

TUGAS AKHIR

ANALISA PEMANFAATAN TURBIN ANGIN SEBAGAI PENGHASIL ENERGI LISTRIK ALTERNATIF DILOKASI GEDUNG BERTINGKAT

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

Disusun Oleh:

**PURNOMO
1507220100**



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

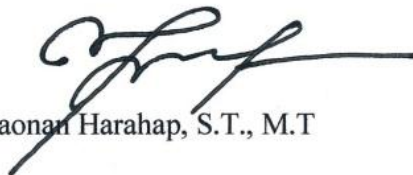
Nama : Purnomo
NPM : 1507220100
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisa Pemanfaatan Turbin Angin Sebagai Penghasil Energi Listrik Alternatif Dilokasi Gedung Bertingkat

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

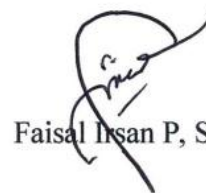
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



Partaonan Harahap, S.T., M.T

Dosen Pembimbing II / Penguji



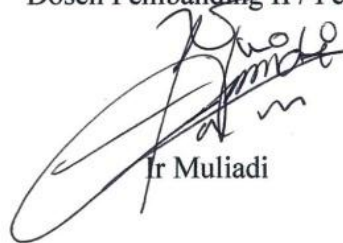
Faisal Irsan P, S.T., M.T

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 : Purnomo
Tempat /Tanggal Lahir : Perdagangan II/03 November 1996
NPM : 1507220100
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

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

“Analisa Pemanfaatan Turbin Angin Sebagai Penghasil Energi Listrik Alternatif Dilokasi Gedung Bertingkat.

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, 21 Maret 2019



Saya yang menyatakan,


Purnomo

Abstrak

Kebutuhan akan sumber energi listrik di Indonesia yang terus meningkat, dan dengan banyaknya jumlah penduduk khususnya pada suatu daerah atau pemukiman tertentu yang tidak dapat terjangkau oleh sumber listrik milik negara. Maka dari itu sangatlah diperlukan terobosan terbaru dengan tidak lagi terus menerus mengandalkan pembangkit listrik komersial yang berbahan bakar dari perut bumi seperti minyak bumi, gas, batubara dan lain-lain. Guna dapat mengurangi dampak kerusakan pada lingkungan dan makhluk hidup.

Tujuan analisa ini untuk mengetahui pengaruh angin terhadap daya turbin, putaran turbin dan besar tegangan yang dibangkitkan dari sebuah perangkat turbin angin. Walaupun rata-rata kecepatan angin yang diperoleh tidak begitu besar tetapi kemungkinan masih bisa digunakan untuk pembangkit listrik tenaga angin dengan skala kecil, yang dapat beroperasi pada kecepatan angin rendah sekalipun.

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode pengujian alat secara langsung pada bangunan bertingkat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kincir angin dapat mengikuti datangnya arah angin dikarenakan jenis kincir angin yang digunakan adalah jenis sumbu vertikal. Kecepatan angin yang diperoleh sebesar 1,1 m/s-2,8 m/s, sehingga rata-ratanya sebesar 2,22 m/s. Dapat menghasilkan tegangan output generator sebesar 3 volt-5,2 volt DC sehingga rata-ratanya sebesar 4,22 volt DC. Putaran turbin angin rata-rata yang diperoleh sebesar 46,42 rpm. Dengan kapasitas baterai sebesar 12 volt DC.

Kata kunci: Turbin Angin, Pembangkit Listrik, Energi Alternatif

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 “Analisa Pemanfaatan Turbin Angin Sebagai Penghasil Energi Listrik Alternatif Dilokasi Gedung Bertingkat ” 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 I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, ST, MT, selaku Dosen Pimbimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Abdul Azis. H.M.M. Dosen Pembanding 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 Ir. Mulyadi Dosen Pembanding II 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.
5. 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.
6. Bapak Munawar Alfansury Siregar, ST, MT selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu Teknikelektro kepada penulis.
8. Orang tua penulis: Paino dan Asmah, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Sahabat-sahabat penulis: Irwansyah, Dedi Setiawan, Muhammad Murdani, Muhammad Nur, Heri Pradana, Imam Rizki 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 elektronika dan kelistrikan.

Medan, 21 Maret 2019

Purnomo

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penelitian	3

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Telaah Penelitian	5
2.2. Teori Dasar	8
2.2.1. Sudu (Baling-Baling)	8
2.2.2. Angin	8
2.2.3. Asal Energi Angin	9
2.2.4. Faktor Terjadinya Angin	10
2.2.5. Sifat-Sifat Angin	10
2.2.6. Jenis-Jenis Angin	11
2.2.7. Proses Terjadinya Angin	12
2.3. Kecepatan Angin	12
2.3.1. Alat Ukur Angin	13
2.3.1.1. Anemometer	13
2.3.1.2. Fungsi Anemometer	14
2.3.1.3. Pressure Anemometer	14
2.3.1.4. Velocity Anemometer	15
2.4. Turbin Angin	16
2.5. Jenis Turbin Angin	18
2.5.1. Turbin Angin Sumbu Horizontal	18
2.5.2. Turbin Angin Sumbu Vertikal	20
2.6. Energi Angin	21
2.6.1. Daya Energi Angin.	22

2.7	Konsep Dasar Sistem Konversi Energi Listrik.	23
2.7.1.	Densitas Massa	24
2.7.2.	Kecepatan	24
2.7.3.	Koefisien Daya	24
2.7.4.	Energi Listrik	25
2.7.5.	Torsi	25
2.7.6.	Kecepatan Sudut	26
2.7.7.	Betz Limit	26
2.7.8.	Tip Speed Ratio	26
2.8	Sistem Transmisi Daya	27
2.9	Generator	28
2.9.1.	Generator Arus Searah (DC)	29
2.9.1.	Generator Arus Bolak-Balik (AC)	30
2.10	Tegangan Listrik	31
2.10.1.	Alat Ukur Tegangan	31
2.10.2.	Arus Listrik	32
2.11	Power Supply	32
2.11.1.	Baterai	33
2.11.2.	Perhitungan Daya Tahan Baterai	34
2.12	Menghitung Kecepatan Angin Rata-Rata	34

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat	36
3.2	Peralatan dan Bahan Penelitian	36
3.2.1	Peralatan Penelitian	36
3.2.2	Bahan Penelitian	36
3.3	Blok Diagram Penelitian	37
3.4	Diagram Alir Penelitian	37

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Pengaruh Angin Terhadap Daya yang Dihasilkan Turbin	40
4.1.1.	Menghitung Daya Turbin Pada Percobaan Pertama	41
4.1.2.	Menghitung Daya Turbin Pada Percobaan Kedua	41
4.1.3.	Menghitung Daya Turbin Pada Percobaan Ketiga	42
4.1.4.	Menghitung Daya Turbin Pada Percobaan Keempat	43
4.1.5.	Menghitung Daya Turbin Pada Percobaan Kelima	44
4.1.6.	Menghitung Rata-Rata	45
4.2	Kecepatan Putaran Turbin Pada Saat Pengaruh Angin	47
4.3	Mengetahui Besar Tegangan Output yang Dihasilkan Generator Terhadap Kecepatan Angin dan Putaran Turbin	48
4.3.1	Kecepatan Angin Terhadap Tegangan Generator	49
4.3.2	Putaran Turbin Terhadap Tegangan Generator	50

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	52
5.2. Saran	52

DAFTAR PUSTAKA	53
-----------------------	----

LAMPIRAN

LEMBAR ASISTENSI

DAFTAR TABEL

4.1	Tabel Pengaruh Angin Terhadap Daya Turbin	40
4.2	Tabel Pengaruh Angin Terhadap Putaran Turbin	47
4.3	Tabel Tegangan Output Generator	48

DAFTAR GAMBAR

2.1	Potensi Kecepatan Angin Di Indonesia	13
2.1	Anemometer	13
2.3	Turbin Angin Sumbu Horizontal	19
2.4	Turbin Angin Sumbu Vertikal	20
2.5	Tip Speed Ratio Pada Berbagai Macam Turbin.	27
3.1	Blok Diagram	37
3.2	Diagram Alir Penelitian	39
4.1	Grafik Pengaruh Angin Terhadap Daya Turbin	46
4.2	Grafik Kecepatan Putaran Turbin Terhadap Pengaruh Angin	47
4.3	Grafik Kecepatan Angin Terhadap Tegangan Generator	49
4.4	Grafik Putaran Turbin Terhadap Tegangan Generator	50
4.5	Grafik Kecepatan Angin, Putaran Turbin dan Tegangan Generator	51

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan sumber energi listrik di Indonesia yang kian meningkat dan dengan banyaknya jumlah penduduk Indonesia khususnya pada suatu daerah atau pemukiman tertentu yang tidak dapat terjangkau oleh aliran listrik milik negara. Maka dari itu sangatlah penting dilakukan suatu terobosan terbaru dengan memanfaatkan sumber energi alam. Sehingga dapat mengurangi penggunaan sumber energi fosil yang berasal dari perut bumi contohnya seperti Minyak bumi (BBM), Gas, Batu-Bara, dan sejenisnya. Dalam jangka panjang penggunaan energi fosil yang terus menerus akan mengakibatkan dampak lingkungan yang buruk bagi lingkungan dan makhluk hidup. Salah satu untuk mengurangi dampak lingkungan yang semakin meningkat adalah dengan memanfaatkan energi terbarukan yang bersumber dari alam seperti sumber angin, matahari, dan pemanfaatan air terjun. Selain itu, makin berkembangnya pembangunan dan penelitian tentang energi alternatif yang bertujuan untuk pengembangan energi berkelanjutan yang menghasilkan sedikit efek lingkungan, dampak kesehatan dan memungkinkan untuk memproduksi listrik tersebut pada masa depan dengan skala yang sangat besar.

Langkah tersebut sangat diperlukan agar Indonesia keluar dari krisis energi yang berkeberlanjutan. Sugiarmadji dan Djojohardjo (1990) dalam penelitiannya mengenai perancangan kincir angin sudu majemuk untuk pemompaan air/pertanian jenis EN – SM-03 menyatakan bahwa dengan kincir angin sudu majemuk dapat memberikan kapasitas 50 l/menit untuk tinggi pemompaan 6 m pada kecepatan angin 3 m/s – 4 m/s [1]

Energi angin di Indonesia pemanfaatannya masih tergolong rendah untuk di manfaatkan sebagai energi listrik alternatif. Penyebabnya adalah rata-rata kecepatan angin di wilayah Indonesia masih tergolong rendah berkisar antara 3 m/s hingga mencapai 4 m/s, sehingga tidak mudah digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga angin dengan skala besar, untuk mendapatkan angin dengan skala yang besar hanya di daerah tertentu seperti pantai, pegunungan, dan wilayah

dataran tinggi. Di Indonesia sendiri sudah ada pembangkit listrik tenaga angin dengan skala besar yaitu di sindrap, kabupaten sidenreg rapping, Sulawesi selatan. Inovasi dan pembaruan kincir angin sangat perlu di kembangkan guna dapat dimanfaatkan walaupun pada kecepatan angin yang rendah dan tidak mengandalkan kecepatan angin yang tinggi.

Dampak kondisi cuaca yang tidak menentu, sehingga dapat berpengaruh pada sumber energi angin yang dapat berubah-ubah pada setiap waktunya. Upaya yang dilakukan dalam mengatasi permasalahan pembangkit listrik tenaga angin adalah dengan menganalisa berbagai kajian teknis yang berhubungan dengan energi listrik terbarukan yang dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif yang berkelanjutan. Sehingga masyarakat umum dapat mengetahui dan mengembangkan pembangkit listrik tenaga angin dengan skala kecil untuk diaplikasikan pada rumah tinggal sederhana.

Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk menganalisa pemanfaatan pembangkit listrik tenaga angin sebagai penghasil energi listrik alternatif. Dengan melakukan analisa terhadap daya yang dihasilkan oleh turbin akibat pengaruh angin yang tidak terlalu besar, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai energi listrik yang berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh angin terhadap daya yang dihasilkan oleh turbin angin ?
2. Bagaimana mengetahui kecepatan putaran turbin terhadap pengaruh angin ?
3. Bagaimana mengetahui besar tegangan output yang dihasilkan generator terhadap kecepatan angin dan putaran turbin ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah, sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh angin terhadap daya yang dihasilkan oleh turbin angin.
2. Mengetahui kecepatan putaran turbin terhadap pengaruh angin.

3. Mengetahui besar tegangan output yang dihasilkan generator terhadap kecepatan angin dan putaran turbin.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat mengarah pada tujuan dan menghindari terlalu banyak permasalahan yang muncul, maka penulis memberikan batasan masalah yang sesuai dengan judul penelitian, adapun batasan masalah sebagai berikut :

1. Pembahasan hanya mengetahui pengaruh angin terhadap daya yang dihasilkan oleh turbin.
2. Pembahasan hanya mengetahui kecepatan putaran turbin pada saat pengaruh angin.
3. Pembahasan hanya mengetahui besar tegangan output yang dihasilkan generator terhadap kecepatan angin dan putaran turbin angin.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini, manfaat yang dapat diharapkan adalah :

1. Diharapkan masyarakat umum makin produktif dan berinovasi dalam pengembangan ilmu pengetahuan energi terbarukan khususnya energi listrik alternatif, dengan memanfaatkan energi alam sekitar.
2. Sehingga, dapat menjadi acuan atau sumber referensi untuk mendapatkan data yang berhubungan dengan pembangkit listrik tenaga angin.

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, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan konsep dasar teori yang menunjang kasus tugas akhir, memuat tentang dasar teori yang digunakan dan menjadi ilmu penunjang bagi penelitian, berkenaan dengan masalah yang diteliti yaitu komponen-komponen pembangkit listrik tenaga angin.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini akan menerangkan mengenai alat-alat, bahan dan lokasi pelaksanaannya pembuatan, pengujian alat, serta jalanya alat.

BAB IV ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

Bab ini memuat tentang analisa data dari hasil pengujian turbin angin.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

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

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Telaah Penelitian

Dari beberapa hasil peneliti sebelumnya yang telah melakukan penelitian tentang pembangkit listrik tenaga angin adalah.

