



**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB)
MENGUNAKAN KINCIR ANGIN TIPE HORIZONTAL DI PESISIR
PANTAI WATUDODOL BANYUWANGI**

SKRIPSI

Oleh :

Andry Febrianto Rheza Putra

191910201051

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2023



**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB)
MENGUNAKAN KINCIR ANGIN TIPE HORIZONTAL DI PESISIR
PANTAI WATUDODOL BANYUWANGI**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik (ST).

Oleh :

Andry Febrianto Rheza Putra

191910201051

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2023

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Allah SWT yang Maha Pengasih Lagi Maha Penyayang
2. Nabi besar Muhammad SAW, yang telah menjadi suri tauladan bagi seluruh umat.
3. Kedua orang tua saya, Papa Ir. Joko Efendi dan Mama Yanti Kotto yang telah membesarkan, mendidik, membina, dan mendoakan penulis dalam segala kondisi.
4. Dosen Pembimbing saya, bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. dan bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.
5. Guru-guru TK Kemala Bhayangkari, SDN 1 Wringinagung, SMPN 2 Gambiran, SMPN 1 Giri, SMAN 1 Giri dan dosen-dosen Teknik Elektro Universitas Jember atas segala ilmu yang telah diberikan.
6. Keluarga Besar L19HTNING.
7. Keluarga Besar Laboratorium Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.
8. Almamater Teknik Elektro Universitas Jember.

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang itu melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(Q.S Al-Baqarah Ayat 286)

“I know that i lack in many aspect right now. I have to work hard and improve to win this survival”

(Jung Chanwoo)

“Jangan mudah puas dengan hasil yang diperoleh saat ini”

(Ir. Joko Efendi a.k.a Ayah Penulis)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Andry Febrianto Rheza Putra

NIM : 191910201051

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB) MENGGUNAKAN KINCIR ANGIN TIPE HORIZONTAL DI PESISIR PANTAI WATUDODOL BANYUWANGI” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang telah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institut manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember,
Yang menyatakan,

Andry Febrianto R.P
NIM 191910201051

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB)
MENGUNAKAN KINCIR ANGIN TIPE HORIZONTAL DI PESISIR
PANTAI WATUDODOL BANYUWANGI**

Oleh :

Andry Febrianto Rheza Putra

NIM 191910201051

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB) MENGGUNAKAN KINCIR ANGIN TIPE HORIZONTAL DI PESISIR PANTAI WATUDODOL BANYUWANGI” karya Andry Febrianto Rheza Putra telah disetujui pada :

Hari : Rabu

Tanggal : 12 - 07 - 2023

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,



Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

NIP 197008261997021001

Anggota I,



Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.

NIP 197004041996011001

Anggota II,



Dr. Ir. Widionarko, S.T., M.T., IPM.

NIP 197109081999031001

Anggota III,



Guido Dias Kalandro, S.ST., M.Eng.

760015734

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Jember



Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

NIP 197008261997021001

RINGKASAN

RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB) MENGGUNAKAN KINCIR ANGIN TIPE HORIZONTAL DI PESISIR PANTAI WATUDODOL BANYUWANGI: Andry Febrianto Rheza Putra, 191910201051: 2023: 103 halaman: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Peningkatan kebutuhan pasokan energi listrik terjadi akibat bertambahnya jumlah populasi penduduk di Indonesia, akan tetapi hal tersebut tidak seimbang dengan pasokan energi listrik yang ada, sementara itu kebutuhan pada masyarakat terhadap pasokan energi listrik terus bertambah setiap tahunnya. Umumnya, masyarakat masih bergantung pada Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai pemasok energi listrik, akibatnya pemakaian beban melebihi daya yang telah disediakan menyebabkan terjadinya pemadaman arus listrik oleh PLN. Dengan bertambahnya kebutuhan pasokan energi listrik tiap tahunnya, maka diperlukan energi alternatif untuk membantu memenuhi kebutuhan energi listrik, salah satu upaya yang dapat dilakukan dengan memanfaatkan energi bayu (angin) yang ada. Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki ribuan kilometer pesisir pantai yang dapat dimanfaatkan energi anginnya sebagai sumber energi alternatif. Potensi energi angin di Indonesia cukup rendah namun memiliki potensi besar dalam pemanfaatannya. Pada prototype Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) memiliki cara kerja dengan memanfaatkan energi angin untuk memutar generator, energi angin akan ditangkap oleh kincir angin pada turbin dan akan bergerak memutar sesuai arah gerak generator dan mengubah energi kinetik menjadi energi listrik. Rancang bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) sebagai alternatif pemanfaatan energi baru dan terbarukan dapat direalisasikan walaupun memiliki putaran dari turbin yang rendah. Besar kecilnya daya yang dihasilkan dipengaruhi oleh besar kecilnya kecepatan angin yang ada. Dari hasil pengujian yang dilakukan selama satu minggu diperoleh kecepatan rata-rata angin pada pesisir pantai watudodol sebesar 3,24 m/s, dengan angin terendah sebesar 1,79 m/s dan angin tertinggi sebesar 4,31 m/s. Dari hasil pengukuran output yang dihasilkan oleh turbin

menghasilkan tegangan terendah 7,46 volt dan tegangan tertinggi 17,96 volt, arus terendah 71,60 mA dan arus tertinggi 172,40 mA, daya terendah 5,34 watt dan daya tertinggi 30,96 watt. Hal tersebut berbanding lurus dengan kenaikan pada kecepatan angin. Dari hasil pengukuran output yang dihasilkan oleh turbin menggunakan mikrokontroler mempermudah dalam mendapatkan data yang dibutuhkan seperti tegangan, arus, daya, dan kecepatan angin. Manfaat utama dari penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) yaitu memanfaatkan energi baru dan terbarukan.



ABSTRAC

DESING AND CONSTRUCTION OF A POWER WIND GENERATION USING A HORIZONTAL TYPE WINDMILL ON THE COAST OF WATUDODOL BANYUWANGI: Andry Febrianto Rheza Putra, 191910201051: 2023: 103 pages: Departement of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

The increase in the need for electrical energy supply occurs due to the increasing population in Indonesia, however this is not balanced with the existing supply of electrical energy, meanwhile the community's need for electrical energy supply continues to increase every year. Generally, people still depend on the State Electricity Company (PLN) as a supplier of electrical energy, as a result the use of a load that exceeds the supplied power causes power outages by the PLN. With the increasing need for electrical energy supply each year, alternative energy is needed to help meet the demand for electrical energy, one of the efforts that can be made is by utilizing existing wind energy. Indonesia is an archipelagic country that has thousands of kilometers of coastline where wind energy can be utilized as an alternative energy source. Wind energy potential in Indonesia is quite low but has great potential in its utilization. In the prototype Wind Power Plant (PLTB) it has a way of working by utilizing wind energy to rotate the generator, wind energy will be captured by the windmill on the turbine and will rotate according to the direction of the generator's motion and convert kinetic energy into electrical energy. The design of a Wind Power Plant (PLTB) as an alternative to the use of new and renewable energy can be realized even though it has a low rotation of the turbine. The size of the power generated is influenced by the size of the existing wind speed. From the results of tests conducted for one week, it was obtained that the average wind speed on the watudodol coast was 3.24 m/s, with the lowest wind being 1.79 m/s and the highest wind being 4.31 m/s. From the measurement results the output produced by the turbine produces the lowest voltage of 7.46 volts and the highest voltage of 17.96 volts, the lowest current is 71.60 mA and the highest current is 172.40 mA, the lowest power is 5.34 watts and the highest power is 30.96 watts .

This is directly proportional to the increase in wind speed. From the results of measuring the output produced by the turbine using a microcontroller it makes it easier to get the required data such as voltage, current, power, and wind speed. The main benefit of using a Wind Power Plant (PLTB) is that it utilizes new and renewable energy



PRAKATA

Assalamu'allaikum warahmatullahi wabarakatuh

Segala puji dan syukur selalu penulis panjatkan kepada Allah SWT. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW.

Dengan selesainya karya tulis ini, penulis bersyukur kepada Allah SWT. Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua saya, Papa Joko Efendi dan Mama Yanti Kotto, yang telah menemani, mendidik, membina, dan mendoakan penulis dalam melakukan segala hal sampai sekarang.
2. Bapak Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing anggota yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis dalam proses penulisan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Ir. Widjonarko, S.T., M.T., IPM., dan Bapak Gudio Dias Kalandro, S.ST., M.Eng., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran kepada penulis.
4. Bapak Wahyu Muldayani, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing selama penulis menempuh studi dengan ramah dan sangat baik.
5. Guru-guru pengajar TK Kemala Bhayangkari, SDN 1 Wringinagung, SMPN 2 Gambiran, SMPN 1 Giri, SMAN 1 Giri dan dosen-dosen pengajar Teknik Elektro Universitas Jember yang telah mendidik penulis hingga saat ini.
6. Daru dan Mustofa yang telah membantu penulis dalam melakukan pengambilan data yang dibutuhkan selama penelitian.
7. Dulur-dulur L19HTNING.
8. Teman-teman Departemen PSDM BEM FT 2022.
9. Teman-teman KKN 382 Purnama.
10. Dan seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa penulisan karya tulis ini masih terdapat banyak kekurangan baik dari segi materi maupun penulisan. Oleh karena itu,

penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya atas segala kekurangan dalam penyusunan karya tulis ilmiah ini dan dengan senang hati menerima kritik dan saran agar karya tulis ini dapat dikembangkan dan dapat menjadi landasan bagi pembaca yang ingin melakukan penelitian di bidang terkait. Kritik, saran, pertanyaan, dan diskusi dapat disampaikan melalui surat elektronik ke alamat : andryfebrianto00@gmail.com. Semoga karya tulis ini dapat memberikan manfaat.

