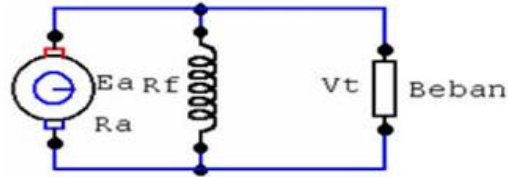


Gambar 2.18 Generator di hubungkan ke beban

$$V_t = I_a R_a$$

$$E_a = I_a (R_a + R_f) + V_t + \Delta V_{si}$$

2. Generator shunt



Gambar 2.19 Generator searah seri

$$V_t = I_f R_f$$

$$E_a = I_a (R_a + V_t) + \Delta V_{si}$$

Pada generator shunt, untuk mendapatkan penguatan sendiri diperlukan :

1. Adanya sisa magnetik pada sistem penguat
2. Hubungan dari rangkaian medan pada jangkar harus sedemikian, hingga arah medan yang terjadi, memperkuat medan yang sudah ada.

Mesin shunt akan gagal membangkitkan tegangannya kalau:

Sisa magnetik tidak ada, Misal: Pada mesin-mesin baru. Sehingga cara memberikan sisa magnetik adalah pada generator shunt dirubah menjadi generator berpenguatan bebas atau pada generator dipasang pada sumber arus searah, dan dijalankan sebagai motor shunt dengan polaritas sikat-sikat dan perputaran nominal.

Hubungan medan terbalik, Karena generator diputar oleh arah yang salah dan dijalankan, sehingga arus medan tidak memperbesar nilai fluksi. Untuk memperbaikinya dengan hubungan-hubungan perlu diubah dan diberi kembali sisa magnetik, seperti cara untuk memberikan sisa magnetik Tahanan rangkaian penguat terlalu besar. Hal ini terjadi misalnya pada hubungan terbuka dalam rangkaian medan, hingga R_f tidak berhingga atau tahanan kontak sikat terlalu besar atau komutator kotor.

C. Generator Kompon

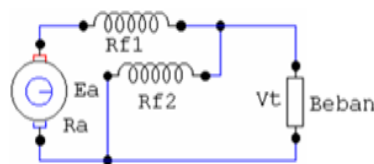
Generator kompon merupakan gabungan dari generator shunt dan generator seri, yang dilengkapi dengan kumparan shunt dan seri dengan

sifat yang dimiliki merupakan gabungan dari keduanya. Generator kompon bisa dihubungkan sebagai kompon pendek atau dalam kompon panjang. Perbedaan dari kedua hubungan ini hampir tidak ada, karena tahanan kumparan seri kecil, sehingga tegangan drop pada kumparan ini ditinjau dari tegangan terminal kecil sekali dan terpengaruh.

Biasanya kumparan seri dihubungkan sedemikian rupa, sehingga kumparan seri ini membantu kumparan shunt, yakni MMF nya searah. Bila generator ini dihubungkan seperti itu, maka dikatakan generator itu mempunyai kumparan kompon bantu.

Mesin yang mempunyai kumparan seri melawan medan shunt disebut kompon lawan dan ini biasanya digunakan untuk motor atau generator- generator khusus seperti untuk mesin las. Dalam hubungan kompon bantu yang mempunyai peranan utama ialah kumparan shunt dan kumparan seri dirancang untuk kompensasi MMF akibat reaksi jangkar dan juga tegangan drop di jangkar pada range beban tertentu. Ini mengakibatkan tegangan generator akan diatur secara otomatis pada satu range beban tertentu.

1. Kompon panjang

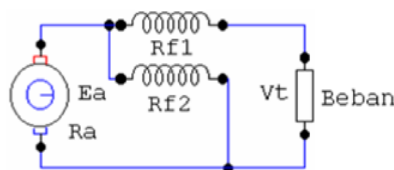


Gambar 2.21 Rangkaian generator kompon panjang

$$I_a = I_{f1} + I_{f2}$$

$$E_a = v_t + I_a(R_a + R_{f1}) + \angle V_{si}$$

2. Kompon pendek



Gambar 2.22 Rangkaian generator kompon pendek

$$I_a = I_{f1} + I_{f2}$$

$$E_a = v_1 + I_a R_a + I_a R_f + I_a R_{si}$$

Pembangkitan Tegangan Induksi Pada Generator Berpenguatan Sendiri

Disini akan diterangkan pembangkitan tegangan induksi generator shunt dalam keadaan tanpa beban. Pada saat mesin dihidupkan (S tutup), timbul suatu fluks residu yang memang sudah terdapat pada kutub. Dengan memutar rotor, akan dibangkitkan tegangan induksi yang kecil pada sikat. Akibat adanya tegangan induksi ini mengalir arus pada kumparan medan. Arus ini akan menimbulkan fluks yang memperkuat fluks yang telah ada sebelumnya. Proses terus berlangsung hingga dicapai tegangan yang stabil.