Bagaskara, Sarwito, Kusuma (2011), Jurusan Teknik Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh November Analisa ini bertujuan untuk mengetahui aspek teknis dan ekonomis dari pemasangan turbin angin sebagai pembangkit listrik alternative di pulau panggang, kepulauan seribu. Serta mengetahui juga kebutuhan turbin angin dan konfigurasi yang tepat untuk pemenuhan kebutuhan daya listrik di pulau tersebut. Analisa yang telah dilakukan untuk menghasilkan data tentang kebutuhan turbin angin sebagai pembangkit listrik dipulau panggang dapat menguntungkan baik dari aspek teknis maupun dari aspek ekonomis. [2]

Sumiati, Amri, Hanif Politeknik Negri Padang (2014). Telah menganalisa pemanfaatan turbin angin dengan skala kecil pada rumah tinggal yang mampu di digunakan diatas atap pada rumah tinggal maupun gedung perkantoran. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, dengan adanya hasil data konstruksi turbin angin dan kecepatan angin pada wilayah pengujian, rata-rata kecepatan angin yang diperoleh pada wilayah tersebut adalah 2-6 m/s, maka jenis turbin angin yang digunakan adalah jenis savonius dikarenakan jenis turbin angin ini dapat beroperasi pada kecepatan angin rendah dengan putaran awal (starting) dapat terjadi pada kecepatan 2 m/sserta kontruksi yang sederhana. Dengan desain turbin yang dibuat adalah dalam bentuk savonius dua sudu dengan konstruksi overlap antara kedua sudu dengan tujuan untuk memanfaatkan tekanan angin balikan dari sudu pertama ke sudu kedua dan sebaliknya sehingga dapat meningkatkan putaran rotor. Rancangan turbin savonius di buat dalam empat tingkat, bahan yang dipakai untuk sudu turbin adalah alumunium dan jenis poros hollow. Generator yang dipakai adalah generator magnet permanen Panasonic dengan daya 400 watt dapat menghasilkan putaran rendah (150 rpm). Untuk dapat meningkatkan rpm yang sampai ke generator digunakan pula sistem transmisi sabuk dan pully dengan perbandingan pada transmisi 5:1 kemudian tipe

bearing yang digunakan adalah tipe ball bearing. Dari hasil pengujian diatas didapatkan daya maksimum yang dihasilkan sebesar 7,7 watt dengan kecepatan putar rotor 340 rpm dengan kecepatan angin yang dihasilkan 5,68 m/s dan C_p 0,3.[3]

Mustaqim (2016), parameter dalam penelitian ini adalah meliputi kecepatan sudu tanpa beban dan dengan beban, pengukuran arus, tegangan, daya, dan energi listrik yang dihasilkan. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa kecepatan angin mempengaruhi putaran turbin angin. Semakin kencang kecepatan angin semakin cepat putaran pada turbin. Pengujian dengan menggunakan tanpa beban dengan menggunakan variasi 3 sudu menghasilkan daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi 4 dan 5 sudu. Sementara pengujian dengan beban pada variasi 5 sudu menghasilkan daya yang lebih tinggi di bandingkan dengan variasi yang lain. Konstruksi turbin angin dengan variasi 5 sudu menghasilkan koefisien daya yang tinggi, hingga mencapai dua kali dari variasi 3 dan 4 sudu.[4]

Saputra, Despa, Soedjarwanto, samosir (2016) Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung penelitian menggunakan jenis prototype yang dapat digunakan sebagai sumber energy angin yang dapat menghasilkan energy listrik. Jenis prototype ini menggunakan baling-baling atau sudu yang tersambung dengan generator dan system utamanya yaitu sensor rotary encoder, sensor arus dan sensor tegangan. Untuk pemrosesannya menggunakan modul arduino uno dan penyimpanan data menggunakan modul data logger. Sedangkan untuk pengambilan data menggunakan sepeda motor dengan memanfaatkan tekanan angin pada saat sepeda motor berjala. Hasilnya di dapatkan persamaan hubungan antara perbandingan tegangan uji dengan tegangan perhitungan terhadap kecepatan putaran rotor generator, yaitu $y_{uji} = 0,007x + 0,004$ dan $y_{perhitungan} = 0,011x - 2,844$ dengan persentaase rata-rata eror ialah 15,04% untuk persamaan perbandingan arus uji dan arus perhitungan terhadap kecepatan putaran rotor pada generator ialah $y_{uji} = 0,000x + 0,0145$ dan $y_{perhitungan} = 0,002x - 0,498$ dengan persentase rata-rata eror adalah 31,09% sedangkan untuk hubungan hubungan putaran rotor generator terhadap kecepatan sepeda motor

(untuk kecepatan sepeda motor ≥ 30 km/jam) didapatkan persamaan $y = 25,40x - 342,9$. [5]

Nahkoda, Saleh (2015), Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Malang. Dalam hal penelitian ini di kembangkan pula prototype dengan model perancangan kincir angin pembangkit tenaga listrik sumbu vertikal menggunakan generator magnet permanen yang model konstruksinya dibuat portable sehingga dapat dirakit maupun dipindah-pindah dengan mudah sesuai kebutuhan. Prototype kincir angin sumbu vertikal model lenz II ini dirancang dengan menggunakan tiga buah blade dan PMG dengan sebuah stator dan dua rotor serta tiang penyangganya dengan seluruh bagian komponen konstruksinya dibuat portable. Dalam pengujian yang dilakukan dengan pengukuran tegangan generator tanpa beban pada kecepatan putar rotor generator sebesar 210 rpm sampai 500 rpm yang menghasilkan tegangan keluar sebesar 6 volt sampai 14,8 volt. Dari pengukuran putaran rotor generator setelah dipasang baterai dapat diketahui bahwa pada putar rotor generator 365 rpm sampai 450 rpm dapat menghasilkan tegangan keluar sebesar 12,2 voltsampai 14,8 volt dan arus listrik sebesar 1,73 Amper sampai 3,1 Amper. [6]

Aryanto, Mara, Nuarsa (2013), Jurusan Teknik Mesin Universitas Mataram. Dengan penggunaan turbin angin poros horizontal dapat meningkatkan efisiensinya untuk mendapatkan koefisien daya yang maksimal. Dalam objek penelitian ini pengujian performansi turbin angin poros horizontal dengan variasi kecepatan angin dan variasi jumlah blade. Pengujian ini dilakukan dengan sumber angin berasal dari sebuah kipas angin dengan wind tunnel untuk mengarahkan angin. Kecepatan angin yang digunakan terdapat tiga variasi yaitu 3 m/s, 3,5 m/s, dan 4 m/s serta variasi jumlah blade 3, 4, 5, dan 6 blade. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai η terbaik diperoleh pada kecepatan angin 4 m/s dengan jumlah blade 5 dengan nilai η 3,07% sedangkan untuk nilai terkecil diperoleh pada kecepatan angin 3m/s dengan jumlah blade 3 dengan nilai η 0,05%. Untuk nilai TSR maksimal pada kecepatan 4 m/s dengan jumlah blade 5 yaitu sebesar $\lambda = 2,11$ sedangkan nilai terendah pada kecepatan 3 m/s dihasilkan dengan jumlah blade 3 yaitu sebesar $\lambda = 1,49$. [7]

2.2 Teori dasar

2.2.1. Sudu (Baling-Baling)

Sudu atau baling-baling merupakan perangkat yang dapat bergerak apabila terhembus angin, baling-baling atau sudu berfungsi juga untuk memutar generator yang dapat menerima energy kinetik dari angin dan merubahnya menjadi energy gerak (mekanik) energi putar pada poros penggerak, baling-baling biasanya berjumlah paling sedikit 3 sudu atau lebih.

2.2.2. Angin

Angin merupakan udara yang bergerak dari akibat rotasi bumi dan perbedaan tekanan udara di sekelilingnya. Angin bergerak dari suatu tempat yang bertekanan udara tinggi ke tekanan udara yang rendah. Angin dapat bergerak ke tempat yang bertekanan udara yang tinggi ke tempat yang bertekanan udara yang rendah, hal ini diakibatkan apabila dipanaskan udara akan dapat memuai. Udara yang telah memuai menjadi lebih ringan sehingga dapat naik apabila hal ini terjadi, tekanan udara dapat turun karena adanya udara yang terkurung. Udara yang dingin di sekitarnya akan mengalir ke tempat yang bertekanan lebih rendah kemudian udara menyusut dan menjadi lebih berat massanya lalu turun ke tanah. Diatas tanah udara akan menjadi lebih panas lagi dan dapat naik kembali. Aliran naik udara panas dan turunnya udara dingin dinamakan konveksi.

Angin juga udara yang bergerak, dengan kerapatan tertentu. Angin mempunyai tekanan yang dinamik yang dapat di rumuskan sebagai berikut:

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

q = tekanan dinamik

ρ = kerapatan udara

V = kecepatan angin

Tekanan angin dinamik yang menerpa suatu luas sapuan tertentu akan menghasilkan gaya angin. Dengan demikian gaya angin yang diperoleh dari perkalian antara tekanan angin dan luas sapuan sebagai berikut:

$$F = q \cdot A$$

Dimana:

F = gaya angin

A = luas sapuan

Angin yang tertiuap menerpa rotor. Oleh karena itu luas sapuan dalam hal ini adalah luas rotor, yaitu:

$$A = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

D = diameter rotor

Secara definisi perkalian antara gaya angin dan kecepatan angin menghasilkan daya angin, yaitu:

$$P_{angin} = F \cdot v \dots\dots\dots(2.3)$$

Angin tertiuap menerpa rotor dengan luas sapuan tertentu. Namun tidak semua daya angin dapat diserap oleh rotor. Besarnya daya angin yang diserap oleh rotor adalah sangat tergantung oleh prestasi rotor, yang mana biasanya dinyatakan dalam koefisien daya, C_p . Berdasarkan hal tersebut maka dapat ditulis adalah:

$$P_{rotor} = C_p \cdot P_{angin} \dots\dots\dots(2.4)$$

Daya kinetic rotor selanjutnya disalurkan kesistem transmisi (gear box) dan generator untuk dikonversikan menjadi daya listrik. Kedua komponen tersebut tentunya mempunyai efisiensi masing-masing sehingga daya yang dihasilkan oleh turbin angin adalah sebagai berikut:

$$P_{turbin} = \eta_{transmisi} \eta_{generator} P_{rotor} \dots\dots\dots(2.5)$$

Selain dapat dipengaruhi oleh prestasi turbin angin itu sendiri, energy yang dihasilkan oleh turbin angin sendiri dalam jangka waktu yang tertentu juga di pengaruhi oleh potensi angin didaerah dimana dimana turbin angin tersebut dioperasikan. Tentunya semangkin tinggi kecepatan angin rata-rata, maka semangkin besar energy angin yang dihasilkan.

Salah satu perangkat lunak yang digunakan untuk dapat menganalisa pembangkit listrik tenaga angin dan potensi angin adalah WindPRO perangkat lunak ini terdiri dari beberapa modul dengan fungsi spesifik masing-masing. salah satunya adalah Modul Mateo yang dapat menghtung energy listrik yang dapat dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan data angin sebagai masukan. [9]

2.2.3. Asal Energi Angin

Energy angin adalah salah satu sumber energy terbarukan yang terdapat bebas di alam, hal ini dapat mengaju bahwa tidak semua energy yang yang dapat

diperbaharui seperti halnya energy pasang surut dan panas bumi yang beraasal dari matahari. Pada dasarnya matahari meradiasi $1,74 \times 1,017$ kilowatt/jam energy ke bumi setiap jamnya, dengan ini bumi menerima panas dari radiasi matahari sebesar $1,74 \times 1,017$ watt. Sekitar 1-2% dari energy tersebut diubah menjadi energy angin. Maka energy angin berjumlah sekitar 50-100 kali lebih banyak dari pada jumlah energy yang sudah diubah menjadi biomassa oleh tumbuh-tumbuhan yang ada dimuka bumi. Pada dasarnya angin terjadi karena adanya perbedaan temperature antara udara panas dan udara dingin. Pada daerah katulistiwa, yaitu pada busur 0° , adalah daerah yang mengalami pemanasan lebih banyak dari matahari dibandingkan pada daerah lainnya.[10]

2.2.4. Faktor Terjadinya Angin

Dalam peroses terjadinya angin di pengaruhi oleh beberapa factor yang menyebabkan angin dapat muncul antara lain sebagai berikut :

- a. Gradient barometris, adalah bilangan yang menampilkan adanya perbedaan tekanan udara dari dua isobar pada jarak 111 km. dimana semangkin besar gradient barometris maka semangkit cepat pula tiupan angin.
- b. Letak tempat angin yang lebih cepat berada pada garis katulistiwa, dari pada yang jauh garis katulistiwa.
- c. Tinggi rendahnya tempat atau lokasi dapat mempengaruhi energi angin karena semangkin tinggi tempat tersebut maka semangkin kencang angin yang terhembus, dan sebaliknya. Hal ini dapat terjadi karena disebabkan oleh pengaruh gaya gesek yang dapat menghambat laju kecepatan udara. Pada permukaan yang tidak merata seperti gunung, pohon dan tempat lainnya memberikan gaya gesekan yang besar pula.
- d. Waktu disiang hari angin bergerak lebih cepat dari pada malam hari

2.2.5. Sifat-Sifat Angin

Angin memiliki beberapa sifat diantaranya adalah sebagai berikut :

- a. Angin dapat mempercepat pendinginan dari benda-benda panas.
- b. Angin dapat menimbulkan tekanan yang dihasilkan dari permukaan yang menentang atau menghalangi arah laju angin tersebut.

- c. Kecepatan angin yang bervariasi berpinda dari suatu tempat ketempat yang lain, dan dari waktu ke waktu.

2.2.6. Jenis-Jenis Angin

Angin terbagi atas beberapa macam jenis antara lain adalah sebagai berikut :

- a. Angin laut dan angin darat

Angin laut adalah angin yang tiupanya yang berasal dari arah laut ke daratan, dimana pada umumnya terjadi pada saat siang hari tepatnya pada pukul 09.00 – 16.00. Angin ini biasanya dimanfaatkan oleh nelayan untuk pulang dari setelah penangkapan ikan di laut. Angin darat ini biasanya terjadi pada malam hari, tepatnya sekitar pukul 20.00 – 06.00.

- b. Angin lembah dan angin gunung

Angin lembah ialah angin yang hembusanya dari arah lembah ke arah puncak gunung biasanya angin lembah terjadi pada siang hari. Sedangkan angin gunung merupakan angin yang arah hembusanya dari pada puncak gunung ke lembah gunung dan biasanya angin gunung ini terjadi pada malam hari.

- c. Angin fohn

Angin fohn juga di sebut dengan angin jatuh, angin fohn merupakan angin yang terjadi sesuai dengan hujan orografis. Angin ini terhembus oleh suatu wilayah dengan temperature yang berbeda.

- d. Angin muson

Angin muson ialah angin yang tertiup secara priode yaitu minimal tiga bulan dimana priode satu dengan priode lainnya memiliki pola yang berlawanan dan bergantian arah secara berlawanan setiap setengah tahun. Angin muson terdapat dua jenis yang pertama angin muson barat merupakan angin yang berhembus dari benua asia (musim dingin) ke benua Australia (musim panas) dan mengandung curah hujan yang cukup banyak di Indonesia bagian barat, hal ini disebabkan karena ingin melewati tempat yang luas, seperti perairan dan samudra. Sedangkan yang kedua adalah angin muson timur ialah angin yang mengalir dari benua australia (musim dingin) ke benua asia (musim panas) memiliki sedikit curah hujan

(kemarau) pada bagian timur angin yang melewati celah-celah sempit dan berbagai gurun.