Wassalamu'allaikum warahmatullai wabarakatuh

Jember,
Yang menyatakan,

Andry Febrianto R.P
NIM 191910201051

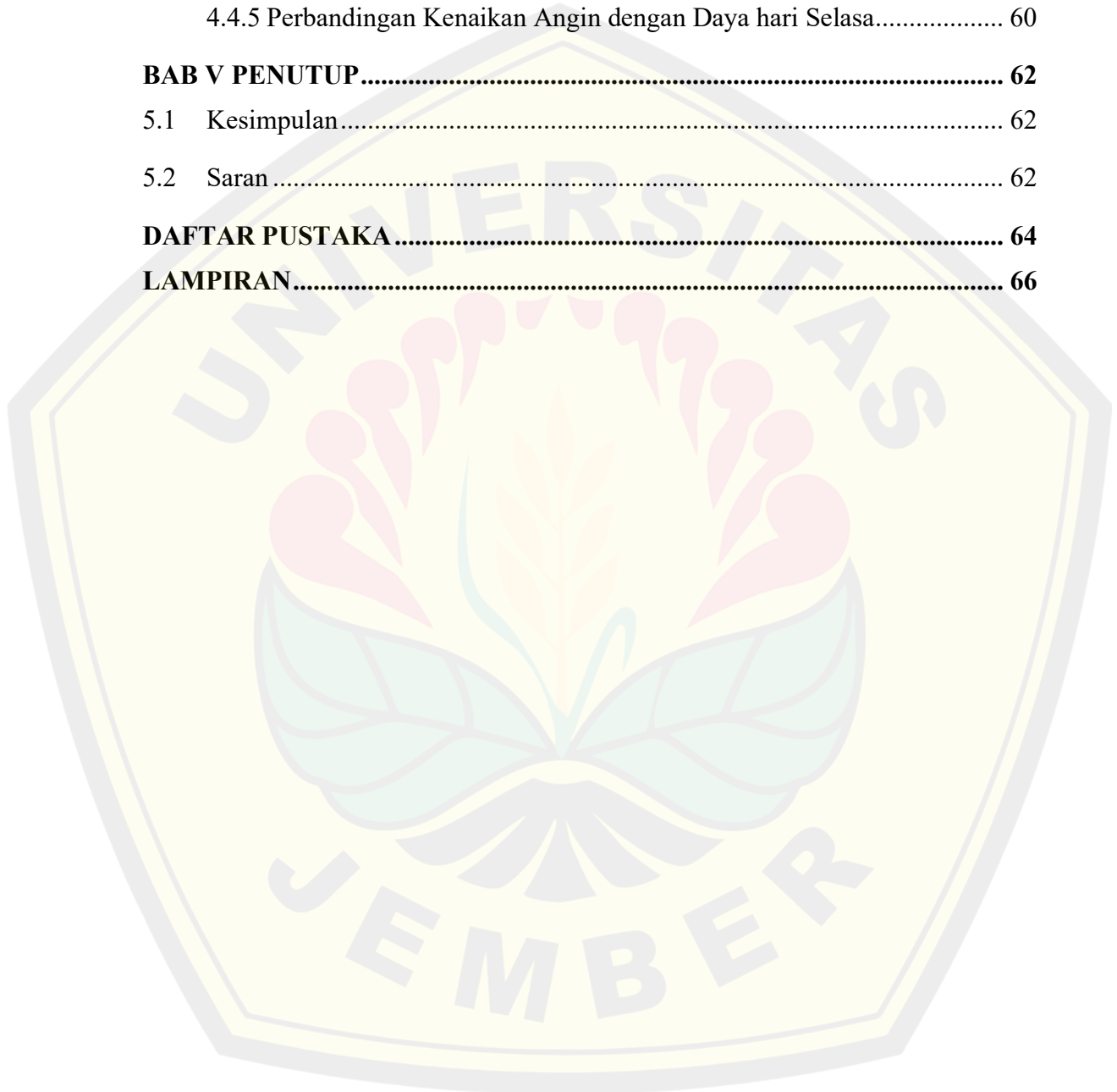
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN.....	ii
RINGKASAN	vii
ABSTRAC.....	ix
PRAKATA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
LAMPIRAN.....	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAU PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terkait.....	5
2.2 Angin	7
2.2.1 Asal Energi Angin	8
2.2.2 Prinsip Kerja Energi Angin.....	8
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu	9
2.4 Faktor Faktor Pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.....	10
2.4.1 Kincir Angin	10
2.4.2 Turbin Angin Sumbu Horizontal	11
2.4.3 Generator DC.....	12
2.4.4 Penyimpanan Energi (<i>Battery</i>).....	13

2.5	Arus, Tegangan, dan Daya Listrik.....	13
2.5.1	Arus.....	13
2.5.2	Tegangan.....	14
2.5.3	Daya.....	15
2.5.4	Daya Turbin.....	15
2.5.5	Koefisien Daya.....	16
2.6	Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Indonesia.....	16
2.7	Kelebihan dan Kekurangan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.....	18
2.7.1	Kelebihan.....	18
2.7.2	Kekurangan.....	18
	BAB III METODE PENELITIAN.....	20
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	20
3.1.1	Pantai Watudodol Banyuwangi.....	20
3.2	Jadwal Penelitian.....	21
3.3	Alat dan Bahan.....	21
3.4	Tahapan Penelitian.....	22
3.4.1	Identifikasi Masalah.....	23
3.4.2	Studi Literatur.....	24
3.4.3	Perancangan dan Pembuatan Alat.....	24
3.4.4	Pengujian Alat.....	24
3.4.5	Pengambilan Data.....	25
3.4.6	Analisis Data.....	25
3.4.7	Kesimpulan dan Saran.....	25
3.5	Spesifik Alat dan Bahan.....	25
3.5.1	Generator Magnet Permanen.....	25

3.5.2 Mikrokontroler.....	26
3.5.3 Sensor Tegangan.....	27
3.5.4 Sensor Arus.....	28
3.5.5 SD Card Reader	28
3.5.6 Penunjuk Waktu (RTC)	29
3.5.7 Lampu LED 10 Watt.....	30
3.5.8 Baterai.....	31
3.5.9 Modul Relay	31
3.5.10 Modul Charger Accu XH-M604.....	32
3.5.11 DC Step Down.....	33
3.5.12 LM2596	34
3.5.13 Sensor Anemometer	34
3.5.14 Box Panel Listrik.....	35
3.5.15 Kincir Angin Horizontal.....	36
3.5.16 Tower Angin (Penyangga).....	36
3.6 Blok Diagram	37
3.6.1 Flowchart Kerja Alat	39
BAB IV PEMBAHASAN.....	41
4.1 Pengolahan Data pada Turbin Angin.....	41
4.1.1 Pengukuran Kecepatan Angin	41
4.1.2 Pengukuran <i>Output</i> Generator	42
4.2 Perbandingan Daya dengan Daya Turbin.....	46
4.3 Koefisien Daya	47
4.4 Perbandingan Kenaikan Angin dengan Daya.....	49
4.5 Pengujian Alat Dalam Satu Hari.....	50

4.5.1 Pengukuran Kecepatan Angin Hari Selasa.....	50
4.5.2 Pengukuran <i>Output</i> Generator Hari Selasa.....	52
4.4.3 Perbandingan Daya dengan Daya Turbin Hari Selasa	56
4.4.4 Koefisien Daya Hari Selasa	58
4.4.5 Perbandingan Kenaikan Angin dengan Daya hari Selasa.....	60
BAB V PENUTUP.....	62
5.1 Kesimpulan.....	62
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA.....	64
LAMPIRAN.....	66