Jika tahanan medan diperbesar, tegangan induksi yang dibangkitkan menjadi lebih kecil. Berarti makin besar tahanan kumparan medan, makin buruk generator tersebut.

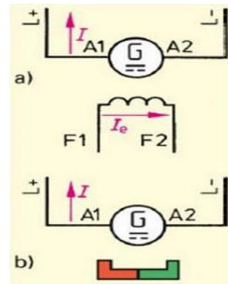
2.13. JENIS – JENIS GENERATOR DC

Seperti telah disebutkan diawal, bahwa generator DC berdasarkan dari rangkaian belitan magnet atau penguat eksitasinya terhadap jangkar (anker) dibagi menjadi 3 jenis, yaitu:

2.13.1. Generator Penguat Terpisah

Pada generator penguat terpisah, belitan eksitasi (penguat eksitasi) tidak terhubung menjadi satu dengan rotor. Terdapat dua jenis generator penguat terpisah, yaitu:

- a. Penguat elektromagnetik
- b. Magnet permanent / magnet tetap

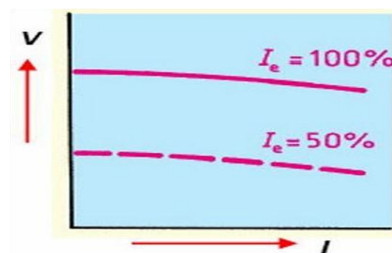


Gambar 2.23 Generator penguat terpisah

Energi listrik yang dihasilkan oleh penguat elektromagnet dapat diatur melalui pengaturan tegangan eksitasi. Pengaturan dapat dilakukan secara elektronik atau magnetik. Generator ini bekerja dengan catu daya DC dari luar yang dimasukkan melalui belitan F1-F2.

Penguat dengan magnet permanen menghasilkan tegangan output generator yang konstan dari terminal rotor A1-A2. Karakteristik tegangan V relatif konstan dan tegangan akan menurun sedikit ketika arus beban I dinaikkan mendekati harga nominalnya.

2.13.2. Karakteristik Generator Penguat Terpisah

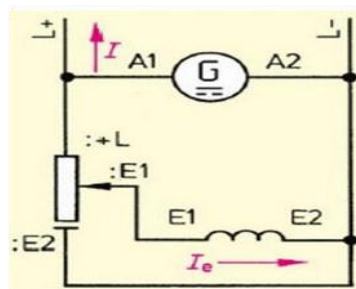


Gambar 2.24 Karakteristik generator Penguat terpisah

- a. karakteristik generator penguat terpisah saat eksitasi penuh (I_e 100%) dan saat eksitasi setengah penuh (I_e 50%). I_e adalah arus eksitasi, I adalah arus beban. Tegangan output generator akan sedikit turun jika arus beban semakin besar.
- b. Kerugian tegangan akibat reaksi jangkar.
- c. Perurunan tegangan akibat resistansi jangkar dan reaksi jangkar, selanjutnya
- d. mengakibatkan turunnya pasokan arus penguat ke medan magnet, sehingga tegangan induksi menjadi kecil.

2.14. Generator Shunt

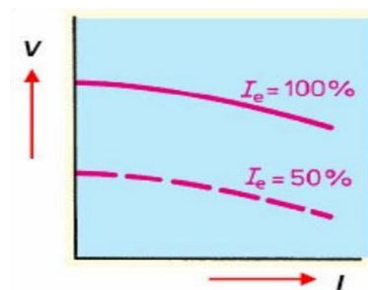
Pada generator shunt, penguat eksitasi E1-E2 terhubung paralel dengan rotor (A1-A2). Tegangan awal generator diperoleh dari magnet sisa yang terdapat pada medan magnet stator. Rotor berputar dalam medan magnet yang lemah, dihasilkan tegangan yang akan memperkuat medan magnet stator, sampai dicapai tegangan nominalnya. Pengaturan arus eksitasi yang melewati belitan shunt E1-E2 diatur oleh tahanan geser. Makin besar arus eksitasi shunt, makin besar medan penguat shunt yang dihasilkan, dan tegangan terminal meningkat sampai mencapai tegangan nominalnya. Diagram rangkaian generator shunt dapat dilihat pada Gambar dibawah ini.