2.2.7. Proses Terjadinya Angin

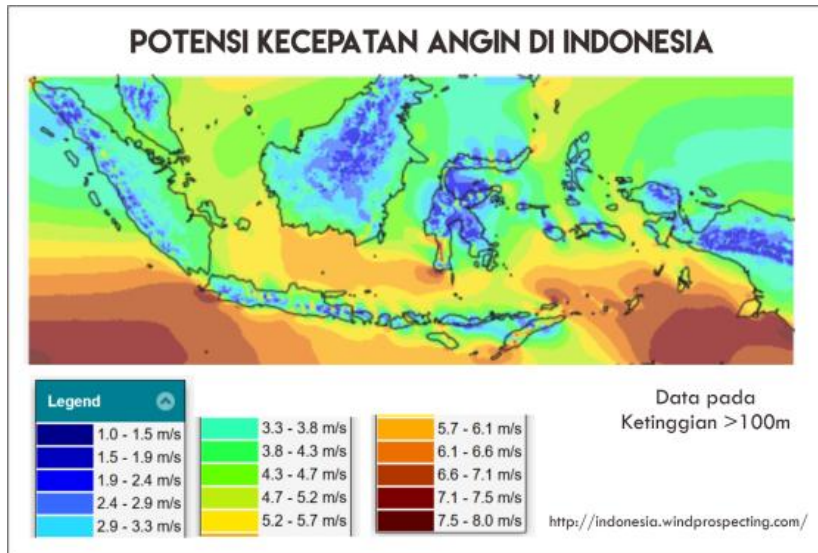
Jika dipanaskan, udara akan memuai udara yang telah memuai akan menjadi lebih ringan sehingga udara naik, jika hal tersebut terjadi maka tekanan udara turun dikarenakan udaranya berkurang. Sedangkan udara dingin di sekitarnya mengalir ketempat yang bertekanan rendah, lalu udara akan menyusut menjadi lebih berat dan turun kebawah atau ke tanah. Pada saat didekatkan dengan tanah udara akan menjadi lebih panas dan naik kembali. Naik turunnya aliran udara dari dingin ke rendah dinamakan konveksi.

2.3. Kecepatan Angin

Angin adalah udara yang bergerak akibat rotasi bumi dan perbedaan tekanan udara di sekelilingnya. Hal ini menunjukkan bahwa kincir angin akan bergerak mengikuti datangnya arah angin, maka energi yang dihasilkan dapat cukup maksimal. Dengan hasil data yang di peroleh rata-rata kecepatan angin sebesar 1,53 m/s dan tidak dapat menghasilkan tegangan keluaran. Sedangkan percobaan yang dilakukan diatas gedung bertingkat dengan hasil data yang diperoleh rata-rata kecepatan angin sebesar 5,52 m/s dan dapat menghasilkan tegangan keluaran sebesar 78,47 volt AC. Dalam metode penelitian ini generator dapat menghasilkan tegangan keluaran minimal kecepatan angin sebesar 2,5 m/s.

[1]

Kecepatan angin rata-rata di perairan Indonesia lebih besar dari 4,16 m/s terutama pada wilayah selatan katulistiwa. hal ini menunjukkan besarnya energi angin pada wilayah perairan Indonesia ialah dari 100 W/m² hingga lebih besar dari 1 KW/m². Dalam hal ini lokasi yang sangat potensial adalah laut hindia hingga nusa tenggara, laut arafuru hingga laut banda, selat karimata, laut jawa dan Sulawesi selatan. [8]



Gambar : 2.1 Potensi Kecepatan Angin Di Indonesia

2.3.1 Alat Ukur Angin

Kecepatan angin ditentukan dari perbedaan tekanan udara antara tempat asal tujuan angin dan resistansi medan yang dilaluinya. Untuk pengukuran kecepatan angin diperlukan sebuah alat yang disebut dengan anemometer.

2.3.1.1 Anemometer

Anemometer merupakan alat untuk mengukur kecepatan angin. Alat ini merupakan sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin dan juga untuk mengukur arah, anemometer merupakan alat yang sering digunakan oleh Badan Meterologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Kata anemometer berasal dari kata Yunani *anemos* yang berarti angin.



Gambar : 2.2 Anemometer

Anemometer ini pertama kali diperkenalkan oleh Leon Battista Alberti dari Italia pada tahun 1450. Anemometer harus ditempatkan di daerah terbuka, pada saat tertiup angin, baling-baling atau mangkok yang terdapat pada anemometer

akan bergerak sesuai arah angin. Makin besar angin meniup mangkok-mangkok tersebut, makin cepat pula kecepatan angin untuk berputarnya piringan mangkok. Dari jumlah putaran dalam satu detik maka dapat diketahui kecepatan angin tersebut. Didalam anemometer terdapat alat untuk pencacah yang akan menghitung kecepatan angin.

2.3.1.2 Fungsi Anemometer

Fungsi utama pada anemometer adalah sebagai berikut :

- a. Memperkirakan cuaca
- b. Memperkirakan tinggi gelombang laut
- c. Memperkirakan kecepatan dan arah arus
- d. Menghitung kecepatan angin

Anemometer terbagi dari dua jenis yaitu, anemometer yang mengukur tekanan angin (pressure anemometer) dan anemometer untuk mengukur kecepatan angin (velocity anemometer). Diantara kedua jenis ini velocity anemometer inilah yang banyak digunakan.

2.3.1.3 Pressure Anemometer

- a. Tube Anemometer

Anemometer James Lind 1775 terdiri dari kaca tabung berbentuk U yang berisi cairan manometer (pengukuran tekanan), dengan salah satu ujung membungkuk dalam arah horizontal untuk menghadapi angin dan ujung vertikal lainnya tetap sejajar dengan aliran angin. Jika angin tertiup kedalam mulut tabung itu menyebabkan peningkatan tekanan pada satu sisi manometer. Perubahan cairan yang dihasilkan dalam tabung U merupakan indikasi kecepatan angin.

- b. Plate Anemometer

Plate anemometer pertama dan hanya menggunakan piring datar dan ditempatkan dari atas sehingga melewati piring. Pada tahun 1450, seni arsitek Italia Leon Battista Alberti menemukan anemometer mekanis pertama, pada tahun 1664 kembali ditemukan oleh Robert Hooke. Plate anemometer sering digunakan pada tempat-tempat yang tinggi karena berbentuk plate (piringan) yang memiliki pengukuran yang sangat baik pada ketinggian.

2.3.1.4 Velocity Anemometer

a. Windmill Anemometer

Perangkat lain dari anemometer adalah bentuk kincir angin atau baling-baling berbentuk panjak (vertikal). Dimana dalam hal ini pergerakan arah angin selalu sama, seperti dalam poros ventilasi tambang dan bangunan seperti, baling-baling angin yang dikenal sebagai meter air dapat memberikan hasil yang maksimal.

b. Cup Anemometer

Suatu perangkat anemometer yang sangat sederhana di ciptakan pada tahun 1846 oleh Dr John Thomas Romney Robinson dari Armagh Observatory. Perangkat anemometer ini terdiri dari tiga cup setengah lingkaran yang terpasang pada tiap ujung gagang horizontal. Aliran udara yang melewati masing-masing cup dan memutar masing-masing tiap gagang horizontal berdasarkan angin yang datang. Karena itu, menghitung putaran poros selama periode waktu yang ditetapkan akan menghasilkan kecepatan angin rata-rata.

c. Hot-wire Anemometer

Perangkat ini disebut juga sebagai anemometer kawat panas menggunakan kawat yang sangat halus dan dipanaskan. Udara yang mengalir melewati kawat memiliki efek pendinginan pada kawat. Hot-wire anemometer memiliki kawat yang sangat halus, dan memiliki frekuensi-respon yang sangat tinggi dan resolusi spasial yang baik dibandingkan dengan metode pengukuran lainnya, perangkat ini hampir secara universal digunakan untuk pengukuran studi arus turbulen.

d. Ping-Pong Ball Anemometer

Perangkat ini di ciptakan berdasarkan bola ping-pong yang melekat pada string. Ketika angin berhembus, perangkat ini akan menekan dan menggerakkan bola, karena bola ping-pong sangat ringan dan dapat bergerak dengan mudah melalui sumber angin yang sangat kecil.

e. Sonic Anemometer

Perangkat ini pertama kali dikembangkan pada tahun 1950, dengan menggunakan perambatan gelombang suara ultrasonik untuk mengukur

kecepatan angin. Dalam mengukur kecepatan angin berdasarkan jam terbang sonic pulses antara pasangan transduser.

f. Acoustic Resonance Anemometer

Prangkat ini merupakan varian yang lebih baru dari sonic anemometer. Perangkat ini diciptakan oleh Dr Savvas Kapartis dan dipatankan (Acu-Res[®]) oleh FT teknologi pada tahun 2000. Anemometer sonic konvensional tergantung pada waktu pengukuran penerbangan, sensor resonansi akustik menggunakan beresonansi akustik (ultrasonik).

g. Laser Doppler Anemometer

Pada jenis perangkat ini menggunakan sinar dari cahaya laser yang terbagi menjadi dua balok, dengan satu disebarkan dari anemometer. Partikulat yang mengalir bersama dengan molekul udara dekat tempat keluar balok mencerminkan, atau backscatter, lampu kembali ke detector dimana diukur relative terhadap sinar laser asli. Keetika partikel berada dalam gerakan yang besar, maka dapat menghasilkan pergeseran Doppler untuk mengukur kecepatan angin di sinar laser yang digunakan untuk menghitung kecepatan partikel udara di sekitar anemometer.

2.4. Turbin Angin

Turbin angin ialah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik yang di hasilkan oleh turbin angin. Turbin angin pada dasarnya diciptakan untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan pekerjaan penggilingan padi, keperluan pada saluran irigasi dan lain-lain. turbin angin awalnya banyak di bangun di negara denmark, belanda dan negara eropa lainnya yang dikenal dengan sebutan windmill yang memiliki potensi sumber angin cukup besar.

Saat ini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan energi listrik terbarukan dengan skala kecil maupun besar, dengan menggunakan prinsip konversi energy listrik dan menggunakan sumber daya alam yang dapat di perbaharui yang tidak akan perna habis dalam jangka waktu yang sangat lama. Walaupun dengan demikian, sampai saat ini pembangunan pembangkit energi listrik turbin angin masih belum bisa menyaingi pembangkit listrik yang ada sekarang ini contohnya (PLTD, PLTU, dan lai-lain). Hal ini turbin

angin masih terdapat banyak kekurangan dan perlu pengembangan oleh para ahli untuk penggunaan yang sempurna. Dalam waktu yang sangat dekat penggunaan energi fosil akan berkurang akibat tidak dapat terbaharui lagi contohnya (batubara, minyak bumi dan lain-lain) sebagai bahan dasar pembangkit energi listrik konvensional. [10]

Prinsip dasar kerja dari turbin angin ini adalah mengubah energi mekanis yang dihasilkan oleh angin menjadi energi gerak atau putar pada kincir angin. Lalu putaran yang dihasilkan oleh kincir angin secara bersamaan dapat memutar generator dan akhirnya menghasilkan energi listrik. Dalam proses tersebut tidaklah mudah untuk menghasilkan energi listrik yang sempurna dimana terdapat beberapa sistem yang dapat meningkatkan safety dan efisiensi dari turbin angin yaitu :

a. Gearbox

Alat ini berfungsi untuk mengubah putaran rendah pada kincir menjadi putaran tinggi. Biasanya gearbox yang digunakan sekitar 1 : 60.

b. Breaker sistem

Sistem ini digunakan untuk menjaga putaran pada poros setelah gearbox agar bekerja pada titik aman saat terdapat angin yang sangat besar. Alat ini perlu dipasang karena generator memiliki titik kerja yang aman dalam pengoperasiannya.

c. Generator

Alat ini salah satu komponen terpenting dalam pembuatan sistem turbin angin. Generator dapat mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Prinsip kerja dapat dipelajari dengan menggunakan teori elektromagnetik. Singkatnya mengacu pada salah satu kerja generator. Poros generator dipasang dengan material ferromagnetic permanen dan di sekeliling poros terdapat stator yang bentuk fisisnya adalah kumparan-kumparan kawat yang membentuk loop. Ketika poros generator mulai bergerak maka akan terjadi perubahan fluks pada stator yang akhirnya dapat dihasilkan tegangan dan arus listrik tertentu. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan ini dapat disalurkan melalui kabel jaringan listrik yang

dihasilkan oleh generator berupa AC (alternating current) yang memiliki bentuk gelombang sinusoidal.

d. Penyimpan energi

Karena keterbatasan ketersediaan akan energi angin maka ketersediaan listrik pun tidak menentu. Oleh karena itu digunakan alat untuk menyimpan energi yang berfungsi sebagai back-up energi listrik. Ketika angin pada suatu daerah sedang menurun, maka kebutuhan permintaan akan daya listrik tidak dapat terpenuhi. Maka sebab itu diperlukanya untuk menyimpan energi yang dihasilkan ketika terjadi kelebihan daya pada saat turbin angin berputar sangat kencang. Contoh sederhana alat yang dapat menyimpan energy seperti Aki mobil memiliki kapasitas penyimpanan energy yang cukup besar, Aki 12 volt 65 Ah dapat dipakai untuk mencatu rumah tangga kurang lebih selama 0,5 jam pada daya 780 watt. Kendala dalam menggunakan alat ini adalah memerlukan catu daya DC (Direct Current) untuk meng-charger/mengisi energi, sedangkan dari generator dihasilkan catu daya AC (Alternating Current).

e. Rectifier-Inverter

Rectifier yang berarti penyearah, rectifier dapat menyearahkan gelombang sinusoidal AC (Alternating Current) yang dihasilkan oleh generator menjadi gelombang DC (Direct Current). Inverter berarti pembalik ketika dibutuhkan daya dari penyimpan energy (aki) maka catu yang dihasilkan oleh aki akan berbentuk gelombang DC. Kebanyakan kebutuhan rumah tangga menggunakan catu daya AC, maka diperlukan inverter untuk mengubah gelombang DC yang dikeluarkan oleh aki menjadi gelombang AC agar sesuai dengan kebutuhan peralatan kelistrikan dengan tegangan yang standar.

2.5. Jenis Turbin Angin

2.5.1. Turbin Angin Sumbu Horizontal

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di atas puncak menara turbin angin. turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang

dihubungkan ke sebuah servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah gearbox yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat. Karena sebuah menara mnghasilkan turbulensi di belakangnya, turbin biasanya di arahkan melawan arah angin menara. Bilah-bilah turbin dibuat kaku agar tidak terdorong kearah menara dikarenakan kecepatan angin. Sebagai tambahan bilah-bilah itu ditempatkan di depan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan. Karena turbulensi mengakibatkan kerusakan struktur menara.