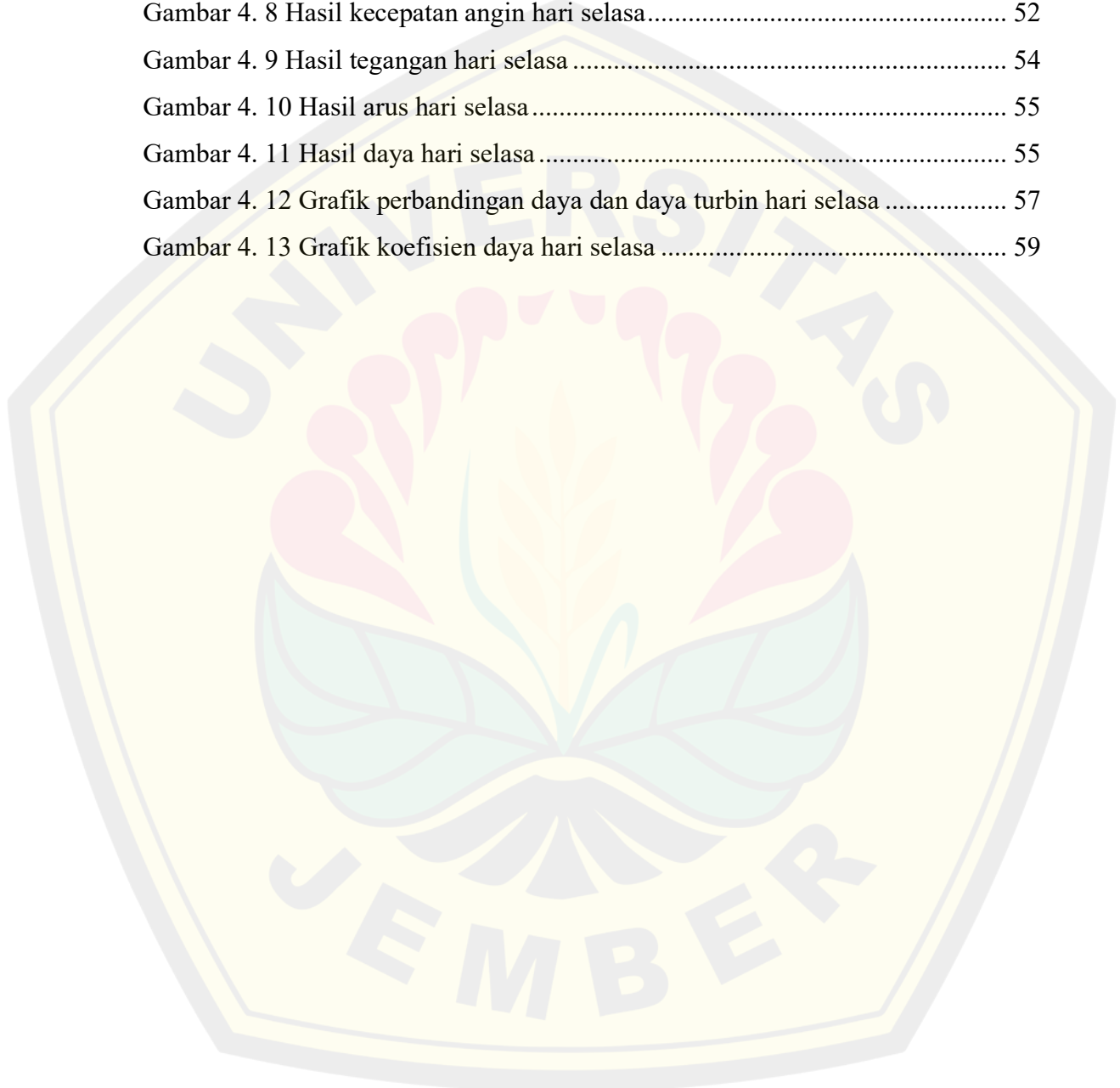
DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian terkait PLTB.....	5
Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian.....	21
Tabel 3. 2 Kebutuhan Alat	21
Tabel 3. 3 Kebutuhan Bahan.....	22
Tabel 3. 4 Spesifikasi Generator	26
Tabel 3. 5 Spesifikasi sensor arduino mega 2560	26
Tabel 3. 6 Spesifikasi Sensor Tegangan	27
Tabel 3. 7 Spesifikasi Sensor INA219	28
Tabel 3. 8 Spesifikasi SD Card Reader.....	29
Tabel 3. 9 Spesifikasi Modul Penunjuk Waktu.....	30
Tabel 3. 10 Spesifikasi Lampu LED 10 Watt	30
Tabel 3. 11 Spesifikasi Baterai.....	31
Tabel 3. 12 Spesifikasi modul relay	32
Tabel 3. 13 Spesifikasi modul charger accu XH-M604.....	33
Tabel 3. 14 Spesifikasi DC step down	33
Tabel 3. 15 Spesifikasi sensor anemometer	35
Tabel 3. 16 Spesifikasi Box Panel Listrik.....	36
Tabel 3. 17 Spesifikasi kincir angin horizontal.....	36
Tabel 3. 18 Spesifikasi tower angin (penyangga).....	37
Tabel 4. 1 Pengukuran Kecepatan Angin.....	41
Tabel 4. 2 Hasil keluaran generator	43
Tabel 4. 3 Perbandingan daya dengan daya turbin	46
Tabel 4. 4 Koefisien Daya.....	48
Tabel 4. 5 Kenaikan angin dengan daya	49
Tabel 4. 6 Hasil kecepatan angin hari selasa.....	51
Tabel 4. 7 Hasil pengukuran keluaran generator hari selasa.....	53
Tabel 4. 8 Perbandingan daya dengan daya turbin hari selasa.....	56
Tabel 4. 9 Koefisien daya hari selasa.....	58
Tabel 4. 10 Perbandingan kenaikan angin dengan daya hari selasa	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Prinsip kerja pada PLTB	9
Gambar 2. 2 Kincir angin.....	10
Gambar 2. 3 Turbin Angin Sumbu Horizontal.....	11
Gambar 2. 4 Bagian-bagian Generator DC	12
Gambar 2. 5 Baterai	13
Gambar 2. 6 Potensi angin di Indonesia	18
Gambar 3. 1 Peta pantai Watudodol	21
Gambar 3. 2 Flowchart Penelitian.....	23
Gambar 3. 3 Generator Magnet Permanen.....	25
Gambar 3. 4 Arduino Mega 2560	26
Gambar 3. 5 Modul Sensor Tegangan.....	27
Gambar 3. 6 Rangkaian Pembagi Tegangan Sensor	27
Gambar 3. 7 Modul Sensor INA219	28
Gambar 3. 8 Modul SD <i>Card Reader</i>	29
Gambar 3. 9 Modul RTC DS3231	29
Gambar 3. 10 Lampu LED 10 Watt.....	30
Gambar 3. 11 Baterai aki 12 Volt	31
Gambar 3. 12 Modul Relay.....	32
Gambar 3. 13 Modul charger Accu XH-M604.....	32
Gambar 3. 14 DC step down.....	33
Gambar 3. 15 Sensor anemometer	35
Gambar 3. 16 Box Panel Listrik.....	35
Gambar 3. 17 Kincir angin horizontal 3 blade.....	36
Gambar 3. 18 (a) Tampak depan, (b) Tampak samping	37
Gambar 3. 19 Blok diagram.....	38
Gambar 3. 20 Rangkaian alat	39
Gambar 3. 21 Sistem akuisisi data	39
Gambar 3. 22 Flowchart kerja alat.....	40
Gambar 4. 1 Grafik kecepatan Angin	42
Gambar 4. 2 Grafik Tegangan.....	44

Gambar 4. 3 Grafik Arus.....	45
Gambar 4. 4 Grafik Daya T.....	45
Gambar 4. 5 Grafik perbandingan daya dengan Daya Turbin	47
Gambar 4. 6 Grafik koefisien daya	49
Gambar 4. 7 Kenaikan angin dengan daya.....	50
Gambar 4. 8 Hasil kecepatan angin hari selasa.....	52
Gambar 4. 9 Hasil tegangan hari selasa	54
Gambar 4. 10 Hasil arus hari selasa	55
Gambar 4. 11 Hasil daya hari selasa	55
Gambar 4. 12 Grafik perbandingan daya dan daya turbin hari selasa	57
Gambar 4. 13 Grafik koefisien daya hari selasa	59



LAMPIRAN

Lampiran 1. Listing Program.....	66
Lampiran 2. Rancang Bangun.....	76
Lampiran 3 Tabel Pengujian Keseluruhan.....	77



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan kebutuhan pasokan energi listrik terjadi akibat bertambahnya jumlah populasi penduduk di Indonesia, akan tetapi hal tersebut tidak seimbang dengan pasokan energi listrik yang ada, sementara itu kebutuhan pada masyarakat terhadap pasokan energi listrik terus bertambah setiap tahunnya. Umumnya, masyarakat masih bergantung pada Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai pemasok energi listrik, akibatnya pemakaian beban melebihi daya yang telah disediakan menyebabkan terjadinya pemadaman arus listrik oleh PLN.

Dengan bertambahnya kebutuhan pasokan energi listrik tiap tahunnya, maka diperlukan energi alternatif untuk membantu memenuhi kebutuhan energi listrik, salah satu upaya yang dapat dilakukan dengan memanfaatkan energi bayu (angin) yang ada. Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki ribuan kilometer pesisir pantai yang dapat dimanfaatkan energi anginnya sebagai sumber energi alternatif. Potensi energi angin di Indonesia cukup rendah namun memiliki potensi besar dalam pemanfaatannya. Salah satu penyebabnya yaitu rendahnya rata-rata kecepatan angin yang ada di Indonesia, yaitu berkisaran antara 3 m/s hingga 5 m/s sehingga cukup sulit untuk mengasilkan energi listrik dalam kapasitas besar (Y. I. Nahkoda, C. Saleh, 2017). Kebutuhan pasokan energi listrik yang terus meningkat tersebut memerlukan lebih banyak pembangunan pembangkit tenaga listrik.

Pembangunan pembangkit listrik seringkali terkendala akibat investasi dan jangka waktu pembangunan yang sangat lama dibandingkan pembangunan industri yang lain, dengan kata lain pembangunan bidang kelistrikan harus seimbang dengan meningkatnya kebutuhan tenaga listrik tiap tahunnya. Pembangkit listrik Negara (PLN) secara umum menggunakan energi atau bahan bakar yang termasuk tidak terbarui, seperti : Batubara dan Bahan Bakar Motor (BBM). Dengan memanfaatkan sumber daya alam yang ada seperti angin dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk menggerakkan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Hal ini dilihat dari segi ekonomis dan keamanan. Karena semakin berkurangnya cadangan energi

fosil sedangkan kebutuhan konsumen terhadap energi listrik terus bertambah tiap tahunnya, hal ini akan berdampak pada krisis energi kedepannya.

Salah satu pemanfaatan energi angin yaitu dengan menggunakan turbin angin seperti pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Seperti contoh pemanfaatan pada negara belanda dengan intensitas kecepatan angin yang sangat tinggi dan memanfaatkan hal tersebut dengan membangun PLTB. Popularitas pemanfaatan energi angin tersebut semakin meningkat tiap tahunnya dikarenakan penggunaannya sangat ekonomis dan tidak menyebabkan kerusakan lingkungan. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) sangat cocok untuk di kembangkan di Indonesia yang memiliki kecepatan angin yang tinggi pada pesisir pantai. PLTB memiliki keuntungan utama yaitu bersifat terbarukan yang berartikan eksploitasi sumber energi ini tidak akan membuat sumber energi angin berkurang.

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh A. M. Hidayatullah Iqsyah dan Riswan dengan judul "*Perancangan Pembangkit Listrik Kincir Angin Menggunakan Empat Sumbu Horizontal*" meneliti pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) menggunakan empat kincir angin bersumbu horizontal, peneliti tersebut menggunakan Generator Dinamo Drill yang digunakan sebagai alat untuk mengkonversi energi gerak menjadi energi listrik, aliran listrik yang terbentuk akan dialirkan pada Step Up Boost 5V yang kemudian akan diparalelkan pada baterai sebagai penyimpana dan pada beban. Dari hasil pengujian satu kincir angin dapat menghasilkan tegangan sebesar 0,76 volt dengan kecepatan kipas angin high. Lalu hasil pengukuran menggunakan empat kincir angin mendapat hasil tegangan sebesar 2.46 volt dengan kecepatan kipas angin high.

Maka dari itu penulis merancang alat sederhana Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dengan menggunakan kincir angin tipe horizontal menggunakan generatro magnet permanen n52 yang akan merubah energi kinetik menjadi energi listrik dan disimpan pada baterai. Hal itu dimanfaatkan sebagai alternatif pemanfaatan energi angin untuk sumber energi listrik yang dapat digunakan sebagai penerangan pada pesisir pantai Watudodol Banyuwangi.

Pantai Watudodol merupakan pantai yang menjadi pintu masuk menuju Kabupaten Banyuwangi dari wilayah Kabupaten Situbondo. Nama Watudodol merupakan sebuah batu besar setinggi 6 meter yang berlokasi tepat di antara kedua ruas jalan raya, hal tersebut yang menjadikan watudodol menjadi salah satu destinasi wisata di Kabupaten Banyuwangi. Watudodol sendiri memiliki titik koordinat (-8.0924742, 114.4153615). Menurut Setiawan et al pada selat bali yang terletak tepat disebelah timur watudodol menghasilkan nilai kecepatan rata-rata angin sebesar 2.4 m/s dengan modus arah angin dari Barat Daya sebanyak 22%, sedangkan frekuensi kecepatan rata-rata angin menunjukkan bahwa kecepatan angin berkisar 1-2 m/s (Setiawan et al., n.d.).