Gambar 2.25 Rangkaian generator shunt

Jika generator shunt tidak mendapatkan arus eksitasi, maka sisa magnetisasi tidak akan ada, atau jika belitan eksitasi salah sambung atau jika arah putaran terbalik, atau rotor terhubung- singkat, maka tidak akan ada tegangan atau energi listrik yang dihasilkan oleh generator tersebut.

2.14.1. Karakteristik generator shunt

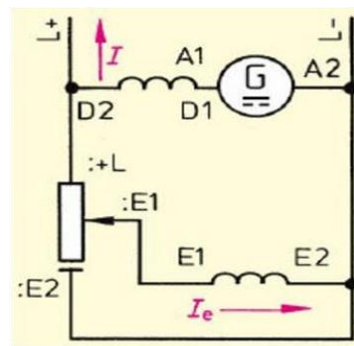


Gambar 2.25 Karakteristik generator shunt

Generator shunt mempunyai karakteristik seperti ditunjukkan pada Gambar diatas. Tegangan output akan turun lebih banyak untuk kenaikan arus beban yang sama, dibandingkan dengan tegangan output pada generator penguat terpisah. Sebagai sumber tegangan, karakteristik dari generator penguat terpisah dan generator shunt tentu kurang baik, karena seharusnya sebuah generator mempunyai tegangan output yang konstan, namun hal ini dapat diperbaiki pada generator kompon.

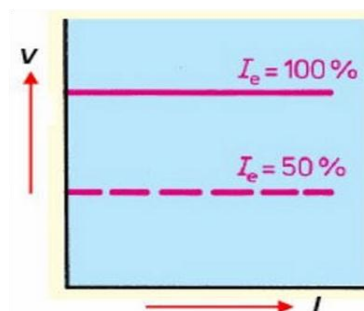
2.15. Generator Kompon

Generator kompon mempunyai dua penguat eksitasi pada inti kutub utama yang sama. Satu penguat eksitasi merupakan penguat shunt, dan lainnya merupakan penguat seri. Diagram rangkaian generator kompon ditunjukkan pada Gambar dibawah ini. Pengatur medan magnet (D1-D2) terletak di depan belitan shunt.



Gambar 2.26 Rangkaian generator kompon

2.15.1. Karakteristik generator kompon



Gambar 2.27 Karakteristik generator kompon

Gambar diatas menunjukkan karakteristik generator kompon. Tegangan output generator terlihat konstan dengan pertambahan arus beban, baik pada arus eksitasi penuh maupun eksitasi 50%. Hal ini disebabkan oleh adanya penguatan

lilitan seri, yang cenderung naik tegangannya jika arus beban bertambah besar. Jadi ini merupakan kompensasi dari generator shunt, yang cenderung tegangannya akan turun jika arus bebannya naik.

BAB 3

METODELOGI PENELITIAN

Prosedur penelitian dimaksudkan agar penelitian berjalan dengan baik dan berurutan. Dengan adanya prosedur penelitian diharapkan penelitian dapat berjalan dengan lancar dan mendapatkan hasil yang maksimal.

3.1. Waktu Dan Tempat

Penelitian dan pengujian tegangan dan arus keluaran alternator terhadap kecepatan angin pada PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Angin) di lakukan pada tanggal 27 januari 2019 sampai dengan selesai, tempat di Laboraturium Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Jalan Muchtar Basri No.03 Medan.

3.2. Peralatan Dan Bahan

Peralatan dan bahan yang akan digunakan sebagai pendukung penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.2.1. Peralatan

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut:

1. Multimeter berfungsi sebagai alat yang digunakan untuk mengukur tegangan (V), hambatan listrik (Ohm) dan arus listrik (A).
2. Anemometer berfungsi untuk mengukur kecepatan angin dan juga dapat menentukan arah mata angin.
3. Tang Ampere Meter berfungsi sebagai alat yang digunakan untuk mengukur tegangan (V), hambatan/resistansi (Ohm), arus listrik (A), tanpa harus memotong kabel listrik.
4. Osiloskop berfungsi sebagai alat ukur gelombang sinusoidal pada percobaan.
5. Tools Box (Peralatan pendukung seperti : Tang Pengelupas Kabel, Tang Skun Kabel, Tang Pemotong, Tang Cucut, Tang Kombinasi, Obeng Plus Minus, dan lain sebagainya).