Gambar : 2.3 Turbin Angin Sumbu Horizontal

Kelebihan turbin angin poros horizontal adalah sebagai berikut :

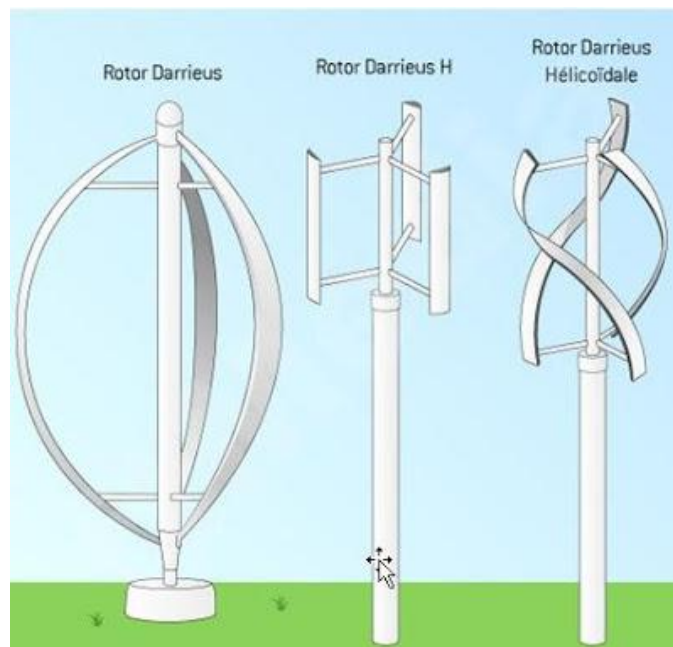
1. Karena turbin angin poros horizontal membutuhkan tiang yang tinggi maka angin yang didapat akan lebih baik.
2. Mampu mengoprasikan pada kecepatan angin yang tinggi.
3. Pendirian konstruksi tidak membutuhkan area yang luas
4. Dapat dimanfaatkan untuk pertanian garam dan perairan untuk proses tertentu.

Kekurangan turbin angin poros horizontal adalah sebagai berikut :

1. Perawatan menjadi lebih sulit karena poros rotornya berada tinggi diatas.
2. Membutuhkan konstruksi yang tinggi maka biaya yang dikeluarkan menjadi lebih besar.
3. Turbin masih perlu adanya mekanisme tambahan agar poros dapat menyesuaikan dengan datangnya arah angin.[11]

2.5.2. Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin sumbu vertikal tegak lurus (TASV) memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama turbin angin sumbu vertikal ialah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang anginnya tidak menentu, turbin angin sumbu vertikal mampu beroperasi pada berbagai arah angin yang datang. Menggunakan jenis sumbu vertikal, generator serta gearbox bisa ditempatkan di dekat tanah, sehingga menara tidak perlu menyokong beban peralatan turbin angin dan lebih mudah untuk setiap perawatannya. Hal ini menyebabkan sejumlah desain tenaga putar yang berdenyut. Drag gaya yang menahan sebuah pergerakan benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) hal ini bisa saja tercipta saat kincir angin berputar. Karena sulit dipasang diatas menara, turbin sumbu tegak sering dipasang lebih dekat ke dasar tempat diletakan seperti tanah, puncak, dan atap sebuah bangunan.[10]



Gambar : 2.4 Turbin Angin Sumbu Vertikal

Pada umumnya bentuk turbin angin yang banyak digunakan adalah turbin angin sumbu horizontal (Horizontal Axis Wind Turbine-HAWT). Walaupun begitu turbi angin sumbu vertikal menjadi alternatif untuk menghasilkan energi listrik disebabkan pula oleh beberapa keuntungan, seperti desain yang sederhana,

tip speed ratio yang rendah sehingga tidak mengalami kerusakan pada kecepatan tinggi, dan baling-baling turbin angin yang memiliki arah vertikal dimana gerakan sudu sangat sejajar arah angin sehingga turbin akan responsif terhadap arah angin dan tidak memerlukan yaw mechanism sebagai pengatur arah turbin.[12]

Kelebihan turbin angin poros vertikal adalah sebagai berikut :

1. Turbin angin poros vertikal dapat menerima angin dari segala arah.
2. Komponen-komponen turbin angin poros vertikal dapat dipasang dekat dengan permukaan tanah
3. Turbin angin poros vertikal mudah dijangkau dan mudah di perbaiki.
4. Turbin angin poros vertikal tidak memerlukan konstruksi menara yang tinggi sehingga material yang digunakan tidak begitu banyak dan biaya juga lebih murah.

Kekurangan turbin angin poros vertikal adalah sebagai berikut :

1. Karena umumnya dipasang dekat dengan permukaan tanah, kualitas angin yang diterima turbin vertikal menjadi kurang lebih baik.
2. Pengaruh gaya sentrifugal pada tiap sudu mempengaruhi tegangan yang dihasilkan sudu-sudu.
3. Turbin angin poros vertikal memiliki torsi yang rendah, sehingga dibutuhkan energi awalan agar turbin dapat berputar. [11]

2.6. Energi Angin

Perumusan angin menurut ilmu fisika klasik energi kinetik dari sebuah benda dengan massa (m), dan kecepatan (v) adalah $E = 0,5 m \cdot v^2$

Dengan asumsi bahwa kecepatan (v) tidak mendekati kecepatan cahaya. Rumusan tersebut diatas berlaku juga untuk menghitung energi kinetik yang diakibatkan gerakan energi angin.

Udara yang memiliki massa (m) dan kecepatan (v) akan menghasilkan energi kinetik sebesar :

$$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana : m = massa udara (kg)
 E = energi (joule)
 v = kecepatan angin (m/detik)

Angin ialah udara yang bergerak, karena udara yang mempunyai massa maka energy yang ditimbulkan dapat dihitung berdasarkan energy kinetik yang dirumuskan sebagai berikut :

$$EK(\text{Energi Kinetik}) = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana : m = massa (kg) (1 kg = 2,2 pounds)
 v = kecepatan angin (m/detik) (meter = 3,281 feet = 39,37 inches)

2.6.1 Daya Energi Angin

Biasanya perubahan waktu ke waktu dari pada energi. Karena energy = tenaga waktu dan massa udara lebih mudah dinyatakan sebagai density, maka persamaan energi kinetik diatas menjadi persamaan aliran.

Tenaga pada permukaan kincir angin adalah :

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana : P = Tenaga dalam watt (746 watt = 1Hp) (1.000 watt = 1kilowatt).
 ρ = Densiti udara (1.225kg/m³ at permukaan laut).
 A = Permukaan kincir (m²).
 v = kecepatan angin dalam meter/detik (20 mph = 9 meter/detik)
 (mph/2.24 = meter/detik).

Dimana untuk mendapatkan luas area penangkap angin (A) adalah sebagai berikut :

$$A = \frac{1}{4} \pi D \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan : D = diameter turbin angin

Persamaan ini merupakan tenaga dari aliran udara secara bebas. Tidak semua tenaga ini dapat diambil karena ada aliran udara yang lewat melalui kincir (hanya dinding tegak lurus arah angin yang dapat mengambil 100% energi aliran angin). Sehingga dapat diturunkan persamaan baru yang lebih praktis untuk kincir angin. Tenaga kincir angin :

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot Cp \cdot v^3 \cdot Ng \cdot Nb \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana : P = Tenaga dalam watt (746 watt = 1Hp) (1.000 watt = 1kilowatt).
 ρ = Densiti udara (1.225 kg/m³ at permukaan laut).
 A = Permukaan kincir (m²).

Cp = Koefisien kinerja (maksimum teoritis = 0.59 [Betz Limit] desain = 0.35).

Ng = Efisiensi generator (50% alternator mobil, 80% atau lebih untuk permanen magnet generator).

Nb = Efisiensi gearbox/bearing (jika bagus dapat mencapai 95%).

Dan untuk mengetahui daya atau energi yang dikeluarkan oleh alternator berdasarkan kecepatan angin dan diameter baling-baling telah diketahui diameternya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P = \frac{1}{2}v^3D^2 \text{ watt} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

- P = Daya atau energy (watt)
- v = Kecepatan aliran udara (m/det)
- D = Diameter baling-baling (m)

2.7. Konsep Dasar Sistem Konversi Energi Listrik

Dalam suatu sistem konversi energy angin yang bertujuan untuk mengubah energy potensial angin menjadi energy mekanik poros oleh rotor kemudian diubah lagi oleh alternator menjadi listrik. Dalam prinsip utamanya adalah mengubah energi kinetik yang dimiliki angin menjadi energi kinetik poros. Besar energi yang diperoleh dapat ditransferkan ke rotor tergantung pada massa jenis udara, luas area rotor dan kecepatan angin. Hal ini akan dibahas dalam persamaan-persamaan sebagai berikut :

$$E = \frac{1}{2}mv^2(NM) \dots\dots\dots(2.12)$$

- Dimana : m = massa udara yang bergerak (kg)
- v = Kecepatan angin (m/s)

Energi kinetik yang terkandung dalam angin inilah yang ditangkap oleh turbin angin untuk memutar rotor, dengan menganggap suatu penampang yang melintang (A) dimana udara dengan kecepatan (v) mengalami pemindahan volume untuk setiap suatu waktu, yang disebut dengan aliran volume (V) sebagai persamaan :

$$V = vA (m^3/s) \dots\dots\dots(2.13)$$

- Dimana : V = laju kecepatan volume (m³/s)
- v = kecepatan angin (m/s)

$A =$ Luas area sapuan motor (m^2)

Sedangkan aliran massa dengan kerapatan udara ρ sebagai :

$$m = \rho v A \text{ (kg/s)} \dots\dots\dots(2.14)$$

Persamaan-persamaan diatas menunjukkan energy kinetic dan aliran massa yang melewati suatu penampang melintang A sebagai energy P yang ditunjukkan dengan mensubtitusikan persamaan menjadi :

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \text{ (w)} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

$P =$ daya mekanik (W)

$v =$ kecepatan angin (m/s)

$\rho =$ densitas udara (ρ rata-rata $1,2 \text{ kg/m}^3$)

2.7.1 Densitas Massa

Densitas massa atau massa jenis udara merupakan pengukuran massa udara terhadap volume udara, yang dapat dirumuskan seperti :

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dan juga dapat dituliskan :

$$m = \rho \cdot V$$

Dengan m adalah massa udara (kg), ρ adalah densitas massa atau massa jenis udara (kg/m^3) dan V adalah volume udara (m^3).

2.7.2 Kecepatan

Kecepatan adalah perpindahan benda dalam suatu jarak tertentu terhadap waktu yang ditempuh, dapat ditulis sebagai

$$v = \frac{x}{t} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dengan v adalah kecepatan (m/s), x adalah jarak yang ditempuh (m) dan t adalah waktu yang dibutuhkan selama perpindahan (s)

2.7.3 Koefisien Daya

Kofisien daya adalah hal penting dalam merancang turbin angin karena menunjukkan berapa besar energy angin yang dapat di ekstraksi dari energy kinetic angin yang melalui penampang rotor. Koefisien daya sangat mempengaruhi kinerja turbin angin dan prinsip koversi energy anginnya, sehingga keluaran daya dari rotor dinyatakan dengan.

$$P = \frac{1}{2} \rho A (v_1^2 - v_2^2) (v_1 + v_2) \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana : v_1 = kecepatan angin sebelum melewati turbin.

v_2 = kecepatan angin setelah melewati turbin.

Sedangkan daya yang melewati penampang motor adalah :

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho \cdot v_1^3 A \dots\dots\dots(2.19)$$

Eisiensi perbandingan antara daya keluaran turbin terhadap daya total yang melalui penampang rotor disebut koefisien daya C_p

$$C_p = \frac{P}{P_0} = \frac{\frac{1}{4} \rho \cdot A (v_1^2 - v_2^2) (v_1 + v_2)}{\frac{1}{2} \rho \cdot v_1^3 A} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana : C_p = koefisien daya (power coefficient)

P = daya mekanik yang dihasilkan turbin (watt)

P_0 = daya mekanik total yang terkandung dalam angin yang melalui A (watt).

2.7.4. Energi Listrik

Energy listrik yang dimaksud adalah energy akumulasi yang dihasilkan oleh kincir angin dalam satuan watt jam, dimana diperoleh dari perhitungan sebagai berikut :

$$E = V \cdot I \cdot t \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana :

E = energi listrik (watt jam)

V = tegangan (volt)

I = arus (ampere)

t = waktu (jam)

2.7.5. Torsi

Torsi adalah hasil perkalian besarnya gaya pembebanan dengan panjang lengan torsinya sehingga dapat dirumuskan.

$$T = F \cdot \ell \dots\dots\dots(2.22)$$

Dengan T adalah torsi (Nm), F adalah gaya pembebanan (N) dan ℓ adalah lengan torsi (m).

2.7.6. Kecepatan Sudut

Kecepatan sudut atau dalam kasus ini kecepatan ujung sudu merupakan kecepatan ujung sudu terhadap satu kali putaran poros setiap detik, maka dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \dots\dots\dots(2.23)$$

Dengan ω adalah kecepatan sudut (rad/s) dan n adalah kecepatan rotor (rpm)

2.7.7. Tip Speed Ratio (TSR)

Tip speed ratio adalah perbandingan kecepatan linier ujung sudu terhadap kecepatan angin yang datang. Dengan perbandingan tersebut dapat dituliskan persamaan sebagai

$$TSR = \frac{\omega r}{v} \dots\dots\dots(2.24)$$

Dengan tsr adalah tip speed ratio (λ), ω adalah kecepatan ujung sudu (rad/s), r adalah jari-jari rotor turbin dan v adalah kecepatan angin (m/s).

2.7.8. Betz Limit

Daya pada angin tidak akan dapat ditangkap seluruhnya oleh rotor sehingga sebagian udara masih bergerak menuju belakang rotor. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa lebih banyak angin yang melintas melalui rotor dibandingkan dengan angin yang menerpa rotor turbin. Perlakuan koefisien daya maksimal rotor ideal idealnya sebesar 59%-60% sedangkan dalam kenyataan kebanyakan turbin angin modern memiliki $C_p \max$ dalam jangkauan 35%-45%.

Power coefficient maximum ($C_p \max$) didapat dari perbandingan antara daya rotor terdapat daya yang disediakan oleh angin dengan demikian persamaan dapat dituliskan sebagai

$$C_{Pmax} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.25)$$

Dengan $C_p \max$ adalah koefisien daya (%), P_{out} adalah daya keluaran rotor (watta) dan P_{in} adalah daya yang disediakan angin (watt).