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang diatas dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah antara lain, yaitu :

1. Berapa besar kapasitas daya yang dihasilkan pada konversi energi listrik pembangkit listrik tenaga bayu menggunakan generator magnet permanen neyodimium n52 ?
2. Berapa besar kecepatan angin yang dibutuhkan untuk dapat menggerakan turbin angin dan generator magnet permanent pada pesisir pantai Watudodol Banyuwangi ?

1.3 Batasan Masalah

Dari rumusan masalah diatas agar masalah yang dibahas jelas dan tidak menyimpang dari topik pembahasan, maka dapat ditentukan batasan masalahnya, yaitu :

1. Peneliti hanya merancang pembangkit listrik tenaga bayu dengan menggunakan kincir angin sumbu horizontal dan menggunakan generator magnet permanen neyodimium n52.
2. Mengetahui besaran kapasitas daya generator yang dihasilkan maksimal 350 watt.
3. Mengetahui besaran kecepatan angin pada pantai Watudodol Banyuwangi.

4. Mengetahui daya *output* yang dihasilkan oleh generator magnet permanen $n52$.
5. Tidak membahas mengenai transmisi pada rotor.

1.4 Tujuan Penelitian

Bedasarkan pemaparan latar belakang dan rumusan masalah yang telah disebutkan, maka tugas akhir ini diharapkan mencapai beberapa tujuan sebagai berikut :

1. Mendapatkan *output* daya yang dihasilkan oleh generator magnet permanen $n52$.
2. Mendapatkan hasil nilai kecepatan angin untuk memutar kincir angin di Pantai Watudodol Banyuwangi.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat diantaranya sebagai berikut :

1. Memanfaatkan energi angin sebagai alternatif pemasok energi listrik.
2. Memberikan edukasi kepada masyarakat mengenai Pembangkit Listrik tenaga Bayu (PLTB) dengan memanfaatkan kincir angin sumbu horizontal.
3. Manfaat umum sebagai sumbangan pemikiran untuk pertimbangan dalam pembangunan pembangkit listrik.

BAB II TINJAU PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Berikut merupakan matriks penelitian terkait yang akan menjadi acuan dan referensi dalam melakukan penelitian dan pengembangan :

Tabel 2. 1 Penelitian terkait PLTB

Penulis	Judul	Metode	Keunggulan	Keterbatasan
A.M Hidayatullah Iqsyah, 2018	Perancangan Pembangkit Listrik Kincir Angin Menggunakan Empat Sumbu Horizontal	Menggunakan Generator Dinamo Drill dengan daya yang rendah	Pembuatan alat yang mudah dan efisien dan dapat digunakan untuk mensuplai barang elektronika dengan daya yang rendah	Memiliki daya yang rendah dan tidak terdapat baterai sebagai media penyimpanan arus listrik yang dihasilkan
Rimbawati, et al, 2019	Perancangan Sistem Pengontrol Tegangan pada PLTB Menggunakan Potensio DC	Menggunakan Potensio DC sebagai penstabil arus yang akan masuk ke baterai	Dapat menstabilkan tegangan yang masuk pada baterai	Pada kecepatan angin tidak mempengaruhi i besar kecilnya tegangan yang akan terisi pada baterai mengakibatkan tidak dapatnya memanfaatkan

				n kecepatan angin yang ada
Julius Mulyono, et al, 2018	Desain baling-baling kincir angin sumbu Horizontal	Mendesain baling-baling kincir angin seefisien mungkin dengan beberapa perhitungan luas penampang dan sudut kemiringan pada baling-baling kincir angin	Design bentuk pada baling-baling kincir angin dengan memperhitungkan efisiensi pada luas penampang dan sudut kemiringan pada baling-baling kincir angin	Tidak ada pembahasan mengenai hasil kecepatan putaran yang dihasilkan dari kecepatan angin yang menabrak penampang pada baling-baling kincir angin
Riyan Wicaksono, 2020	Analisis turbin angin horizontal tipe TSD 500 dengan daya 500 watt untuk kebutuhan rumah tangga di PT. Lentera Bumi	Menganalisis turbin angin sumbu horizontal tipe TSD 500 watt dengan daya 500 watt pada perumahan PT. Lentera Bumi Nusantara	Menganalisis secara rinci mengenai penggunaan serta output yang dihasilkan oleh turbin angin sumbu horizontal tipe TSD 500 watt	Tidak membahas mengenai pembuatan alat serta hanya berfokus pada satu tipe turbin angin

	Nusantara (LBN) di Ciheras Jawa Barat	(LBN) di Ciheras, Jawa Barat		
--	--	------------------------------------	--	--

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh A. M. Hidayatullah Iqsyah dan Riswan dengan judul “*Perancangan Pembangkit Listrik Kincir Angin Menggunakan Empat Sumbu Horizontal*” meneliti pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) menggunakan empat kincir angin bersumbu horizontal, peneliti tersebut menggunakan Generator Dinamo Drill yang digunakan sebagai alat untuk mengkonversi energi gerak menjadi energi listrik, aliran listrik yang terbentuk akan dialirkan pada Step Up Boost 5V yang kemudian akan diparalelkan pada baterai sebagai penyimpana dan pada beban. Dari hasil pengujian satu kincir angin dapat menghasilkan tegangan sebesar 0,76 volt dengan kecepatan kipas angin high. Lalu hasil pengukuran menggunakan empat kincir angin mendapat hasil tegangan sebesar 2.46 volt dengan kecepatan kipas angin high.

2.2 Angin

Menurut Grebner dan Donald L, angin merupakan pergerakan udara dari suatu daerah yang memiliki tekanan tinggi menuju daerah dengan tekanan yang lebih rendah. Terbentuknya angin dipengaruhi oleh rotasi bumi bersamaan dengan proses pemanasan suatu wilayah oleh matahari (Grebner, Donald L). Angin terbentuk karena ada perbedaan energi antara udara panas dan udara dingin. Pada daerah khatulistiwa yang memiliki udara panas, udara panas tersebut mengembang dan menjadi ringan yang kemudian akan naik ke atas dan bergerak ke daerah yang lebih dingin seperti kutub utara, sebaliknya didaerah kutub yang memiliki udara lebih dingin akan turun ke bawah. Dengan demikian terjadi suatu perputaran udara melalui lapisan udara yang lebih tinggi.

Energi angin merupakan pengumpulan suatu energi yang berguna dari angin, tenaga angin banyak jumlahnya, tidak terbatas, tersebar luas, dan tidak menimbulkan efek rumah kaca atau *Global warming*. Di Indonesia, pembangkit

listrik yang memanfaatkan tenaga angin disebut dengan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) memanfaatkan energi angin dengan menggunakan kincir angin yang kemudian dihubungkan dengan generator. Selanjutnya, proses yang dilakukan dapat menghasilkan tenaga listrik yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif. Energi angin berasal dari energi kinetik yang dikonversikan dalam bentuk angin. Salah satu pemanfaatan energi angin yaitu dengan menciptakan PLTB. Kincir angin pada PLTB sebagai penggerak generator yang nantinya akan menghasilkan tenaga listrik.

2.2.1 Asal Energi Angin

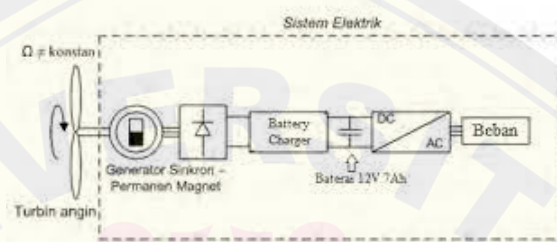
Segala jenis energi dapat diperbarui, kecuali energi pasang surut dan panas bumi yang berasal dari matahari. Matahari meradiasi $1,74 \times 1.014$ Kwatt per jam energi ke Bumi. Sekitar 2 persen energi di bumi diubah menjadi energi angin yang berjumlah 50-100 kali lebih banyak dari pada energi biomassa yang ada di Bumi. Pada dasarnya angin merupakan pergerakan udara dari suatu daerah yang memiliki tekanan tinggi menuju daerah dengan tekanan yang lebih rendah. Terbentuknya angin dipengaruhi oleh rotasi bumi bersamaan dengan proses pemanasan suatu wilayah oleh matahari, angin terbentuk karena ada perbedaan energi antara udara panas dan udara dingin. Pada daerah khatulistiwa yang memiliki udara panas, udara panas tersebut mengembang dan menjadi ringan yang kemudian akan naik ke atas dan bergerak ke daerah yang lebih dingin seperti kutub utara, sebaliknya di daerah kutub yang memiliki udara lebih dingin akan turun ke bawah. Dengan demikian terjadi suatu perputaran udara melalui lapisan udara yang lebih tinggi. Udara yang bergerak tersebut merupakan energi yang dapat digunakan untuk memutar turbin yang akan menghasilkan listrik.

2.2.2 Prinsip Kerja Energi Angin

Energi angin merupakan salah satu energi terbarukan yang sangat fleksibel dikarenakan terdapat diseluruh dunia. Berbeda dengan energi air,

penggunaan energi angin dapat dilakukan dimana saja baik di daerah dataran tinggi maupun di daerah dataran rendah.

Pada prinsip dasar dari penggunaan energi angin ialah mengubah energi dari angin menjadi energi gerak atau kinetik pada kincir angin, lalu kincir angin akan menggerakkan generator yang akhirnya akan menghasilkan energi listrik.



Gambar 2. 1 Prinsip kerja pada PLTB

(sumber : <https://rb.gy/ggr4ns>)

Saat angin berhembus menuju baling-baling kincir angin, maka kepala turbin akan berputar sesuai dengan kecepatan angin. Putaran tersebut akan terhubung langsung dengan rotor yang terdapat di generator yang akan ikut berputar seiringan dengan putaran yang ada pada turbin. Generator akan mengkonversi energi kinetik dari rotor tersebut menjadi energi listrik dengan memanfaatkan prinsip kerja induksi elektromagnetik. Arus listrik yang dihasilkan akan disimpan ke baterai untuk didistribusikan.

2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) merupakan salah satu pembangkit listrik dengan menggunakan energi baru dan terbarukan yang ramah lingkungan dan memiliki efisiensi kerja yang cukup baik dibandingkan dengan pembangkit listrik energi baru terbarukan yang lainnya. Prinsip kerja dari PLTB adalah dengan memanfaatkan energi kinetik pada angin yang dapat menggerakkan baling-baling kincir angin secara berputar pada turbin, kemudian energi kinetik putaran tersebut diteruskan ke generator untuk membangkitkan energi listrik.