3.2.2 Bahan Penelitian

1. Baling-baling kipas berbentuk vertikal berfungsi menangkap datangnya laju angin dan mengubah hembusan angin menjadi energi gerak yang akan memutar alternator.
2. Alternator berfungsi sebagai pembangkit tenaga listrik yang digunakan untuk mensuplay kebutuhan listrik.
3. Charge Controller berfungsi mengontrol arus untuk pengisian ke baterai sehingga tidak terjadi overcharging (kelebihan pengisian daya karena baterai sudah penuh) dan kelebihan voltase dari alternator.
4. Battery (aki) berfungsi sebagai penyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia atau konversi energi yang bekerja berdasarkan prinsip elektrokimia.
5. Inverter berfungsi mengubah tegangan listrik DC (Direct Current) menjadi tegangan listrik AC (Alternating Current).
6. kabel listrik jenis NYAF ukuran 1 x 2,5 mm² berfungsi untuk menghantarkan aliran listrik dari sumber listrik menuju ke perangkat pengguna listrik.
7. Acrylic berfungsi sebagai penempatan komponen kelistrikan.
8. Voltmeter berfungsi untuk mengukur besar tegangan listrik dalam suatu rangkaian

3.3 Metodologi Penelitian

Tahap yang dilakukan pada pengujian ini adalah studi literatur, pengujian tagangan dan arus keluaran alternator terhadap kecepatan angin pada PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Angin).

3.3.1 Studi Literatur

Studi Literatur dimaksudkan untuk mempelajari berbagai sumber referensi atau teori dari (jurnal dan internet) yang berkaitan dengan penelitian pengujian arus keluaran alternator terhadap kecepatan angin pada PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Angin).

Literatur yang di pelajari adalah yang berkaitan dengan :

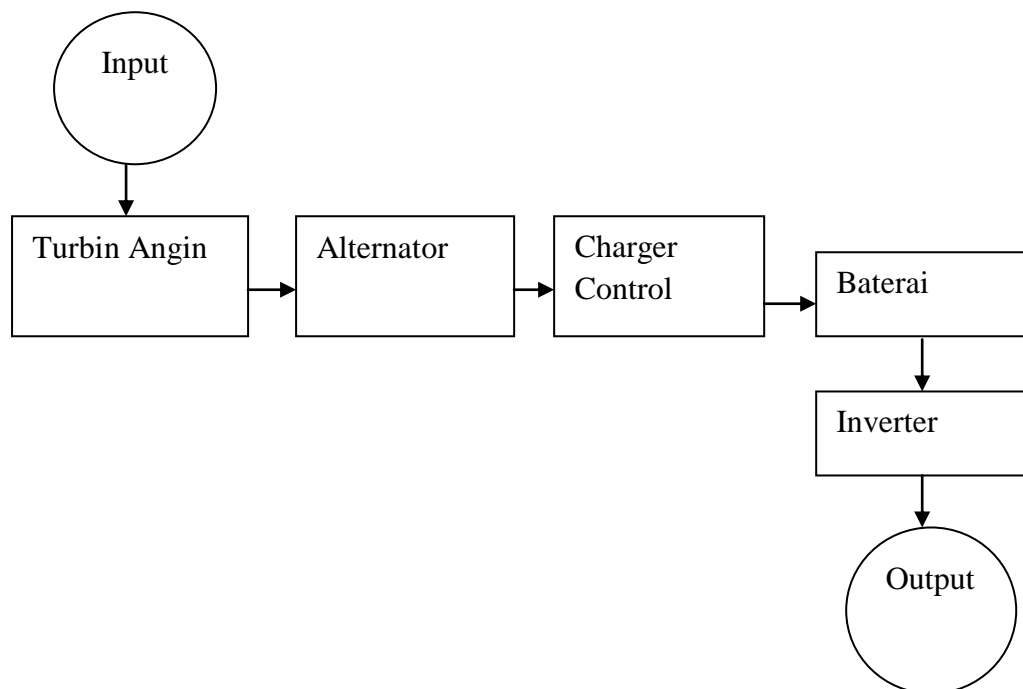
1. Struktur perancangan PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Angin).