2.7.9. Tip Speed Ratio

Tip speed ratio (rasio kecepatan ujung) ialah rasio dalam kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. Untuk kecepatan angin nominal tertentu, tip speed ratio akan berpengaruh pada kecepatan putar rotor. Turbin angin yang

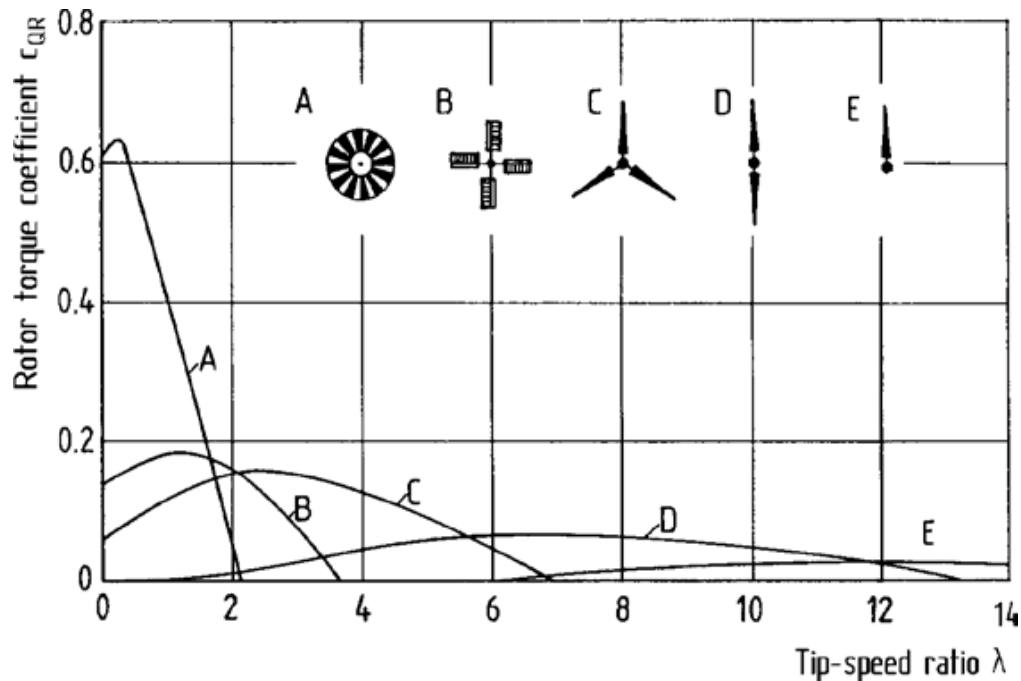
berjenis lift akan memiliki tip speed ratio yang relative lebih besar dibandingkan dengan turbin angin tipe drag. Tip ratio dapat dihitung dengan persamaan:

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60 v} \dots\dots\dots(2.26)$$

Dimana:

- λ = tip speed ratio
- D = diameter rotor (m)
- n = putaran rotor (rpm)
- v = kecepatan angin (m/s)

grafik dibawah ini menunjukkan variasi nilai tip speed ratio dan koefisien daya C_p untuk berbagai macam turbin. [10]



Gambar : 2.5 Tip Speed Ratio Pada Berbagai Macam Turbin

2.8. Sistem Transmisi Daya

Ketika putaran rotor dan daya motor sudah ditentukan, maka generator yang digunakan akan dipilih. Generator yang tersedia di pasaran memiliki karakteristik yang yang berbeda satu sama yang lain. Setiap generator memiliki kondisi kerja masing-masing. Untuk meneruskan daya yang dihasilkan rotor ke generator, perlu system konfigurasinya disesuaikan dengan kebutuhan daya yang ditransmisikan, putaran, dan konfigurasi disesuaikan dengan kebutuhandaya yang ditransmisikan, putaran dan konfigurasi turbin angin. Sistem transmisi daya dapat

dikelompokkan menjadi tiga kelompok menurut rasio putaran masukan dan keluarannya yaitu:

- a. Direct drive
- b. Speed reducing
- c. Speed increasing

Direct drive yang dimaksud adalah transmisi daya langsung dengan menggunakan poros dan pasangan kopling, yang penting dalam sistem transmisi direct drive adalah tidak ada penurunan atau peningkatan putaran. Sistem transmisi speed reducing adalah sistem transmisi daya dengan penurunan putaran, putaran keluar lebih rendah dari pada putaran masuk. Sistem transmisi ini digunakan untuk meningkatkan momen gaya. Dan yang terakhir adalah sistem transmisi speed increasing, yaitu putaran keluar lebih tinggi dari putaran masuk, terjadi kenaikan putaran dengan konsekuensi momen gaya keluar menjadi lebih kecil. Pada penerapannya, sistem transmisi direct drive hanya menggunakan poros dan kopling jika diperlukan. Konstruksi direct drive sederhana dibandingkan yang lainnya dan tidak memerlukan banyak ruang. Sedangkan untuk penerapan sistem transmisi speed reducing dan speed increasing diperlukan mekanisme pengubah putaran seperti pasangan roda gigi, atau sabuk dan puli.

Turbin angin yang putaran rotornya berada dalam selang putaran kerja generator, maka transmisi daya yang digunakan adalah direct drive, rotor menggerakkan generator secara langsung. Sedangkan transmisi speed increasing karena pada umumnya putaran yang diperlukan generator lebih tinggi dari pada putaran rotor.

2.9. Generator

Generator adalah perangkat elektronik mekanik yang mengubah besaran energi mekanik menjadi energi listrik bolak-balik. Kebanyakan generator menggunakan rotating magnetic field, akan tetapi adakalanya alternator linier digunakan. Pada dasarnya, setiap generator AC disebut sebagai alternator, akan tetapi istilah tersebut disama-artikan dengan mesin putaran kecil yang dikendalikan oleh automotif atau mesin pembakaran internal. Salah satu contoh alternator digunakan sebagai mesin pembangkit listrik arus bolak-balik dengan tenaga turbin uap yang sering dikenal sebagai turbo-alternator. Generator

menimbulkan listrik sama prinsipnya dengan generator DC, yaitu saat generator medan magnet di sekitar konduktor berubah, timbul arus didalam konduktor. Magnet yang berputar disebut juga sebagai rotor berputar didalam suatu rangkaian tetap konduktor yang terbuat dari inti besi berkumparan (inti besi yang dililiti oleh konduktor), yang disebut dengan stator. Medan magnet terpotong secara tepat oleh konduktor, menimbulkan arus listrik, dan yang menyebabkan rotor berputar yaitu berupa masukan mekanik. Medan magnet berputar menginduksi tegangan AC pada lilitan stator. Seringkali terdapat delapan buah lilitan stator. Medan magnet berputar dapat dihasilkan melalui induksi (pada alternator tanpa sikat), melalui magnet permanen (pada mesin yang berukuran kecil). Medan magnet berputar dapat dihasilkan pula melalui medan lilitan tetap dengan kutub yang berputar pada rotornya. Mesin dengan magnet permanen mencegah kehilangan daya ketika arus listrik mengalir pada rotor untuk menghasilkan medan magnet, akan tetapi penggunaannya terbatas pada ukuran, dan biaya material magnet. Sejak medan magnet permanen konstan, terminal tegangan bervariasi langsung terhadap kecepatan dari generator. Generator AC tanpa sikat merupakan mesin yang besar jika dibandingkan dengan mesin berputar yang digunakan sebelumnya.[10]

2.9.1 Generator Arus Searah (DC)

Generator arus searah mempunyai komponen dasar yang umumnya hampir sama dengan komponen mesin-mesin listrik lainnya. Secara garis besar generator DC adalah alat konversi energi mekanis berupa putaran menjadi energi listrik arus searah. Energi mekanik selanjutnya digunakan untuk memutar kumparan kawat penghantar didalam medan magnet yang berdasarkan hukum Faraday, dan pada kawat penghantar akan timbul ggl bila kawat tersebut merupakan rangkaian tertutup, maka akan timbul arus induksi. [5]

Prinsip kerja dari generator DC sama dengan prinsip kerja generator AC namun pada generator DC arah arus induksinya tidak berubah. Hal ini disebabkan oleh cincin belah komutator. Komutator yang menyebabkan terjadinya komutasi, peristiwa komutasi merubah arus yang dihasilkan generator menjadi searah. Berdasarkan sumber arus kemagnetannya bagi kutub magnet buatan tersebut generator arus searah dapat dibedakan menjadi:

- a. Generator dengan penguat terpisah, bila arus kemagnetan diperoleh dari sumber tenaga listrik arus searah diluar generator.
- b. Generator dengan penguat sendiri, bila arus kemagnetan bagi-bagi kutub magnet berasal dari generator itu sendiri.

Berdasarkan hubungan lilitan penguat magnet dengan lilitan jangkar generator penguat sendiri dibedakan atas:

- a. Generator shunt
Generator shunt adalah generator penguat sendiri dimana lilitan penguat magnetnya dihubungkan shunt atau paralel dengan lilitan jangkar.
- b. Generator seri
Generator seri ialah generator penguat sendiri dimana lilitan magnetnya dihubungkan seri dengan lilitan jangkar.
- c. Generator kompon
Generator kompon adalah generator arus searah yang lilitan penguat magnetnya terdiri dari lilitan penguat shunt dan lilitan penguat seri. Generator kompon terdiri dari dua jenis generator yaitu:
 - a. Generator kompon panjang
Generator ini merupakan generator dengan lilitan penguat sendiri serinya terletak pada rangkaian jangkar.
 - b. Generator kompon pendek
Generator ini merupakan generator dengan kompon yang lilitan penguat serinya terletak pada rangkain beban.[13]

2.9.2. Generator Arus Bolak-Balik (AC)

Bagian utama generator AC terdiri atas magnet permanen (tetap), kumparan (solenoida). Cincin geser, dan sikat, pada generator. Perubahan garis gaya magnet diperoleh dengan cara memutar kumparan didalam medan magnet permanen. Karena dapat dihubungkan dengan cincin geser, perputaran kumparan yang menimbulkan GGL induksi AC hal ini ditunjukkan oleh menyalnya lampu pijar yang disusun seri dengan kedua sikat. Sebagai percobaan faraday, GGL induksi yang di timbulkan oleh generator AC dapat diperbesar dengan cara

- a. Memperbanyak lilitan kumparan

- b. Menggunakan magnet permanen yang lebih kuat.
- c. Mempercepat perputaran kumparan, dengan menyisipkan inti besi lunak kedalam kumparan.

Contoh generator AC yang sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari adalah dynamo sepeda. Bagian utama dynamo sepeda adalah sebuah magnet tetap dan kumparan yang disisipi besi lunak. Jika magnet tetap diputar, perputaran tersebut menimbulkan GGL induksi pada kumparan. Jika sebuah lampu pijar (lampu sepeda dipasang pada kabel yang menghubungkan kedua ujung kumparan, lampu tersebut akan dilalui arus induksi AC. Akibatnya, lampu tersebut menyala. Nyala lampu akan semakin terang jika perputaran magnet magnet tetap makin cepat (laju sepeda semakin kencang).

2.10 Tegangan Listrik

Tegangan listrik ialah jumlah energi yang dibutuhkan untuk memindahkan muatan listrik dari tempat satu ketempat lainnya dengan satuan volt tegangan listrik juga disebut dengan beda potensial listrik karena dasarnya tegangan listrik adalah perbedaan potensial antara dua titik dalam rangkaian listrik. Benda yang memiliki potensial listrik lebih tinggi mempunyai muatan positif lebih banyak dari benda lainnya.

Sebuah sumber tegangan listrik yang konstan biasanya disebut dengan tegangan DC (tegangan searah) Contoh yang menghasilkan tegangan DC yang stabil adalah baterai dan pcatuan daya seperti menghasilkan tegangan DC 1,5V, 3V, 5V, 9V, 12V dan 24V sedangkan tegangan listrik yang bervariasi secara berkala dengan waktu disebut tegangan AC (tegangan bolak balik). Tegangan AC biasanya dipakai untuk peralatan rumah tangga dan industri. Tegangan Ac di Indonesia adalah 220V. Berikut dibawah ini adalah symbol tegangan DC dan tegangan AC :

2.10.1. Alat Ukur Tegangan

Alat yang dipergunakan untuk mengukur besar tegangan listrik, antara lain: voltmeter, dan osiloskop. Voltmeter bekerja dengan cara mengukur arus dalam sirkuit ketika dilewatkan melalui resistor dengan nilai tertentu. Sesuai hukum Ohm, besar tegangan sebanding dengan besar arus untuk nilai resistansi sama. Prinsip kerja potensiometer adalah menimbang tegangan yang diukur

dengan tegangan yang sudah diketahui besarnya dengan menggunakan sirkuit jembatan. Sedang osiloskop bekerja dengan cara menggunakan tegangan yang diukur untuk membelokkan elektron di layar monitor, sehingga di layar akan tercipta grafik dari elektron yang telah dibelokkan. Grafik ini sebanding dengan besar tegangan yang diukur.

2.10.2. Arus Listrik

Arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang disebabkan dari pergerakan electron-elektron, mengalir melalui suatu titik dalam sirkuit listrik tiap satuan waktu. Arus listrik dapat diukur dalam satuan coulomb/dekit atau ampere. Arus Listrik juga mengalirnya pada 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 electron.

Untuk mendapatkan arus searah dari arus bolak-balik dengan menggunakan metode atau sistem :

1. Saklar berfungsi untuk menghubungkan singkatkan ujung-ujung kumparan. Prinsip kerjanya adalah sebagai berikut :
Bila kumparan jangkar berputar, maka pada kedua ujung kumparan akan timbul tegangan yang sinusoidal. Bila setengah priode tegangan positif saklar dihubungkan, maka tegangan menjadi nol.
2. Sistem komutator berfungsi sebagai saklar yaitu untuk menghubungkan singkatkan kumparan jangkar, komutator berupa cincin belah yang dipasang pada ujung kumparan jangkar.

2.11. Power Supply

Power Supply DC berfungsi sebagai sumber tegangan searah berbagai peralatan elektronik yang berperan penting untuk menjalankan suatu sistem elektronik. Tidak ada satu pun perangkat elektronik yang dapat bekerja tanpa power supply. Tegangan output yang dihasilkan oleh sebuah power supply disesuaikan dengan kebutuhan perangkat elektronik misalnya 5 Volt DC, 10 Volt

DC, 12 Volt DC, 48 Volt DC bahkan di antaranya ada yang memerlukan supply tegangan DC sampai ratusan Volt. Untuk menghasilkan tegangan DC diperlukan sistem regulator DC yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan output stabil setelah tegangan sumber AC dari PLN diturunkan dan dikonversi menjadi tegangan DC (searah).