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) memanfaatkan kekuatan hembusan angin sebagai sumber utama penggerak untuk menghasilkan energi listrik. Alat utama pada pembangkit ini ialah generator, dengan menggunakan generator makan dapat menghasilkan arus listrik dari pergerakan baling-baling kincir angin yang bergerak karena hembusan angin. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Sidrap merupakan PLTB pertama di Indonesia yang terletak di Lainungan dan Mattirotasi, Watang Pulu, Kabupaten Sidenreng Rappang, Sulawesi Selatan.

Umumnya pada satu pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) terdiri dari beberapa komponen utama yaitu kincir angin, gear box, brake system, generator, dan baterai.

2.4 Faktor Faktor Pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Faktor utama dalam pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) yakni kincir angin, turbin angin, generator, dan baterai penyimpanan.

2.4.1 Kincir Angin

Kincir angin merupakan suatu alat yang dapat mengkonversi energi kinetik oleh angin menjadi energi listrik. Dari proses tersebut dapat memudahkan berbagai kegiatan manusia yang memerlukan tenaga yang besar seperti memompa air untuk mengairi persawahan dan menghaluskan biji-bijian. Turbin angin kebanyakan ditemukan di Eropa dan Amerika Utara (Wikipedia, 2022).



Gambar 2. 2 Kincir angin

(Sumber : https://id.wikipedia.org/wiki/Kincir_angin)

2.4.2 Turbin Angin Sumbu Horizontal

Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) merupakan turbin angin dengan poros rotor dan generator listrik di puncak tower. Turbin berukuran kecil digerakan oleh kincir angin, sedangkan turbin berukuran besar menggunakan alat bantu sebuah sensor angin yang dipasang pada servo motor. Sebagian besar turbin angin memiliki sebuah gearbox yang mengubah perputaran kincir angin yang pelan menjadi lebih cepat.

Pada tower turbin angin dapat terjadi turbulensi di belakangnya, turbin akan diarahkan melawah arah angin dari menara. Kincir angin pada turbin akan dibuat kaku agar tidak bergeser menuju tower oleh angin dengan kecepatan yang tinggi. Sebagai tambahan, kincir angin tersebut diletakkan di depan menara dengan jarak tertentu dan sedikit dimiringkan.

Turbulensi mengakibatkan kerusakan pada struktur penyangga dan realibilitas begitu penting, sebageian besar TASH merupakan mesin *upwin* (melawan arah angin). Meski terdapat masalah pada turbulensi, mesin *downwind* (menurut jurusan angin) dibuat karena tidak membutuhkan mekanisme tambahan.



Gambar 2. 3 Turbin Angin Sumbu Horizontal

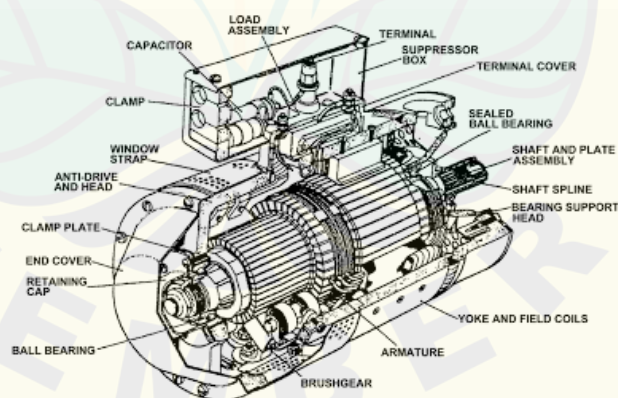
(Sumber :<http://backupkuliah.blogspot.co.id/2013/06/energi-angin.html>)

2.4.3 Generator DC

Generator DC merupakan alat yang dapat mengubah energi kinetik gerak menjadi energi listrik beraruskan DC. Arus dihasilkan melalui proses induksi yang terjadi pada kawat melingkar di dua kutub (Kutub Utara dan Kutub Selatan). Perpotongan garis tersebut menghasilkan induksi magnetik.

Generator DC menghasilkan arus DC atau arus searah. Generator DC dibagi menjadi tiga berdasarkan dari rangkaian magnet, jenis generator DC yaitu : generator shunt, generator kompon, dan generator penguat terpisah.

Generator DC menggunakan 4 buah kutub rotor magnet permanen, proteksi terhadap beban lebih (*Over Load*), regulator tegangan digital, penyearah, starter eksitasi, bearing dan rumah generato, serta bagian rotor. Generator DC terbagi jadi dua bagian, yaitu stator dan rotor. Staror merupakan bagian mesin DC yang diam, dan bagian rotor merupakan bagian mesin DC yang berputar. Bagian stator terdiri dari: rangka motor, sikat arang, belitan stator, Terminal box dan bearing. Sedangkan bagian rotor terdiri dari : kipas rotor, komutator, belitan rotor dan poros rotor. Bagian penting yang harus dilakukan perawatan secara berkala adalah sikat arang yang akan memendek dan harus diganti..

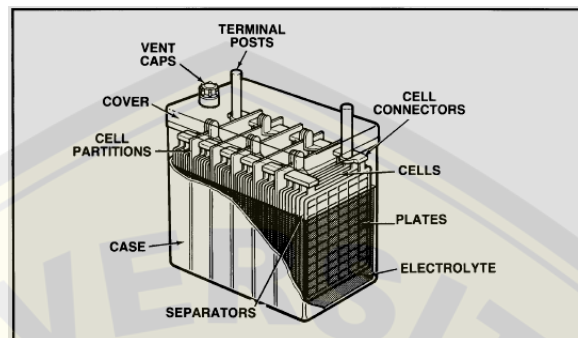


Gambar 2. 4 Bagian-bagian Generator DC

(Sumber : <https://bit.ly/3VZXavH>)

2.4.4 Penyimpanan Energi (*Battery*)

Baterai digunakan sebagai alat penyimpanan energi listrik yang dihasilkan dari generator ketika sedang beroperasi. Alat ini memerlukan catu daya DC (Direct Current) untuk mengcharge/mengisi energi.



Gambar 2. 5 Baterai

(Sumber : <https://www.kitapunya.net/pengertian-dan-fungsi-baterai-aki/>)

2.5 Arus, Tegangan, dan Daya Listrik

2.5.1 Arus

Arus atau Ampere (I) adalah banyaknya jumlah muatan listrik yang mengalir melalui suatu titik tiap satuan waktu. Satuan arus listrik disebut Coloumb atau Ampere.

Adapun cara menghitung arus dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$I = \frac{P}{V} \quad \dots\dots 2.1$$

$$I = \frac{V}{R} \quad \dots\dots 2.2$$

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad \dots\dots 2.3$$

$$I = \frac{Q}{t} \quad \dots\dots 2.4$$

Keterangan :

I = Arus listrik (Ampere).

V = Tegangan Listrik (Volt).

R = Tahanan (Ohm).

P = Daya (Watt).

Q = Muatan Listrik (Coulomb).

T = Waktu (Second).

2.5.2 Tegangan

Tegangan atau Volt (V) adalah beda potensial listrik antara dua titik dalam satu rangkaian listrik dan dinyatakan dalam satuan Volt (V). Besaran tersebut berfungsi sebagai pengukuran energi potensial dari sebuah medan listrik yang mengakibatkan adanya aliran listrik dalam sebuah konduktor listrik, tergantung pada perbedaan potensialnya.

Adapun cara menghitung tegangan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

Jika yang diketahui arus listrik dan hambatan listriknya :

$$V = I \times R \quad \text{.....2.5}$$

Jika yang diketahui daya listrik dan arus listriknya :

$$V = \frac{P}{I} \quad \text{.....2.6}$$

Keterangan :

I = Arus listrik (Ampere).

V = Tegangan listrik (Volt).

R = Hambatan (Ohm).

P = Daya (Watt).

2.5.3 Daya

Daya atau Watt (P) yang berarti laju energi yang dihantarkan per satuan waktu. Daya dilambangkan dengan P (Power). Daya listrik merupakan tingkatan konsumsi energi dalam sebuah sirkuit atau rangkaian listrik.

Adapun cara menghitung daya dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$P = V \times I \quad \text{.....2.7}$$

$$P = I^2 \times R \quad \text{.....2.8}$$

$$P = \frac{V^2}{R} \quad \text{.....2.9}$$

Keterangan :

P = Daya (Watt).

I = Arus listrik (Ampere).

R = Hambatan (Ohm).

V = Tegangan/beda potensial (Volt).

2.5.4 Daya Turbin

Daya turbin merupakan daya output hasil dari putaran poros turbin yang digerakan oleh angin dengan kecepatan tertentu.

Untuk keperluan praktis digunakan rumus pendekatan sebagai berikut :

$$P_t = \frac{1}{2} \rho_a \times A_t \times V^3 \quad \text{.....2.10}$$

$$A_t = \pi \times r^2 \quad \text{.....2.11}$$

Keterangan :

P_t = Daya Turbin (Watt).

ρ_a = Kerapatan Angin (1,2 Kg/m²).

A_t = Luas penampang (m²).

V = Kecepatan Angin (m/s).

r = Jari-jari Turbin (m²).

2.5.5 Koefisien Daya

Koefisien daya (C_p) adalah perbandingan antara daya yang dibangkitkan oleh turbin angin dengan daya angin. Penelitian metode eksperimen dilakukan untuk menguji rotor turbin dalam membangkitkan torsi dan daya dengan beberapa variasi sudut *blalde* (baling-baling) pada kondisi kecepatan laju angin tertentu.

Untuk memperoleh koefisien daya (C_p) diperlukan persamaan :

$$C_p = \frac{2 \times P_t}{\rho_a \times A_t \times V^3} \quad \dots\dots 2.12$$

Keterangan :

C_p = Koefisien Daya.

P_t = Daya Angin (Watt).

ρ_a = Kerapatan angin (1,2 kg/m²).

A_t = Luas Penampang (m²).

V = Kecepatan Angin (km/jam).

2.6 Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Indonesia

Pada tahun 2018 Indonesia telah memiliki Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) pertama yang terletak di Desa Lainungan dan Mattirotasi, Watang Pulu, Kabupaten Sidenreng Rappang, Sulawesi Selatan. Pembangkit listrik tersebut memiliki kapasitas yang cukup besar dengan nilainya mencapai 75 MW, yang terdiri dari 30 turbin angin dengan luas lahan sebesar 100 hektar. Terealisasinya

PLTB tersebut merupakan salah satu bukti keseriusan Indonesia dalam pemanfaatan sumber energi baru terbarukan.