2. Pengujian arus dan tegangan pada PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Angin).
3. Jenis-jenis komponen yang terdapat pada PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Angin).
4. Rumus, perhitungan, gambar dan grafik pada PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Angin).

3.4 Diagram Penelitian

Untuk penelitian dan analisa data dituangkan dalam alur diagram seperti 3.1 yakni penelitian diawali dari perancang desain rancang bangun pembangkit listrik tenaga angin pada saat dipasang dapat kita ketahui arus dan tegangan.

Pengujian sendiri dilakukan dengan mengamati arus dan tegangan dengan menggunakan alat ukur tang ampere meter dan multimeter. Setelah data semua terkumpul dan dirasa cukup, penelitian mulai menyusun laporan penelitian. Penelitian akan diakhiri saat penyusunan laporan telah selesai dan melaporkan hasil penelitian kepada beberapa dosen yang telah ditentukan.



Gambar 3.1 Blok Diagram Penelitian

3.5 Diagram Alur Penelitian

a. Studi literatur

Dalam studi literatur dilakukan pencarian informasi atau bahan materi baik dari internet, jurnal, maupun sumber-sumber lain yang berkaitan dengan penelitian ini. Materi tersebut diantaranya mengenai penelitian turbin angin sebagai penggerak mula alternator yang menghasilkan energi listrik serta pembangkit listrik tenaga surya.

b. Persiapan peralatan

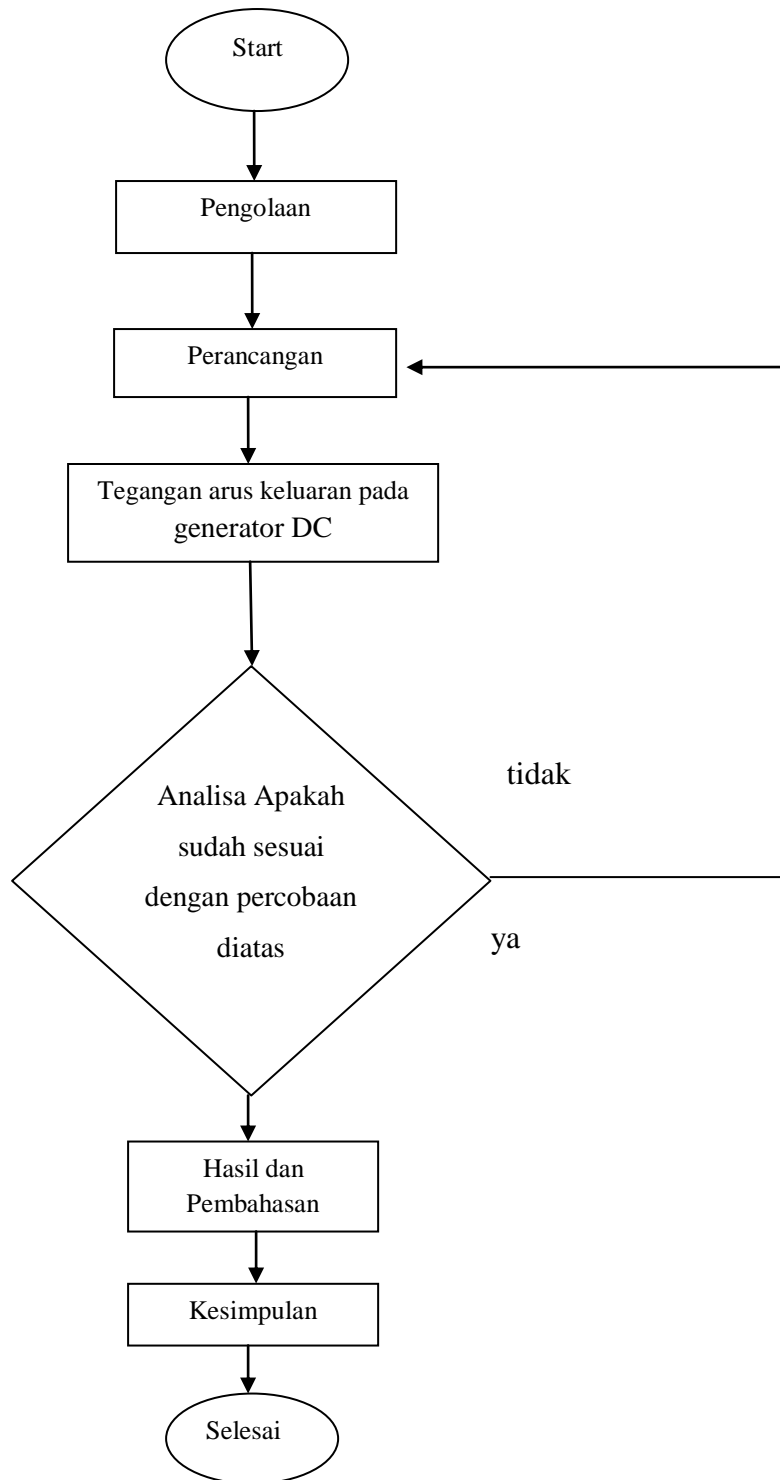
Setelah melakukan studi literatur, kemudian menyiapkan segala sesuatu yang berkaitan dengan penelitian ini. Beberapa prangkat yang dilakukan seperti turbin angin itu sendiri, solar sel, alternator, charge controller, accu, dan inverter.