2.11.1 Baterai

Baterai pembangkit listrik tenaga matahari pada umumnya hanya aktif pada saat siang hari (pada saat sinar matahari ada). Sehingga untuk keperluan malam hari solar cell tidak dapat digunakan. Untuk mengatasi hal tersebut, maka energi yang dihasilkan solar cell pada siang hari disimpan sebagai energi cadangan pada saat matahari tidak tampak. Untuk menyimpan energi tersebut dipakai suatu baterai sebagai penyimpanan muatan energi. Baterai digunakan untuk sistem pembangkit tenaga listrik matahari mempunyai fungsi yang ganda. Di satu sisi baterai berfungsi sebagai penyimpanan energi, sedang disisi lain baterai harus dapat berfungsi sebagai satu daya dengan tegangan yang konstan untuk menyuplai beban. Menurut penggunaan baterai dapat diklasifikasikan menjadi:

a. Baterai Primer

Baterai primer hanya digunakan dalam pemakaian sekali saja. Pada waktu baterai dipakai, material dari salah satu elektroda menjadi larut dalam elektrolit dan tidak dapat dikembalikan dalam keadaan semula.

b. Baterai Sekunder

Baterai sekunder adalah baterai yang dapat digunakan kembali dan kembali dimuati. Pada waktu pengisian baterai elektroda dan elektrolit mengalami perubahan kimia, setelah baterai dipakai, elektroda dan elektrolit dapat dimuati kembali, kondisi semula setelah kekuatannya melemah yaitu dengan melewati arus dengan arah yang berlawanan dengan pada saat baterai digunakan. Pada saat dimuati energi listrik diubah dalam energi kimia. Jadi, dapat kita ketahui bahwa fungsi baterai pada rancangan pembangkit tenaga surya ini adalah untuk menyimpan energi yang dihasilkan solar cell pada siang hari, tujuannya adalah untuk menyimpan energi listrik cadangan ketika cuaca mendung atau hujan serta pada malam hari.

Dengan demikian dapat bekerja sesuai dengan kebutuhan. Baterai yang digunakan adalah jenis asam timbal (baterai basah) yang dapat diisi ulang cairan kimia dan energi listrik.

2.11.2 Perhitungan Daya Tahan Baterai

Intensitas arus listrik didefinisikan sebagai muatan listrik yang lewat per satuan waktu melalui suatu penampang daerah dimana muatan mengalir, seperti penampang tabung pemacu atau kawat logam. Karena itu jika dalam waktu t , N partikel bermuatan yang masing-masing membawa muatan q , lewat melalui suatu penampang medium penghantar, maka muatan total yang lewat adalah $Q = Nq$; dan intensitas listriknya adalah :

$$I = \frac{Q}{t} \dots\dots\dots(2.27)$$

Dimana:

I = Kuat arus listrik dalam satuan ampere

Q = muatan listrik dalam satuan coulomb (setara dengan ampere second/ampere detik)

t = Waktu dalam satuan detik.

Dari persamaan di atas, persamaan muatan listrik dapat diperoleh diperoleh yaitu:

$$Q = I.t \dots\dots\dots(2.28)$$

Perhitungan daya tahan baterai dihitung dari persamaan :

$$t = \frac{Q}{I} \dots\dots\dots(2.29)$$

Dari persamaan tegangan diperoleh :

$$V = I.R \dots\dots\dots(2.30)$$

$$I = \frac{V}{R}$$

2.12. Menghitung Kecepatan Angin Rata-Rata

Angin yang berhembus memiliki kecepatan yang berbeda-beda tiap waktunya. Sebelum melakukan perhitungan untuk mengetahui daya yang dihasilkan oleh turbin angin juga harus mengetahui kecepatan angin rata-rata anginyang tertiuip pada suatu wilayah pengujian. Untuk menghitung kecepatan rata-rata angin digunakan persamaan :

$$v = \sum_{i=1}^N \frac{v_i}{N} \dots\dots\dots(2.31)$$

Dimana :

v_i = Nilai angin sesaat

N = Banyaknya pengamatan

v = Kecepatan angin rata-rata

BAB 3

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dan pembuatan laporan tentang penganalisaan pemanfaatan turbin angin sebagai energi alternatif. dilakukan pada tanggal 15 januari 2019 sampai dengan selesai, Tempat di laboratorium Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Jalan muchtar basri No.03 Medan.

3.2 Peralatan dan bahan penelitian

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

3.2.1. Peralatan penelitian

a. Anemometer

Anemometer adalah alat ukur yang dapat mengukur kecepatan angin, dan juga dapat mengukur arah angin dengan satuan m/s.

b. Tachometer

Tachometer atau secara umum yang sering juga disebut *rpm* ialah suatu alat yang dapat mengukur kecepatan putaran mesin khususnya jumlah putaran yang dilakukan oleh sebuah poros dalam satu satuan waktu.

c. Multitester

Multitester adalah alat ukur multifungsi yang dapat mengukur tegangan output generator.

d. Tang-Ampere

Tang-ampere adalah alat ukur yang dapat mengukur arus yang dihasilkan oleh turbin angin.

3.2.2. Bahan penelitian

a. Turbin angin jenis vertikal

Penelitian ini menggunakan turbin angin sumbu vertikal dengan 8 sudu/baling-baling dengan panjang 0,99 meter atau 99 cm, lebar 0,11meter atau 11 cm. Diameter turbin sebesar 0,58 meter atau 58 cm, dengan tinggi turbin sebesar 2,35 meter atau 235 cm.

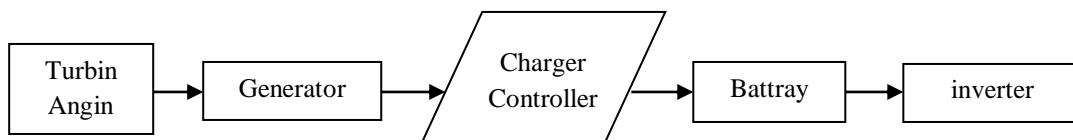
b. Generator DC

Generator berfungsi sebagai penghasil energi listrik berupa arus searah yang diputar oleh turbin angin untuk mengubah energi mekanis menjadi energi. Generator dalam penelitian ini berkapasitas maksimal 12 volt DC.

3.3. Blok Diagram Penelitian

Urutan penelitian dan analisa data dituangkan dalam blok diagram 3.1 yakni penelitian diawali dengan memahami dan mempelajari pemanfaatan turbin angin sebagai penghasil energi listrik alternatif.

Penganalisaan sendiri dilakukan dengan mengamati pengaruh kecepatan angin terhadap daya yang dihasilkan oleh turbin, mengetahui kecepatan putaran turbin terhadap pengaruh angin, mengetahui besar tegangan output yang dihasilkan generator. Setelah semua data terkumpul dan dirasa cukup kemudian dilanjutkan dengan menulis laporan penelitian. Penelitian ini akan diakhiri saat penyusunan laporan telah selesai dan melaporkan hasil penelitian kepada dosen pembimbing yang telah ditentukan.



Gambar : 3.1. Blok Diagram

3.2. Diagram Alir Penelitian

Keterangan dari diagram alir Penelitian adalah sebagai berikut :

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 pemanfaatan turbin angin sebagai energi alternatif dan daya yang dihasilkan turbin.

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, alat ukur anemometer, multimeter, tang-ampere.

c. Melakukan pengukuran

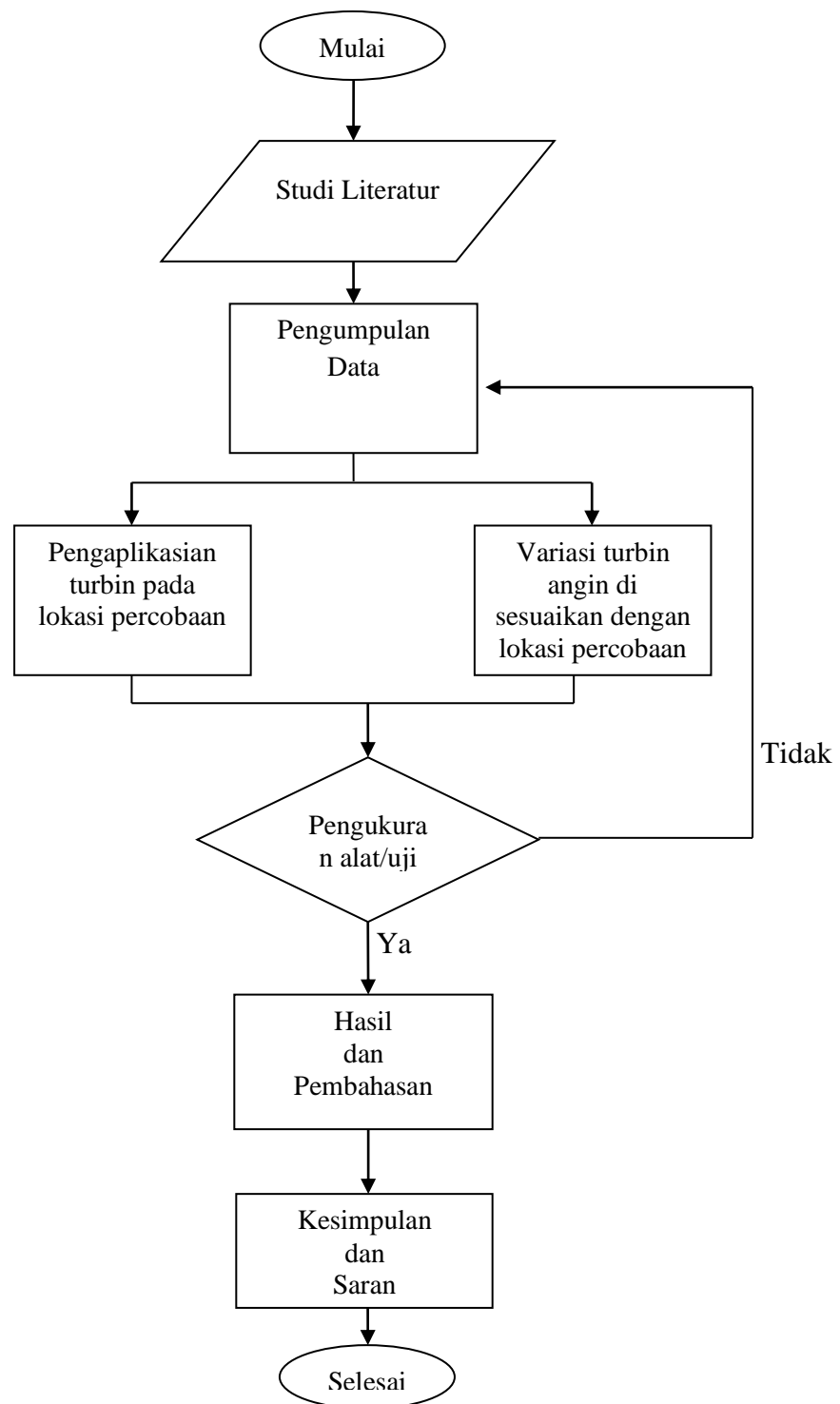
Setelah melakukan persiapan peralatan kemudian dilanjutkan dengan pengukuran dengan menggunakan anemometer, multimeter, tang-ampere dan tachometer.

d. Analisa data

Setelah dilakukanya pengukuran kemudian dilanjutkan dengan analisa data dengan menulis persamaan rumus. Data dimasukkan kedalam lembar kerja berupa tabel data, dan grafik sehingga memudahkan dalam pengolahan data tersebut.

e. Kesimpulan

Dari data yang sudah diolah dalam bentuk tabel dapat diambil beberapa kesimpulan. seperti berapa daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan pengaruh angin yang di peroleh dilokasi percobaan dan kesimpulan lainnya



Gambar : 3.2. Diagram Alir Penelitian

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisa terhadap daya (watt) turbin angin berdasarkan pengaruh angin angin, pengaruh angin terhadap putaran yang dihasilkan turbin, dan juga mengetahui besar tegangan output generator yang dihasilkan terhadap kecepatan angin dan putaran turbin (rpm). Penelitian ini dilakukan dalam lima kali percobaan dengan selang waktu yang berbeda-beda dengan variasi kecepatan angin yang berbeda pada setiap waktunya.

4.1. Pengaruh Angin Terhadap Daya Yang Dihasilkan Oleh Turbin

Metode yang digunakan adalah pengukuran terhadap kecepatan angin dengan menggunakan anemometer dan pengukuran putaran turbin menggunakan thacometer digital. Dibawah ini adalah tabel dan grafik pengaruh angin terhadap daya turbin.

No.	Waktu Percobaan	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Turbin (rpm)	Daya Turbin (watt)
1	09.00-11.00	1,1 m/s	33,8	1,05 watt
2	11.00-13.00	2,1 m/s	36,4	2,28 watt
3	13.00-15.00	2,6 m/s	55	4,77 watt
4	15.00-17.00	2,5 m/s	47,6	3,93 watt
5	17.00-17.00	2,8 m/s	59,3	5,52 watt

Tabel 4.1 Pengaruh angin terhadap daya turbin

Untuk menghitung luas sapuan angin dengan menggunakan rumus dari persamaan 2.9. perhitungan dilakukan pada diameter turbin dan jari-jari turbin, maka dapat menjadi:

$$\begin{aligned} A &= \pi \cdot r^2 \\ &= 3,14 \cdot 0,29^2 \\ &= 0,10 \text{ m}^2 \text{ atau } 10 \text{ cm} \end{aligned}$$

Untuk menghitung massa jenis udara dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}} = \frac{1,1}{0,1} = 11 \text{ kg/m}^3$$

4.1.1. Menghitung Daya Turbin Pada Percobaan Pertama

Untuk menghitung kecepatan ujung sudu atau kecepatan sudut dapat menggunakan data kecepatan putar turbin sebesar 33,8 (rpm) pada tabel 4.1, dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \\ &= \frac{2 \times 3,14 \times 33,8}{60} \\ &= 3,53 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

Untuk menghitung torsi dengan gaya sebesar 1,21 N dan panjang jari-jari sebesar 0,29 m, maka dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}T &= F \cdot r \\ &= 1,21 \times 0,29 \\ &= 0,3 \text{ Nm}\end{aligned}$$

Maka dapat dihitung P_{angin} (watt) dengan menggunakan persamaan 2.8. Massa jenis udara sebesar 11 (kg/m^3), ketinggian turbin sebesar 1,025 (m), diameter turbin sebesar 0,58 (m), dan kecepatan angin sebesar 1,1 (m/s). Maka dapat dihasilkan daya angin sebesar:

$$\begin{aligned}P_{\text{angin}} &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 11 \times 1,025 \times 0,58 \times 1,1^3 \\ &= 4,35 \text{ watt}\end{aligned}$$

Dari hasil persamaan T dan ω diatas maka dapat dihasilkan daya turbin angin sebesar:

$$\begin{aligned}P_{\text{turbin}} &= T \cdot \omega \\ &= 0,3 \times 3,53 \\ &= 1,05 \text{ watt}\end{aligned}$$