Menurut Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), dalam pemenuhan konsumsi energi nasional, energi angin merupakan salah satu energi yang akan diprioritaskan dalam hal tersebut.. Potensi energi angin di Indonesia yang dapat dimanfaatkan mencapai 60,647 MW. Nusa Tenggara Timur (NTT) merupakan salah satu provinsi dengan potensi angin yang besar dengan nilai 10,188 MW. Potensi angin terbesar nomor dua terdapat pada provinis Jawa Timur dengan besar nilai 7,907 MW. Sedangkan DKI Jakarta merupakan provinsi dengan kecepatan angin terendah dikarenakan letak geografis didataran rendah dan memiliki gedung bertingkat yang dapat menahan hembusan angin, kecepatan angin di DKI Jakarta bernilai 4 MW. Hal ini menjadi tantangan tersendiri mengingat DKI Jakarta menjadi salah satu provinsi dengan konsumsi energi listrik terbesar se-Indonesia (Rianta, Maesha Gusti).

Menurut Syaifullah tentang profil suhu dan penurunan suhu (lapse rate), lapisan tropopause, profil komponen angin zonal, dan beberapa nilai indeks radiosonde. Lapse rate atau penurunan suhu rata-rata dari permukaan bumi sampai ketinggian lapisan tropopause sekitar $-0.62 \text{ oC}/100\text{meter}$. Penurunan suhu rata-rata dari permukaan bumi sampai lapisan freezing level sekitar $-0.55 \text{ C}/100\text{meter}$. Untuk lapisan di atas freezing level mempunyai tingkat labilitas yang lebih tinggi dibandingkan pada lapisan di bawah freezing level. Lapisan tropopause secara rata-rata berada pada ketinggian 16.6 kilometer dengan suhu sekitar -81 C (M.D. Syaifullah, 2017).

Menurut para ahli dari Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), dari 166 lokasi yang telah diteliti, terdapat 35 lokasi yang memiliki potensi angin dengan kecepatan diatas 5 m/s pada ketinggian 50 meter. Daerah yang memiliki kecepatan angin tersebut, diantaranya Tenggara Timur (NTT), Nusa Tenggara Barat (NTB), Nusa pantai selatan Jawa dan pantai selatan Sulawesi.

Satuan: MW			Satuan: MW		
No.	Provinsi	Potensi	No.	Provinsi	Potensi
1	Nusa Tenggara Timur	10.188	18	Kepulauan Riau	822
2	Jawa Timur	7.907	19	Sulawesi Tengah	808
3	Jawa Barat	7.036	20	Aceh	894
4	Jawa Tengah	5.213	21	Kalimantan Tengah	681
5	Sulawesi Selatan	4.193	22	Kalimantan Barat	554
6	Maluku	3.188	23	Sulawesi Barat	514
7	Nusa Tenggara Barat	2.605	24	Maluku Utara	504
8	Bangka Belitung	1.787	25	Papua Barat	437
9	Banten	1.753	26	Sumatera Barat	428
10	Bengkulu	1.513	28	Sumatera Utara	358
11	Sulawesi Tenggara	1.414	29	Sumatera Selatan	301
12	Papua	1.411	30	Kalimantan timur	212
13	Sulawesi Utara	1.214	31	Gorontalo	137
14	Lampung	1.137	27	Kalimantan Utara	73
15	DI. Yogyakarta	1.079	32	Jambi	37
16	Bali	1.019	33	Riau	22
17	Kalimantan Selatan	1.006	34	DKI Jakarta	4
			Total		60.647,0

Gambar 2. 6 Potensi angin di Indonesia

(Sumber : <https://rb.gy/i2giu9>)

2.7 Kelebihan dan Kekurangan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

2.7.1 Kelebihan

- Menggunakan energi baru terbarukan.
- Ramah Lingkungan (Tidak menghasilkan emisi sehingga tidak menimbulkan polusi dan ramah lingkungan).
- Tidak memerlukan lahan yang luas serta dapat dipadukan dengan pemanfaatan lain, seperti pada peternakan atau pertanian.

2.7.2 Kekurangan

- Membutuhkan waktu lama dalam kasus lapangan untuk menetapkan persetujuan pengadaan tempat PLTB (Ladang Angin).
- Dapat mengganggu transportasi udara.
- Membutuhkan biaya relatif lebih mahal.

- Masih tergantung dengan cuaca sehingga tidak bisa diandalkan sepanjang waktu.
- Harga perbaikan dan perawatan yang cukup mahal.
- Belum Efisien



BAB III METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini akan menjelaskan mengenai sistematika kegiatan yang akan dilakukan serta metodologi yang akan digunakan dalam melaksanakan dan memperoleh data hasil uji dan analisis secara sistematis. Rincian kegiatan dan informasi mengenai pelaksanaan penelitian sebagai berikut :

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Peneliti melakukan penelitian untuk memperoleh data yang di inginkan dari “Rancangn bangun pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dengan kincir angin horizontal sebagai alternatif pengisian baterai”. dengan rincian tempat dan lokasi sebagai berikut :

Tempat = Pantai Watudodol Banyuwangi.

Alamat =Gumukremuk, Ketapang, Kecamatan Kalipuro, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur.

Waktu = Januari 2022 – April 2023.

3.1.1 Pantai Watudodol Banyuwangi.

Pantai Watudodol merupakan pantai yang menjadi pintu masuk menuju Kabupaten Banyuwangi dari wilayah Kabupaten Situbondo. Nama Watudodol merupakan sebuah batu besar setinggi 6 meter yang berlokasi tepat di antara kedua ruas jalan raya, hal tersebut yang menjadikan watudodol menjadi salah satu destinasi wisata di Kabupaten Banyuwangi. Watudodol sendiri memiliki titik koordinat (-8.0924742, 114.4153615).

Menurut Setiawan et al pada selat bali yang terletak tepat disebelah timur watudodol menghasilkan rata-rata kecepatan angin sebesar 2.4 m/s dengan modus arah angin dari Barat Daya sebanyak 22%, sedangkan distribusi frekuensi rata-rata kecepatan angin menunjukkan bahwa kecepatan angin paling banyak terjadi berada pada kisaran 1-2 m/s (Setiawan et al., n.d.).



Gambar 3. 1 Peta pantai Watudodol

3.2 Jadwal Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini berlangsung selama 4 bulan dengan rincian kegiatan sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian

Jenis Kegiatan	Januari				Februari				Maret				April			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur																
Observasi Lapangan																
Perancangan Design																
Pengambilan Data																
Analisis Data																
Penulisan Laporan																

3.3 Alat dan Bahan

Tabel 3. 2 Kebutuhan Alat

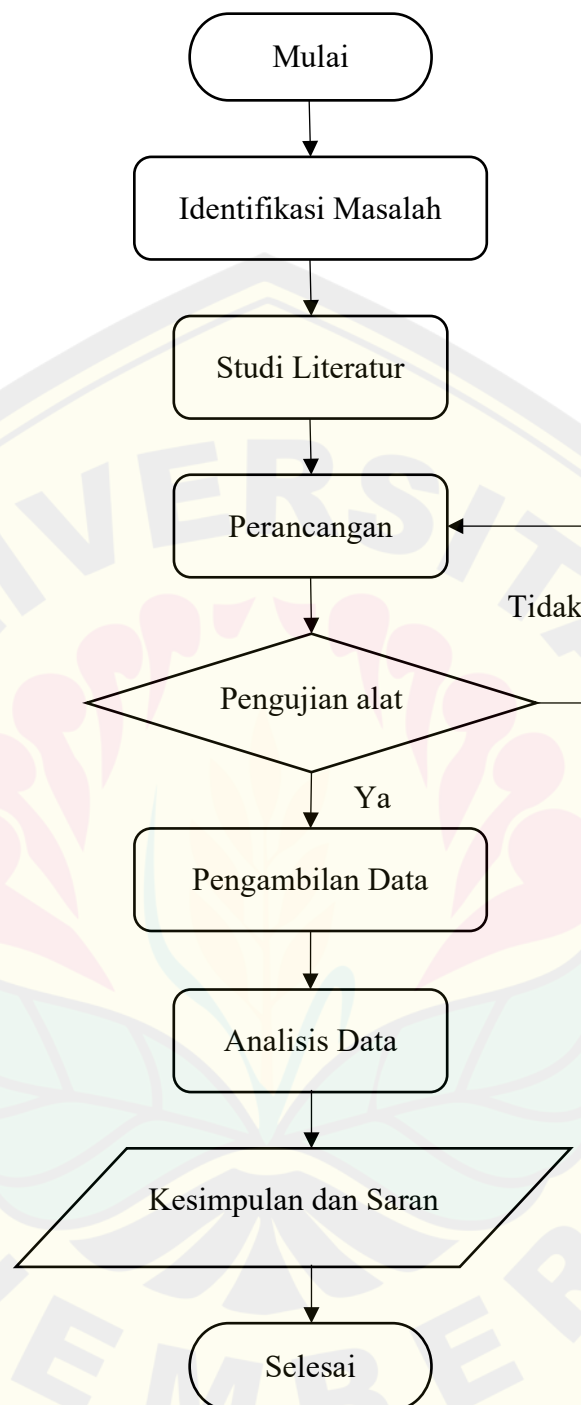
No	Alat	No	Alat
1	Obeng Plus	7	Solder
2	Obeng Minus	8	Penyedot Timah
3	Tang Potong	9	Gurinda
4	Tang Cucut	10	Gergaji
5	Tang Kombinasi	11	Gunting
6	Tembakan Lem	12	Multimeter
7	Anemometer		

Tabel 3. 3 Kebutuhan Bahan

No	Bahan	No	Bahan
1	Baling Kincir	14	Lem Stick Kecil
2	Generator permanent	15	Timah
3	Kabel Merah Serabut	16	Baut
4	Kabel Hitam Serabut	17	Pilox Warna Hitam
5	Pipa uk. 2 M	18	Pilox Warna Putih
6	Tiang Besi uk. 40 Cm	19	MCB
7	Baterai Aki 12V/5Ah	20	Terminal sambung Jepit
8	Rotor	21	Box Panel
9	Lampu LED 10 Watt	22	DC Step Down
10	Modul XH-M604	23	Arduino Mega
11	Modul RTC	24	Modul SD Card
12	Modul Relay	25	LM 2596
13	Akrilik		

3.4 Tahapan Penelitian

Berikut merupakan flowchart tahapan penelitian yang akan dilakukan oleh peneliti dalam melakukan penelitian. Tahapan penelitian yang dilakukan secara terstruktur dan sistematis sehingga mendapatkan hasil yang baik, berikut merupakan tahapan penelitian yang dilakukan :



Gambar 3. 2 Flowchart Penelitian

3.4.1 Identifikasi Masalah

Masalah yang teridentifikasi pada penelitian ini mengangkat topik perancangan pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) sebagai alternatif energi

terbarukan untuk mengisi baterai yang nantinya berguna untuk menghidupkan lampu LED. Pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) ini menggunakan kincir angin bertipe horizontal yang nantinya akan berputar dengan energi angin yang terdapat pada pesisir pantai, dari putaran tersebut akan menggerakkan generator yang nantinya dapat menghasilkan energi listrik untuk pengisian baterai, hal ini dapat membantu mengurangi penggunaan sumber listrik dari PLN. Oleh karena itu solusi yang akan di bahas pada penelitian ini mengenai pengisian baterai menggunakan dinamo yang di gerakan oleh kincir angin pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).