c. Perancangan alat

Setelah melakukan persiapan bahan-bahan maka selanjutnya melakukan perancangan pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya.

d. Pengukuran tegangan dan arus pada masing-masing pembangkit listrik.

Setelah melakukan perancangan peralatan, kemudian dilanjutkan dengan pengukuran tegangan dan arus pada masing-masing pembangkit energi listrik dengan menggunakan beban percobaan yang sama.



Gambar 3.2. Diagram Alur Penelitian

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN ANALISA

Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui besarnya tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh angin dengan kecepatan yang berbeda-beda di setiap jam. Pada pengujian pembangkit listrik tenaga angin ini, terdiri dari beberapa komponen, seperti : solar charger, inverter, multimeter digital, anemometer, saklar tpd, stop kontak, dan lampu 5w, selanjutnya dari arus dan tegangan yang dihasilkan diukur dengan alat tersebut. Pembangkit listrik tenaga angin adalah proses kinerja angin untuk menghasilkan beban ke lampu 5w guna mengetahui efisiensi dari masing-masing tiap bilah pipa yang terkena sambaran angin yang di ujikan, tenaga angin digunakan oleh sumber tenaga alternatif sehingga energi listrik dapat di tekan seminimal mungkin penggunaanya.

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui keluaran dan arus yang di hasilkan oleh generator dengan di adakan nya pengujian ini maka penulis dapat lebih teliti lagi dalam menentukan pilihan pada jenis komponen alat. Pengujian dan arus keluaran generator terhadap kecepatan angin ini menggunakan multimeter. Pembangkit listrik tenaga angin akan menghasilkan daya ketika akan mendapatkan energi angin yang di hasilkan oleh alam, pada saat itu pembangkit listrik tenaga angin sudah di hubungkan ke multimeter, dan lampu 5w akan mengetahui daya yang dihasilkan secara otomatis sesuai dengan besar nya arus yang dihasilkan oleh tenaga angin saat dengan kemampuan masing-masing tiap bilah pipa. Pembangkit listrik tenaga angin ini di pasang pada tempat yang terpapar angin secara langsung.

4.1 Hasil Penelitian

Pengujian dilakukan dalam waktu satu hari dan dilakukan pengambilan data setiap satu jam sekali. Pengujian ini menggunakan sistem kecepatan angin alam dengan cara manual untuk menggerakan turbin angin menghadap kearah datangnya angin bebas. Dengan cara menggukan rotasi dinamis di harapkan akan dapat meningkatkan daya yang dihasilkan turbin angin. Penelitian menggunakan

turbin angin dan generator DC. Turbin angin dipasang pada tempat yang terpapar angin secara langsung.