4.1.2. Menghitung Daya Turbin Pada Percobaan Kedua

Menghitung kecepatan sudu atau kecepatan sudut dapat menggunakan data kecepatan putaran turbin sebesar 36,4 (rpm) pada tabel 4.1, dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \\ &= \frac{2 \times 3,14 \times 36,4}{60} \\ &= 3,80 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

Untuk menghitung torsi dengan gaya sebesar 2,31 (N), dan panjang jari-jari sebesar 0,29 (m), maka dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}T &= F \cdot r \\ &= 2,31 \times 0,29 \\ &= 0,6 \text{ Nm}\end{aligned}$$

Maka dapat dihitung P_{angin} (watt) dengan menggunakan persamaan 2.8. Massa jenis udara sebesar 11 (kg/m^3), ketinggian turbin sebesar 1,025 (m), diameter turbin sebesar 0,58 (m), dan kecepatan angin sebesar 2,1 (m/s). Maka dapat dihasilkan daya angin sebesar:

$$\begin{aligned}P_{\text{angin}} &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \\ &= \frac{1}{2} \times 11 \times 1,025 \times 0,58 \times 2,1^3 \\ &= 30,9 \text{ watt}\end{aligned}$$

Dengan hasil persamaan T dan ω diatas maka dapat dihasilkan P_{turbin} (watt) sebesar:

$$\begin{aligned}P_{\text{turbin}} &= T \cdot \omega \\ &= 0,6 \times 3,80 \\ &= 2,28 \text{ watt}\end{aligned}$$

4.1.3. Menghitung Daya Turbin Pada Percobaan Ketiga

Menghitung kecepatan sudu atau kecepatan sudut dengan menggunakan data kecepatan putaran turbin sebesar 55 (rpm) pada tabel 4.1, dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \\ &= \frac{2 \times 3,14 \times 55}{60} \\ &= 5,75 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

Untuk menghitung torsi dengan gaya sebesar 2,86 (N), dan panjang jari-jari sebesar 0,29 (m), maka dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}
 T &= F \cdot r \\
 &= 2,86 \times 0,29 \\
 &= 0,83 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

Maka dapat di hitung P_{angin} (watt) dengan menggunakan persamaan 2.8. Massa jenis udara sebesar 11 (kg/m^2), ketinggian turbin sebesar 1,025 (m), diameter turbin sebesar 0,58 (m), dan kecepatan angin sebesar 2,6 (m/s). Maka dapat dihasilkan daya angin sebesar:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{angin}} &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \\
 &= \frac{1}{2} \times 11 \times 1,025 \times 0,58 \times 2,6^3 \\
 &= 57,4 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

Dengan hasil persamaan T dan ω diatas maka dapat dihasilkan P_{turbin} (watt), sebesar:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{turbin}} &= T \cdot \omega \\
 &= 0,83 \times 5,75 \\
 &= 4,77 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

4.1.4 Menghitung Daya Turbin Pada Percobaan Keempat

Menghitung kecepatan sudu atau kecepatan sudut dengan menggunakan data kecepatan turbin sebesar 47,6 (rpm) pada tabel 4.1, dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \omega &= \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \\
 &= \frac{2 \times 3,14 \times 47,6}{60} \\
 &= 4,98 \text{ rad/s}
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung torsi dengan daya gaya sebesar 2,75 (N), dan panjang jari-jari sebesar 0,29 (m), maka dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}
 T &= F \cdot r \\
 &= 2,75 \times 0,29 \\
 &= 0,79 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

Maka dapat dihitung P_{angin} (watt), dengan menggunakan persamaan 2.8. Massa jenis udara sebesar 11 (kg/m^2), ketinggian turbin sebesar 1,025 (m),

diameter turbin sebesar 0,58 (m), dan kecepatan angin sebesar 2,5 (m/s). Maka dapat dihasilkan daya angin sebesar:

$$\begin{aligned} P_{\text{angin}} &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \\ &= \frac{1}{2} \times 11 \times 1,025 \times 0,58 \times 2,5^3 \\ &= 51,1 \text{ watt} \end{aligned}$$

Dengan hasil persamaan (T) dan (ω) diatas maka dapat dihasilkan P_{turbin} (watt), sebesar:

$$\begin{aligned} P_{\text{turbin}} &= T \cdot \omega \\ &= 0,79 \times 4,98 \\ &= 3,93 \text{ watt} \end{aligned}$$

4.1.5. Menghitung Daya Turbin Angin Pada Percobaan Kelima

Menghitung kecepatan asudu atau kecepatan sudut dengan menggunakan data kecepatan putaran turbin sebesar 59,3 (rpm), Pada tabel 4.1, dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \\ &= \frac{2 \times 3,14 \times 59,3}{60} \\ &= 6,2 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

Untuk menghitung torsi dengan gaya sebesar 3,08 (N), dan panjang jari-jari sebesar 0,29 (m), maka dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} T &= F \cdot r \\ &= 3,08 \times 0,29 \\ &= 0,89 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Maka dapat dihitung P_{angin} (watt), dengan menggunakan persamaan 2.8. Massa jenis udara sebesar 11 (kg/m^3), ketinggian turbin sebesar 1,025 (m), diameter turbin sebesar 0,58 (m), dan kecepatan angin sebesar 2,8 (m/s). maka dapat dihasilkan daya angin sebesar:

$$\begin{aligned} P_{\text{turbin}} &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \\ &= \frac{1}{2} \times 11 \times 1,025 \times 0,58 \times 2,8^3 \\ &= 71,7 \text{ watt} \end{aligned}$$

Dengan hasil penelitian (T) dan (ω) diatas maka dapat dihasilkan P_{turbin} (watt), sebesar:

$$\begin{aligned} P_{\text{turbin}} &= T \cdot \omega \\ &= 0,89 \times 6,2 \\ &= 5,52 \text{ watt} \end{aligned}$$

4.1.6. Menghitung Rata-Rata

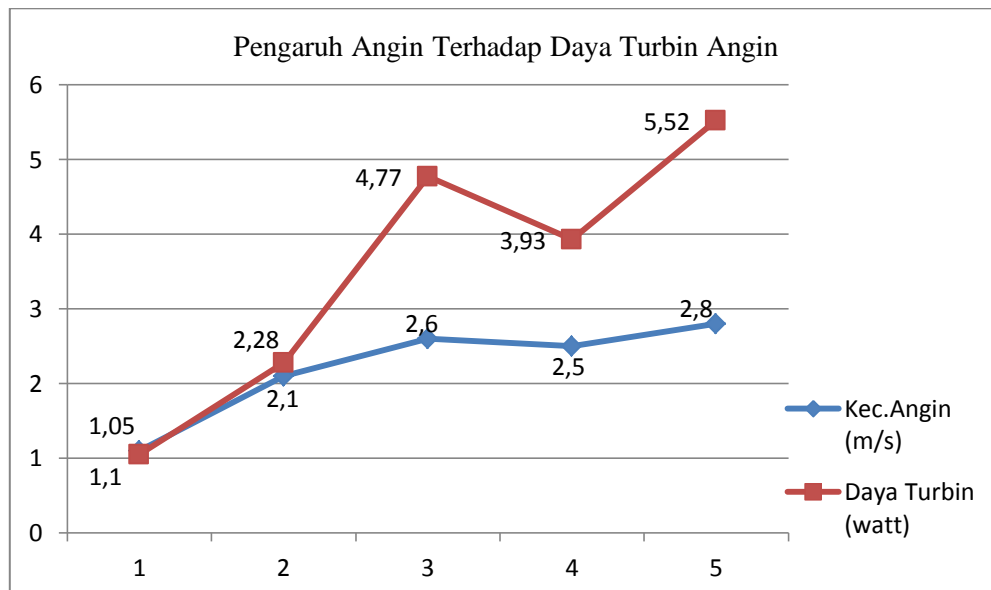
Dari hasil penelitian diatas didapatkan rata-rata dari kecepatan angin dan rata-rata daya turbin angin sebesar.

$$\begin{aligned} \text{Wind (rata - rata)} &= \frac{\sum W}{n} \\ &= \frac{1,1+2,1+2,6+2,5+2,8}{5} \\ &= 2,22 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{turbin}}(\text{rata - rata}) &= \frac{\sum P_{\text{turbin}}}{n} \\ &= \frac{1,05+2,28+4,77+3,93+5,52}{5} \\ &= 3,51 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Putaran Turbin} &= \frac{\sum \text{putran turbin}}{n} \\ &= \frac{33,8+36,4+55+47,6+59,3}{5} \\ &= 46,42 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Dari persamaan tabel 4.1 dapat diketahui pengaruh angin terhadap daya yang dihasilkan turbin angin, dengan menggunakan grafik dibawah ini.



Gambar 4.1 Grafik pengaruh angin terhadap daya turbin.

Pengaruh angin yang sangat penting dalam melaksanakan pengoprasian pembangkit listrik tenaga angin, yang bersumber dari energi angin. Angin sendiri merupakan energi kinetik yang dibutuhkan dalam suatu proses pengoprasian turbin angin. Dari hasil penelitian yang diperoleh dengan melakukan percobaan, penganalisaan turbin angin maka didapatkan variasi dari kecepatan angin dengan waktu yang berbeda, pada tabel 4.1. Dengan data yang diperoleh dengan mengukur kecepatan angin maka angin yang diperoleh sebesar 1,1 m/s, 2,1 m/s, 2,5 m/s, 2,6 m/s, dan 2,8 m/s, kecepatan angin rata-rata yang diperoleh adalah sebesar 2,22 m/s. Angin yang merupakan energi yang berpengaruh terhadap kerja turbin angin, untuk menghasilkan putaran turbin dengan maksimal memenuhi kebutuhan sumber energi alternatif yang diperlukan.

Energi kinetik yang bersumber dari angin berpengaruh terhadap daya turbin yang dihasilkan tergantung pada kecepatan angin. Semakin besar angin yang berhembus maka semakin besar pula energi kinetik yang dihasilkan dan kemudian di konversikan menjadi daya turbin. Daya turbin yang dihasilkan pada penelitian ini sebesar 1,05 watt, 2,28 watt, 3,93 watt, 4,77 watt, 5,52 watt, dengan variasi kecepatan angin pada tabel 4.1. Daya turbin rata-rata yang di peroleh sebesar 3,51 watt. Pengaruh angin sangat besar terhadap turbin, semakin besar

angin yang diperoleh maka semakin besar pula daya yang dihasilkan oleh turbin.

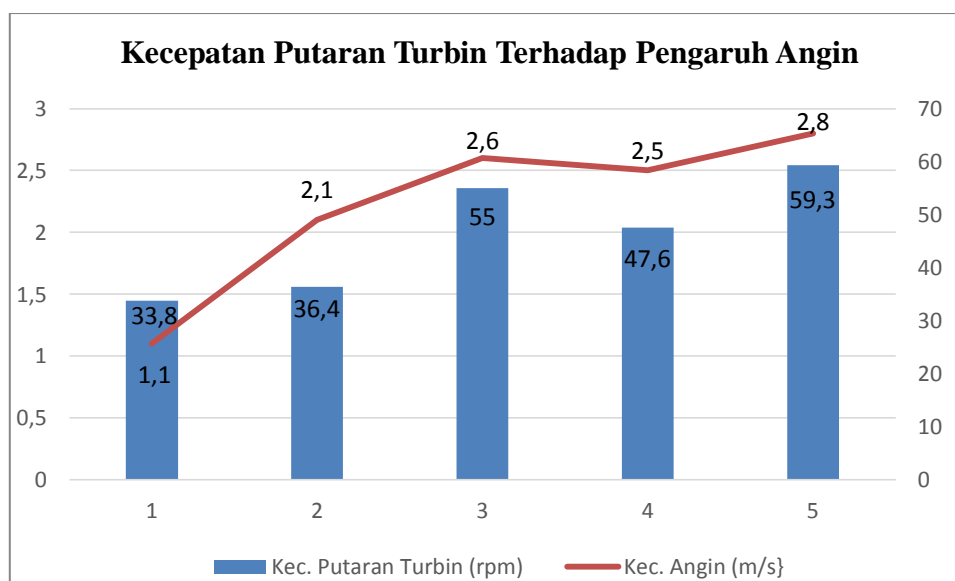
4.2 Kecepatan Putaran Turbin Pada Saat Pengaruh Angin

Metode yang dilakukan ini adalah sebuah analisa yang menggunakan pengukuran dengan sebuah alat tachometer yang dapat menghitung jumlah putaran turbin (rpm). Turbin dapat berputar dikarenakan pengaruh besaran angin yang berhembus. Dibawah ini adalah tabel dan grafik antara kecepatan putaran turbin pada saat pengaruh angin dengan kecepatan angin sebesar 1,1m/s, 2,1m/s, 2,6m/s, 2,5m/s, 2,8m/s dengan waktu percobaan yang berbeda.

No.	Waktu Percobaan	Suhu C ⁰	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Turbin (rpm)
1.	07.00-09.00	29 C ⁰	1,1 m/s	33,8
2.	09.00-11.00	30 C ⁰	2,1 m/s	36,4
3.	11.00-13.00	30 C ⁰	2,6 m/s	55
4.	13.00-15.00	30,4 C ⁰	2,5 m/s	47,6
5.	15.00-17.00	30,6 C ⁰	2,8 m/s	59,3

Tabel 4.2 Pengaruh Angin Terhadap Putaran Turbin

Dari persamaan tabel 4.2 dapat diketahui bahwa pengaruh angin terhadap putaran turbin. Dengan menggunakan grafik dibawah ini.



Gambar 4.2 Grafik kecepatan putaran turbin terhadap pengaruh angin

Dari data tabel dan grafik 4.2 dapat dilihat bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan putaran turbin yang dihasilkan dengan arti semakin

besar angin yang diperoleh turbin maka semakin besar pula putaran turbin yang dihasilkan. Angin yang diperoleh adalah 1,1 m/s – 2,8 m/s dengan putaran turbin sebesar 33,8 rpm – 59,3 rpm. Dari grafik diatas putaran maksimal sebesar 59,3 rpm dengan kecepatan angin maksimal 2,8 m/s. sedangkan untuk putaran turbin minimalnya adalah 33,8 rpm dengan kecepatan angin minimal 1,1 m/s.

Untuk nilai rata-rata yang diperoleh pada kecepatan angin adalah sebesar 2,22 m/s dan untuk rata-rata putaran turbin yang diperoleh adalah sebesar 46,42 rpm. Hal ini berkaitan dengan dengan analisa pada pengaruh angin terhadap daya yang dihasilkan turbin pada 4.1. keterkaitan ini terjadi karena factor kecepatan angin sebagai penghasil energi kinetik yang mempengaruhi putaran turbin dengan kecepatan tertentu sehingga putaran yang dihasilkan oleh turbin dapat berupa daya (watt). Pada putaran 33,8 rpm maka daya yang dihasilkan sebesar 1,05 watt, putaran 36,4 rpm daya yang dihasilkan sebesar 2,28 watt, putaran 55 rpm daya yang dihasilkan sebesar 4,77 watt, putaran turbin 47,6 rpm daya yang dihasilkan sebesar 3,93 watt, putaran turbin 59,3 rpm daya yang dihasilkan sebesar 5,52 watt. Kecepatan putan turbin sangat berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan turbin.