3.4.2 Studi Literatur

Peneliti mencari informasi dari beberapa sumber literatur sesuai dengan topik serta persoalan yang akan diselesaikan dalam perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dengan diselesaikan bersumber pada buku dan jurnal ilmiah nasional yang dapat dipertanggungjawabkan kredibilitasnya. Sumber literasi tersebut digunakan sebagai acuan penelitian guna menentukan solusi yang digunakan untuk menyelesaikan topik masalah yang diangkat dengan mempertimbangkan efisiensi alat tersebut.

3.4.3 Perancangan dan Pembuatan Alat

Pada tahap perancangan dan pembuatan alat, menentukan design bentuk dan ketinggian pada tower angin, selanjutnya peneliti akan menentukan ukuran dari kincir angin tipe horizontal, penentuan ukuran kincir angin akan dilakukan untuk menyesuaikan kekuatan gerak putar untuk menggerakkan rotor yang nantinya akan menggerakkan dinamo. Output yang dihasilkan dinamo menghasilkan tegangan, kemudian output tegangan dinamo akan dialirkan pada baterai sebagai penyimpanan untuk menghidupkan beban (lampu LED).

3.4.4 Pengujian Alat

Pada tahap pengujian alat peneliti akan memulai dari memasang tower angin yang telah terpasang lengkap di pesisir pantai, nantinya kincir angin akan berputar dengan rotor dan menggerakkan dinamo, dinamo

mengkonversikan energi kinetik menjadi energi listrik yang di alirkan pada baterai untuk di simpan dan digunakan pada beban (lampu LED).

3.4.5 Pengambilan Data

Pada tahap pengambilan data peneliti mengukur berapa tegangan yang dihasilkan dalam sehari dan menghitung energi angin yang berada pada lokasi penelitian setelah itu mengukur berapa output dari generator magnet permanen n52.

3.4.6 Analisis Data

Data yang telah diperoleh akan dianalisis untuk mendapatkan pembahasan yang diinginkan oleh peneliti serta beberapa kendala yang ada. Hasil dari penelitian ini diringkas untuk memberikan hasil analisis yang dapat dijadikan referensi untuk pengembangan inovasi selanjutnya.

3.4.7 Kesimpulan dan Saran

Peneliti meringkas keseluruhan proses yang mencakup beberapa poin kesimpulan dan memberikan saran masukan serta evaluasi untuk memberikan peluang pembaharuan bagi penelitian selanjutnya.

3.5 Spesifik Alat dan Bahan

3.5.1 Generator Magnet Permanen

Generator yang digunakan peneliti yaitu Generator Magnet Permanen Neodymium n52, yang memiliki voltage 12 volt dengan kecepatan putar 250 RPM. Generator yang di gunakan memiliki diameter 14 cm.



Gambar 3. 3 Generator Magnet Permanen

Adapun rincian spesifikasi dari sensor arus yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 4 Spesifikasi Generator

Parameter Range	Spesifikasi
Jenis	DC
Tegangan	12 V
Kecepatan Putaran	250 RPM
Daya	350 Watt

3.5.2 Mikrokontroler

Mikrokontroler berfungsi untuk melakukan pengambilan dan pengolahan data yang didapatkan dari masing-masing sensor. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Mega 2560.



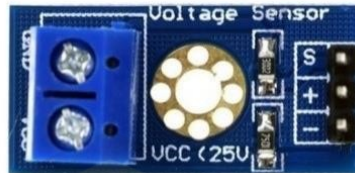
Gambar 3. 4 Arduino Mega 2560

Adapun rincian spesifikasi dari Arduino Mega 2560 yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 5 Spesifikasi sensor arduino mega 2560

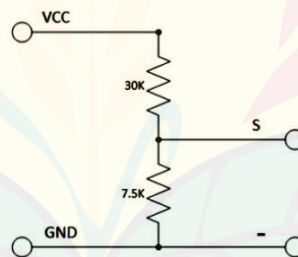
Parameter Range	Spesifikasi
Operating Voltage	5 V
Digital I/O	54 pin
Analog Input	16 pin
Flash Memory	256 kb

3.5.3 Sensor Tegangan



Gambar 3. 5 Modul Sensor Tegangan

Sensor tegangan yang digunakan merupakan sensor tipe analog yang membaca nilai tegangan titik yang diukur terhadap tegangan referensi. Prinsip kerja dari sensor ini adalah menggunakan pembagi tegangan. Sensor ini menggunakan resistor sebesar 30K dan 7,5K yang dirangkai secara seri. Hal ini digunakan untuk merasiokan pembacaan tegangan asli dengan tegangan referens. Hasil pembacaan dikirimkan ke mikrokontroler berupa data analog. Sehingga nilai yang dihasilkan adalah nilai berupa ADC.



Gambar 3. 6 Rangkaian Pembagi Tegangan Sensor

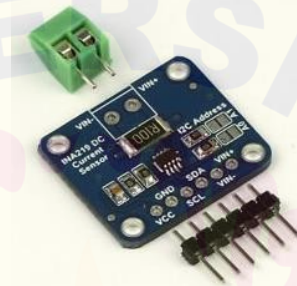
Adapun rincian spesifikasi dari sensor tegangan yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 6 Spesifikasi Sensor Tegangan

Parameter Range	Spesifikasi
Tegangan Input	0 – 25 V
Range Pengukur	0,02445 – 25 V
Resolusi Pembacaan	0,00489 V

3.5.4 Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan adalah sensor arus INA219 yang memiliki tipe pembacaan digital. Prinsip kerja dari sensor arus ini adalah menggunakan rasio perbandingan arus yang mengalir pada rangkaian utama dengan arus yang mengalir pada sensor. Kemudian terdapat IC penguat untuk menguatkan hasil pembacaan. Hasil pembacaan dikirimkan ke mikrokontroler berupa data digital. Sehingga nilai yang dihasilkan adalah nilai berupa arus.



Gambar 3. 7 Modul Sensor INA219

Adapun rincian spesifikasi dari sensor arus yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 7 Spesifikasi Sensor INA219

Parameter Range	Spesifikasi
Pengukur Arus	0 – 26 A
Maksimal Resolusi	3,2 A
Pembacaan	0,1 mA

3.5.5 SD Card Reader

Data-data yang dihimpun dari sensor dan diolah pada mikrokontroler disimpan pada modul SD Card dalam file berekstensi txt. Modul ini menggunakan komunikasi digital MISO (*Master In Slave Out*) dan MOSI (*Master Out Slave In*)



Gambar 3. 8 Modul SD Card Reader

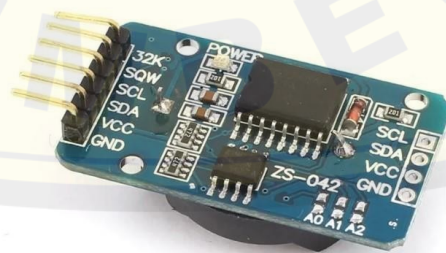
Adapun rincian spesifikasi dari SD Card Reader yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 8 Spesifikasi SD Card Reader

Parameter Range	Spesifikasi
Sistem Penyimpanan File	FAT
Kapasitas	Micro SD : 2 GB Micro SDHC : 32 GB

3.5.6 Penunjuk Waktu (RTC)

Dalam pengujian yang akan dilakukan terdapat analisis dalam domain waktu. Sehingga diperlukan modul untuk menunjukkan waktu pada tiap perolehan data. Modul yang digunakan sebagai penunjuk waktu adalah DS3231. Modul ini memiliki kemampuan untuk mempertahankan waktu meskipun tidak diberikan supply daya dari mikrokontroler dengan menggunakan baterai CR2032.



Gambar 3. 9 Modul RTC DS3231

Adapun rincian spesifikasi dari RTC DS3231 yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 9 Spesifikasi Modul Penunjuk Waktu

Parameter Range	Spesifikasi
Penunjuk Waktu	Tahun, Bulan, Tanggal, Hari, Jam, Menit, Detik.
Maksimal Resolusi	32,768 kHz
Pembacaan	$\pm 0,432$ detik/hari

3.5.7 Lampu LED 10 Watt

Peneliti menggunakan 1 lampu sebagai perbandingan kuat arus dari hasil pengisian baterai, untuk beban menggunakan lampu LED 10 Watt.



Gambar 3. 10 Lampu LED 10 Watt

Adapun rincian spesifikasi dari Lampu LED 10 Watt yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 10 Spesifikasi Lampu LED 10 Watt

Parameter Range	Spesifikasi
Daya	10 Watt
Lumen	780
Tinggi	112 mm
Diameter	60 mm

3.5.8 Baterai

Peneliti menggunakan baterai aki sebagai penyimpanan tegangan dari hasil output dinamo, baterai yang digunakan yaitu aki baterai.



Gambar 3. 11 Baterai aki 12 Volt

Adapun rincian spesifikasi dari aki baterai yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 11 Spesifikasi Baterai

Parameter Range	Spesifikasi
Kapasitas	60 Watt
Tegangan	12 Volt
Arus perjam	5 Ah
Jenis aki baterai	Accu Kering

3.5.9 Modul Relay

Modul relay merupakan salah satu komponen elektronika yang memiliki prinsip kerja elektromagnetik untuk menggerakkan kontraktor guna memindahkan posisi on ke off atau sebaliknya dengan memanfaatkan tenaga listrik. Peristiwa on dan off nya kontraktor ini terjadi akibat adanya efek induksi magnetik yang timbul dari kumparan induksi listrik.