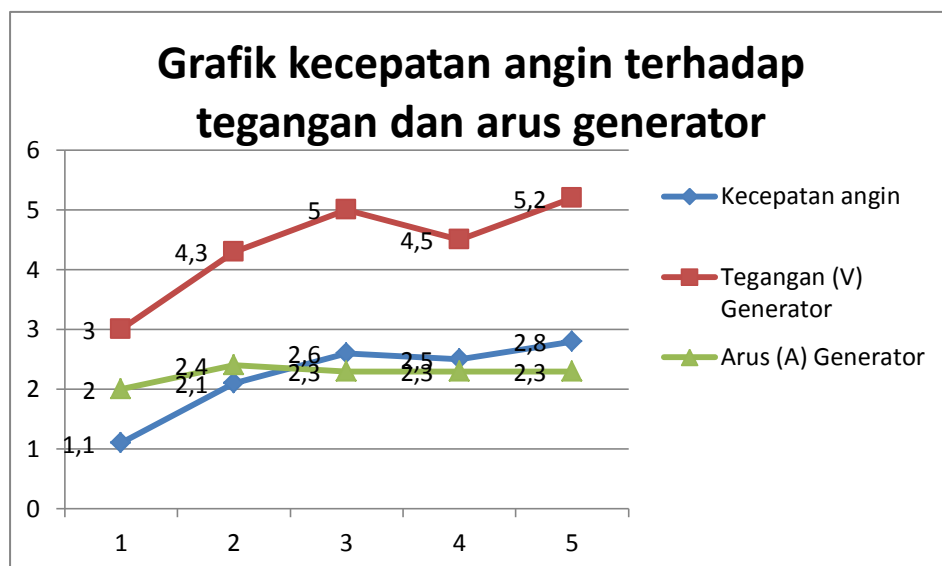
4.2 Pengujian Pertama Pengukuran Arus dan Tegangan Pada turbi angin

Pengujian terhadap turbin angin dilakukan dalam setiap satu jam sekali.

Tabel 4.3 Data hasil Pengujian turbin angin menggunakan generator DC

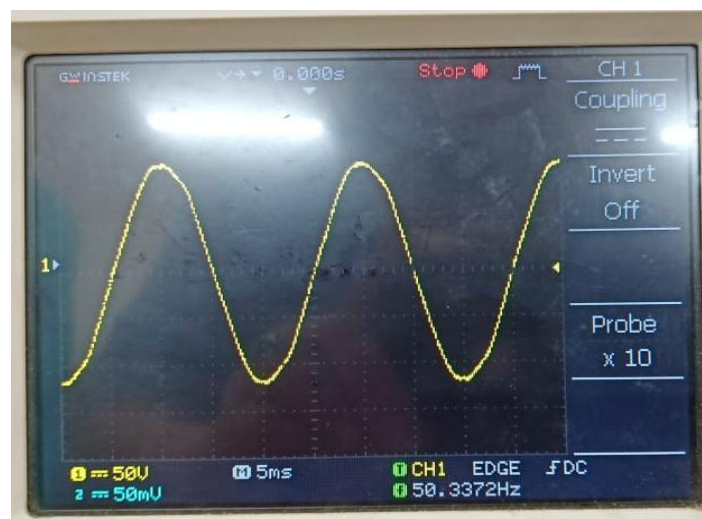
Waktu	Suhu (°C)	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan keluaran Generator (Volt)	Arus (Ampere)
07:00-09:00	29°c	1,1 m/s	3 V	2 A
09:00-11:00	30°c	2,1 m/s	4,3 V	2,4 A
11:00-13:00	30°c	2,6 m/s	5 V	2,3 A
13:00-15:00	30,4°c	2,5 m/s	4,5 V	2,3 A
15:00-17:00	30,6°c	2,8 m/s	5,2 V	2,3 A

Dari tabel 4.3 diatas di dapatkan nilai pengujian yang di hasilkan dengan cara mengukur kecepatan angin berdasarkan waktu, maka dari kecepatan angin tersebut di dapatkan suhu, tegangan dan arus keluaran generator, maka dari itu grafik dapat di lihat pada gambar 4.1



Gambar : 4.1 Grafik Pengaruh Kecepatan angin Terhadap Tegangan dan Arus Generator dapat di lihat bahwa tegangan yang di hasilkan generator terhadap kecepatan angin sangat bervariasi adalah linier dan dari grafik di atas dengan kecepatan angin yang terdapat di alam bebas paling tinggi berkisar 2,8 m/s, tegangan yang di capai 5,2 Volt dan arus yang di hasilkan mencapai 2,3 ampere.