4.3. Mengetahui Besar Tegangan Output yang Dihasilkan Generator Terhadap kecepatan angin dan Putaran Turbin.

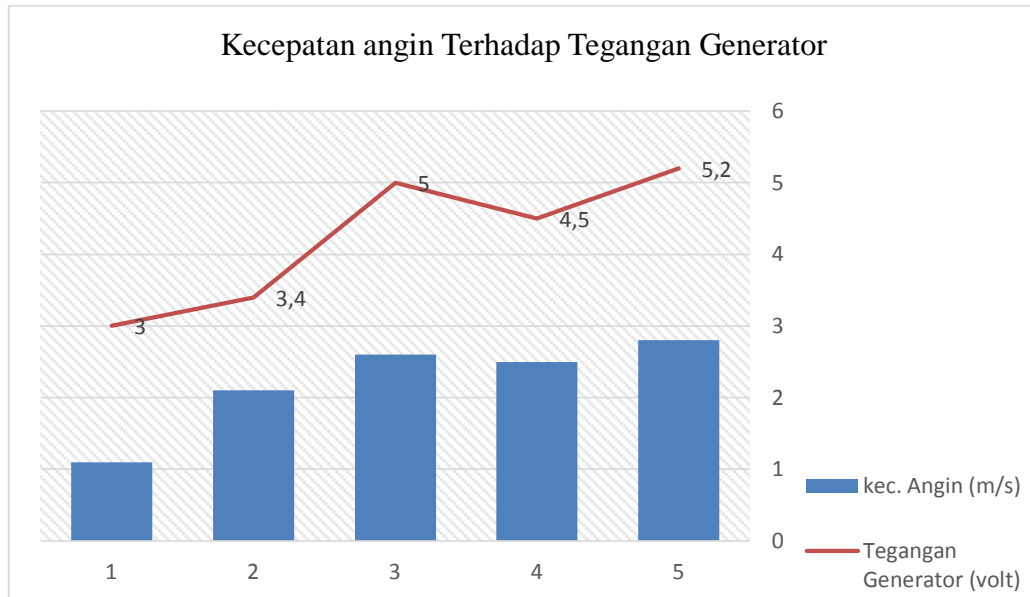
Dengan mengetahui tegangan pada output generator terhadap kecepatan putaran turbin angin. Metode yang digunakan untuk mengetahui tegangan pada generator adalah dengan cara mengukur tegangan output generator dengan multimeter. Hal ini dapat dilihat pada tabel 4.3.

No.	Percobaan	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Turbin (rpm)	Tegangan Generator (volt)
1.	Pertama	1,1 m/s	33,8	3
2.	Kedua	2,1 m/s	36,4	3,4
3.	Ketiga	2,6 m/s	55	5
4.	Keempat	2,5 m/s	47,6	4,5
5.	Kelima	2,8 m/s	59,3	5,2

Tabel 4.3 Tabel tegangan output generator.

4.3.1. Kecepatan Angin Terhadap Tegangan Generator

Dari tabel 4.3 dapat diketahui bahwa tegangan yang dihasilkan generator terhadap kecepatan angin, dengan menggunakan grafik dibawah ini



Gambar 4.3. Grafik kecepatan angin terhadap tegangan generator

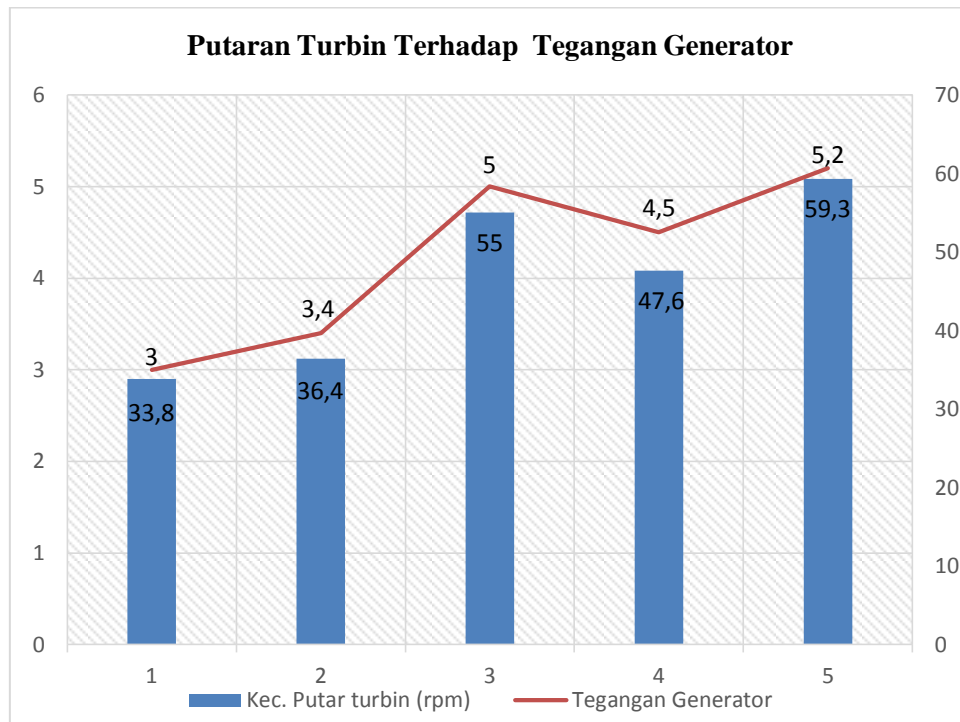
Dari tabel 4.3 dan grafik 4.3 diatas, dapat di ketahui bahwa angin sangat berpengaruh terhadap tegangan yang dihasilkan generaor. Sehingga angin terendah didapat sebesar 1,1 m/s dengan tegangan generator sebesar 3 volt, angin tertinggi didapat sebesar 2,8 m/s dengan tegangan yang dihasilkan generator sebesar 5,2 volt. Sehingga didapat nilai rata-rata tegangan yang dihasilkan generator sebesar 4,22 volt Dc, dengan menggunakan persamaan 2.31 sebagai berikut :

$$V = \sum_{i=1}^N \frac{3 + 3,4 + 5 + 4,5 + 5,2}{5}$$

$$= 4,22 \text{ volt}$$

4.3.2. Putaran Turbin Terhadap Tegangan Generator

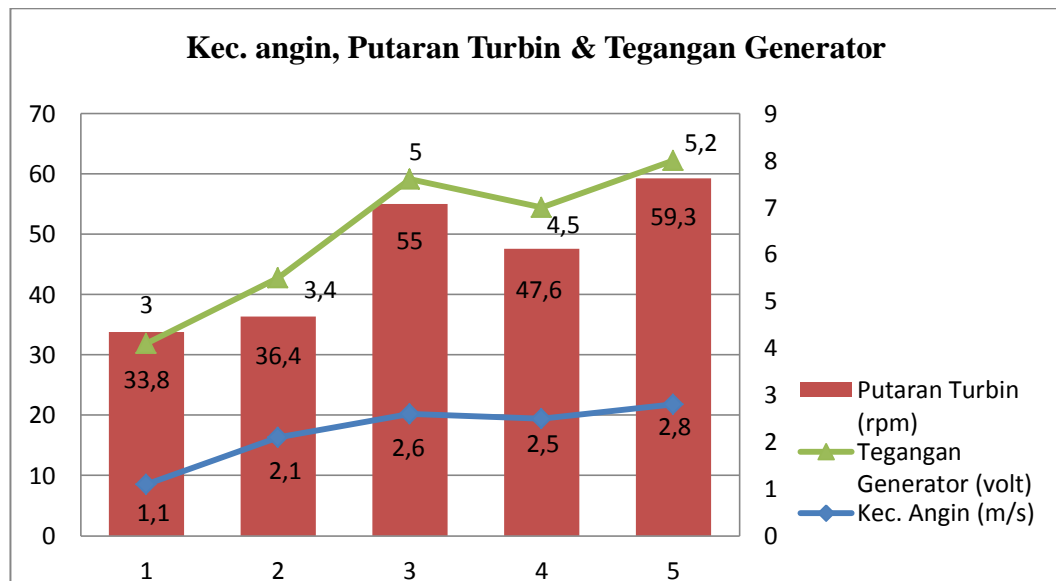
Dari persamaan tabel 4.3 dapat diketahui putaran turbin terhadap tegangan generator, dengan menggunakan grafik.



Gambar 4.3 Grafik putaran turbin terhadap tegangan generator.

Dari data tabel dan grafik 4.3 dapat dilihat bahwa besarnya tegangan yang dihasilkan oleh generator sangat berpengaruh pada kecepatan putaran turbin angin. putaran turbin yang diperoleh adalah 33,8 rpm – 59,3 rpm, dan tegangan yang dihasilkan generator adalah 3 – 5,2 volt DC. Dengan putaran turbin maksimal sebesar 59,3 rpm, tegangan generator maksimal sebesar 5,2 volt DC dan putaran turbin minimal sebesar 33,8 rpm, tegangan minimal generator sebesar 3 volt DC. Maka didapatlah nilai rata-rata kecepatan putaran dan tegangan generator sebesar 46,42 rpm untuk rata-rata putaran turbin, 4,22 volt Dc untuk rata-rata tegangan generator.

Dari persamaan tabel 4.1 dihasilkan kecepatan angin, putaran turbin dan tegangan generator, dengan menggunakan grafik.



Gambar 4.4 Grafik kecepatan angin, putaran turbin dan tegangan generator

Tegangan yang dihasilkan generator berupa arus searah atau DC sehingga putaran turbin sangat berpengaruh terhadap generator untuk menghasilkan tegangan. Agar pensuplayian baterai terpenuhi dengan maksimal dengan kapasitas baterai maksimal sebesar 12 volt DC. Sehingga tegangan dari baterai dapat memenuhi kebutuhan inverter dengan kapasitas 500 watt.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari rangkaian penelitian yang telah dilakukan bisa ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Jenis turbin yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis turbin angin savonius vertikal dengan 8 buah sudu, dengan 2 sumbu.
2. Setelah dilakukan perhitungan terhadap daya yang dihasilkan oleh turbin Bahwa (P_{angin}) lebih besar nilainya dari pada (P_{turbin}). hal ini disebabkan P_{angin} tidak memiliki hambatan udara, sedangkan P_{turbin} memiliki torsi dan kecepatan pada sudut sehingga dapat menghambat putaran turbin. semangkin besar angin yang diperoleh semangkin besar pula daya yang dibangkitkan oleh turbin.
3. Kecepatan angin yang dihasilkan sebesar 1,1 m/s, 2,1 m/s, 2,5m/s, 2,6 m/s, 2,8 m/s. dengan nilai rata-rata kecepatan angin sebesar 2,22 m/s.
4. Tegangan yang dihasilkan generator sangat berpengaruh terhadap kecepatan putaran turbin. pada putaran minimum sebesar 33,8 rpm menghasilkan tegangan sebesar 3 volt Dc, sedangkan pada putaran maksimum sebesar 59,3 rpm dapat menghasilkan tegangan sebesar 5,2 volt Dc.

5.2 Saran

1. Pemanfaatan energy angin memiliki potensi yang sangat besar untuk dapat menghasilkan suatu prototype yang berguna bagi perkembangan dunia sekarang ini, seperti kincir angin. Mungkin pembaca dapat mengerti isi dan maksud tujuan dari penelitian ini. Agar dapat menciptakan suatu alat khususnya turbin angin dengan inovasi sendiri.
2. Untuk pengaplikasian turbin angin ini sebaiknya dilakukan diatas gedung bertingkat ataupun pada daerah pantai yang memiliki kecepatan angin yang cukup.

Daftar Pustaka

- [1] Ibrahim, N. dan, Bagus, F. (2017) *Sistem Pembangkit listrik Tenaga Angin Skala Kecil Pada Bangunan Bertingkat*. Universitas Tidar.
- [2] Bagaskara, S. Sardono, S. dan Indra Ranu, K. (2017) *Analisa Pemanfaatan Turbin Angin Sebagai Penghasil Energi Listrik Alternatif Di Pulau Panggang Kepulauan Seribu*. Laporan Tugas Akhir Institut Teknologi Sepuluh November.
- [3] Sumiati, R. Khairul Amri, H. (2014) *Rancang bangun micro turbin angin pembangkit listrik untuk rumah tinggal di daerah kecepatan angin rendah*. Jakarta, Universitas Muhammadiyah
- [4] Mustaqim Thoriq. (2016) *Studi eksperimen pengaruh jumlah sudu terhadap kerja turbin horizontal berbasis NACA 4415*. Surakarta, Laporan Tugas Akhir Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [5] Saputra Wan Novri, Dikpride Despa, Noer Soedjarwanto, ahmad Saudi samosir. (2016) : *prototype generator dc dengan penggerak tenaga angin* Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
- [6] Nakhoda Yusuf Ismail, Chorul Saleh. "Rancang bangun kincir angin sumbu vertical pembangkit tenaga listrik portable". Seminar nasional sains dan teknologi terapan III 2015.
- [7] Aryanto Firman, I Made Mara, Made Nuarsa. "Pengaruh kecepatan angin dan variasi jumlah sudut terhadap unjuk kerja turbin angin poros horizontal". *Dinamika Teknik Mesin, Volume 3 No. 1 January 2013*.
- [8] Dida Hero p, Sudjito superman, Denny Widhiyanuriyawan, (2016) "Pemetaan potensi energy angin diperairan Indonesia berdasarkan data satelit QuikScat dan WindSat." *Jurnal Rekayasa Mesin*
- [9] Hidayat Dony, Ahmad Jamaludin Fitroh. : *Simulasi dan analisis beberapa merk turbin angin kapasitas 600 KW di lebak, banten menggunakan windpro 2.5 Modul Mete*. Prosiding seminar

nasional IPTEK dirgantara XII-2008. Siptekgan XII, 5
November, Jakarta.

- [10] Putranto Adityo, Andika Prasetyo, Arief Zatminko U, (2011). "*Rancang bangun turbin angin vertikal untuk penerangan rumah tangga*".
Diploma III Teknik Mesin Semarang.
- [11] Yohanes Wahyu Trikurniawan, (2017). "*Karakteristik turbin angin savonius termodifikasi empat sudu dengan lima variasi sudut pitch rotor turbin*". Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
- [12] Melda Latif, (2013). "*Efisiensi prototype turbin savonius pada kecepatan angin rendah*". Jurnal rekayasa elektrika Vol.10.
- [13] Pratama Guruh Airlangga, (2012) . *Perancangan kincir angin tipe AXIAL sebagai pembangkit tenaga listrik*. Universitas Muhammadiyah Surakarta