4.3 Gambar frekuensi yang di hasilkan oleh generator DC



Gambar : 4.2 Gelombang Sinusoidal terhadap tegangan keluaran generator DC

Pada analisa data dari sinyal masuk maka dapat di hitung tegangan sesuai pada percobaan di bawah ini. Maka tegangan, waktu dan frekuensi dapat di hitung pada osiloskop yaitu :

Tegangan Input :

$$\begin{aligned}
 V &= \text{Volt/div} \times \text{div} \\
 &= 50 \text{ v} \times 4 \text{ div} \\
 &= 20 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

Maka waktunya :

$$\begin{aligned} T &= \text{Time/div} \times \text{div} \\ &= 0,005 \text{ s} \times 4 \text{ div} \\ &= 0,02 \text{ s} \end{aligned}$$

Dan frekuensinya adalah :

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ Hz}$$

Pada gambar dapat diamati tegangan puncak $V_{(p)}$, Tegangan puncak ke puncak $V_{(p-p)}$ yang pada nilainya dua kali $V_{(p)}$. Dan tegangan efektif (root mean square/rms) V (rms) yang digunakan dalam perhitungan DC perhitungan tegangan V (rms) untuk bentuk gelombang yang umum adalah :

Maka :

$$V_{rms} = \frac{V_{p-p}}{2\sqrt{2}} = \frac{4,8}{2\sqrt{2}} = 1,7 \text{ volt}$$

4.4 Pengujian ke Beban listrik

Tabel 4.4 pembagian ke beban listrik

No	Tegangan	Arus	Beban	Daya
1	5 V	0,5 A	Lampu DC	2,5 watt
2	5,2 V	1 A	Dinamo DC	5,2 watt

Dari pembagian beban di atas dapat di hitung dengan rumus di bawah ini :

$$p = v \times i$$

Dimana : P = daya (watt)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (ampere)

$$\begin{aligned}\text{Dik : } P &= V \times I \\ &= 5 \times 0,5 \\ &= 2,5 \text{ watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P &= V \times I \\ &= 5,2 \times 1 \\ &= 5,2 \text{ watt}\end{aligned}$$

Pada hasil di atas dapat di ketahui pembagian beban listrik dari generator DC

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

1. Cara mengetahui menggunakan anemometer dan mengukur keluaran generator DC yang berupa tegangan menggunakan multi tester dan kemudian mengukur arus menggunakan tang ampere.
2. Cara mengetahui frekuensi gelombang yang di hasilkan generator dengan menghubungkan konektor ke kabel phasa dan ke netral/grounding kemudian baca gelombang volt/div dan time/div serta frekuensi nya.
3. Cara mengetahui pembagian ke beban dengan menghubungkan kabel keluaran pada generator DC ke lampu DC.

5.2 SARAN

1. Tegangan rata-rata yang di hasilkan generator DC pada pembangkit listrik tenaga angin tidak terlalu besar yaitu 5,2 volt dan arus 2,3 ampere sehingga pada saat melewati solar charger controller untuk pengecasan ke batrei terlalu lama, oleh karena itu belum efisien, di harapkan untuk pengembangan selanjutnya di adakan penambahan gear box untuk menambah putaran pada generator DC dan pada generator DC di pasang rangkaian penaik tegangan sehingga dapat mengisi baterei lebih cepat dan lebih efisien.
2. Bentuk gelombang yang di hasilkan generator pembangkit listrik tenaga angin sudah hampir semua di harapkan di sempurnakan lagi ke depan nya.

3. Dengan menggunakan gear box dan penaik tegangan ke depannya dapat menggunakan beban lebih efisien dan lebih banyak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Made Padmika, I Made Satria Wibawa, Ni Luh Putu Trisnawati 2017 *Perancangan pembangkit listrik tenaga angin dengan turbin ventilator sebagai penggerak generator*. Jurusan fisika fakultas matematika dan ilmu pengetahuan alam, Universitas Udayana, kampus bukit jimbaran, badung bali Indonesia
- [2]. Ibrahim Nawawi, Bagus Fatkhurrozi 2017 *Sistem pembangkit listrik tenaga angin skala kecil pada bangunan bertingkat*, Fakultas teknik Universitas Tidal.
- [3]. Sudirman Lubis 2018 *Analisa tegangan keluaran alternator mobil sebagai pembangkit listrik alternatif*, Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- [4]. (Lab.Power Teknik Listrik Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang 2015)
- [5]. Adriani 2018 *Perancangan pembangkit listrik kincir angin menggunakan dynamo drillini terhadap empat sumbu horizontal*, jurusan teknik elektro, Universitas Muhammadiyah Makassar.