Gambar 3. 12 Modul Relay

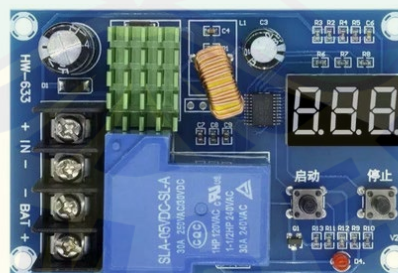
Adapun rincian spesifikasi dari modul relay yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 12 Spesifikasi modul relay

Parameter Range	Spesifikasi
COM (Common)	1 Pin
NO (Normally Open)	1 Pin
NC (Normally Close)	1 Pin

3.5.10 Modul Charger Accu XH-M604

Modul charger accu merupakan salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai komponen pengisian baterai accu. Salah satu jenis modul charger accu ialah tipe XH-M604.



Gambar 3. 13 Modul charger Accu XH-M604

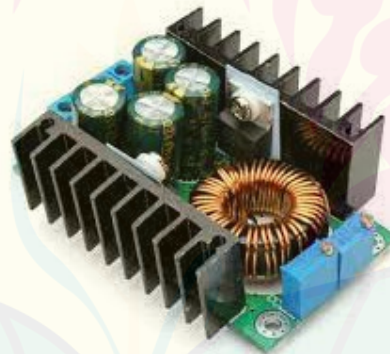
Adapun rincian spesifikasi dari modul charger accu XH-M604 yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 13 Spesifikasi modul charger accu XH-M604

Parameter Range	Spesifikasi
Tegangan Input	DC 6-60V
Tampilan Akurasi	0.1 V
Kontrol Akurasi	0.1 V
Tegangan error	+/- 0.1 V

3.5.11 DC Step Down

DC step down merupakan salah satu komponen elektronika yang berfungsi untuk menurunkan tegangan listrik dan menyesuaikan dengan kebutuhan. Daya pada step down diukur menggunakan produk dari tegangan dan arus.



Gambar 3. 14 DC step down

Adapun rincian spesifikasi dari DC step down yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 14 Spesifikasi DC step down

Parameter Range	Spesifikasi
Tegangan Input	7-40 V
Arus Output	10 A
Constant Range	0.3-10 A
Minim Pressure	1 V

Frekuensi Operasi	300 kHz
Load Regulator	+/- 1%
Voltage Regulator	+/- 1%

3.5.12 LM2596

LM2596 merupakan salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai step down daya DC to DC.



Adapun rincian spesifikasi dari LM2596 yang digunakan adalah sebagai berikut :

Parameter Range	Spesifikasi
Tegangan Input	4.5-40 V
Tegangan Output	3.3-37 V
Arus Output	3 A
Frekuensi Switching	110-173 kHz
Suhu	-40 – 125 C
Pin Keluaran	1 Pin
Mode Kontrol	Mode Tegangan

3.5.13 Sensor Anemometer

Sensor Anemometer merupakan alat bantu ukur kecepatan angin.



Gambar 3. 15 Sensor anemometer

Adapun rincian spesifikasi Box Panel Listrik yang digunakan adalah sebagai :

Tabel 3. 15 Spesifikasi sensor anemometer

Parameter Range	Spesifikasi
Baling-baling	3 Buah
Panjang Lengan	+/- 7 cm
Lebar	+/- 4

3.5.14 Box Panel Listrik

Box Panel Listrik berfungsi sebagai tempat penyimpanan komponen seperti baterai dan mikrokontroller.



Gambar 3. 16 Box Panel Listrik

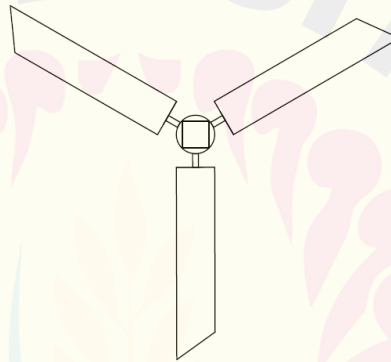
Adapun rincian spesifikasi Box Panel Listrik yang digunakan adalah sebagai :

Tabel 3. 16 Spesifikasi Box Panel Listrik

Parameter Range	Spesifikasi
Tinggi	35 cm
Panjang	25 cm
Lebar	15 cm

3.5.15 Kincir Angin Horizontal

Kincir angin tipe horizontal dengan 3 buah baling-baling dengan panjang 60 cm dan lebar 15 cm.



Gambar 3. 17 Kincir angin horizontal 3 blade

Adapun rincian spesifikasi kincir angin horizontal yang digunakan adalah sebagai :

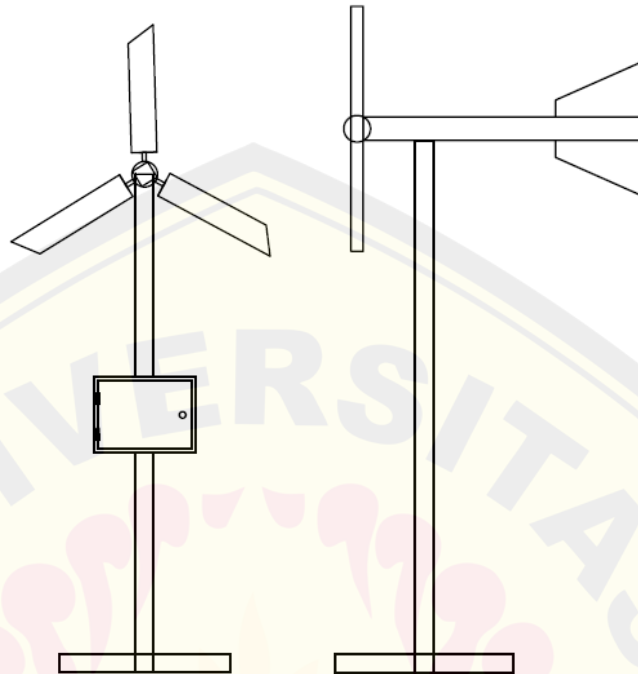
Tabel 3. 17 Spesifikasi kincir angin horizontal

Parameter Range	Spesifikasi
Baling-baling	3 buah
Panjang	60 cm
Lebar	15 cm

3.5.16 Tower Angin (Penyangga)

Tower angin atau penyangga merupakan batang penegak yang berfungsi sebagai media menempatkan dan menaikkan posisi kincir angin dan

dinamo agar mendapatkan level yang tinggi. Tower angin tersebut memiliki tinggi 2 m dan memiliki 4 kaki dengan masing-masing panjang 30 cm.



Gambar 3. 18 (a) Tampak depan, (b) Tampak samping

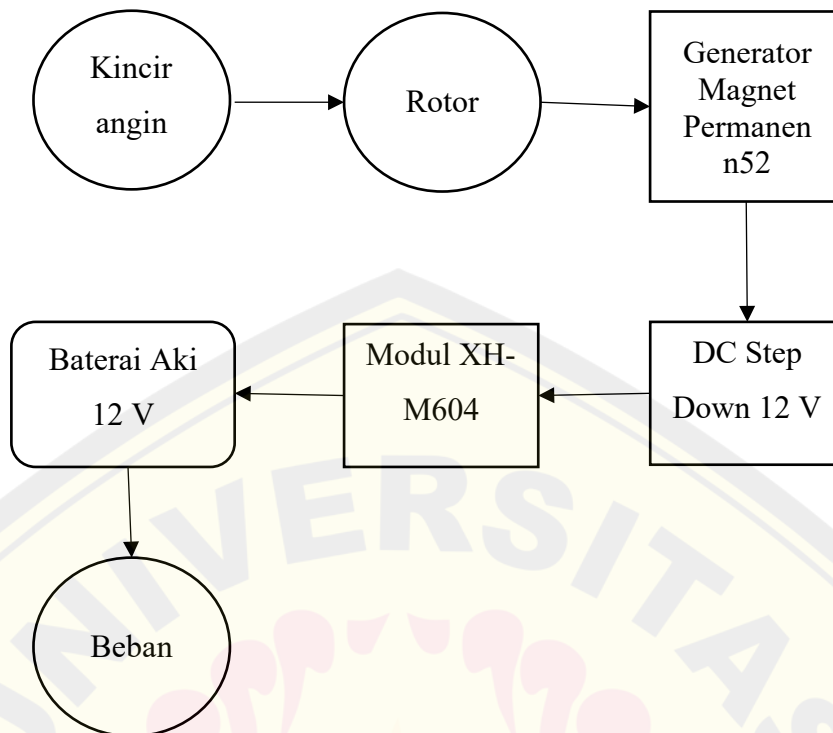
Adapun rincian spesifikasi tower angin (penyangga) yang digunakan adalah sebagai :

Tabel 3. 18 Spesifikasi tower angin (penyangga)

Parameter	Spesifikasi
Tinggi	2 m
Jumlah kaki	4 x 30 cm
Lebar ekor	60 cm

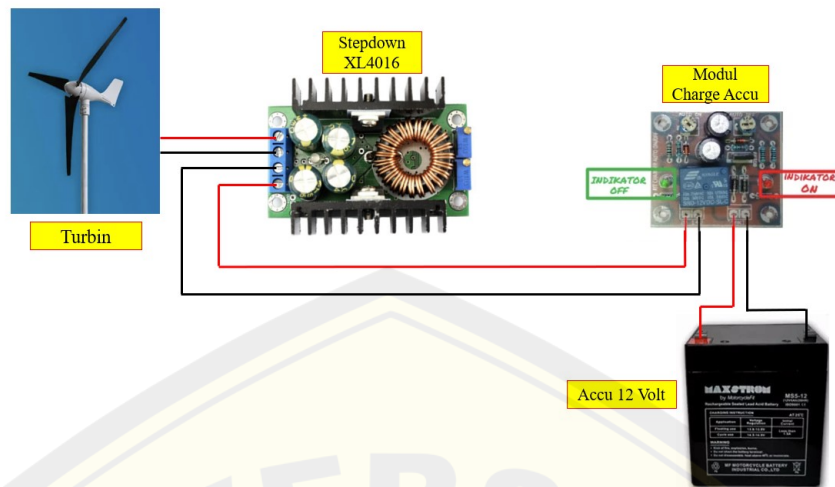
3.6 Blok Diagram

Berikut merupakan diagram blok diagram sistem penelitian.



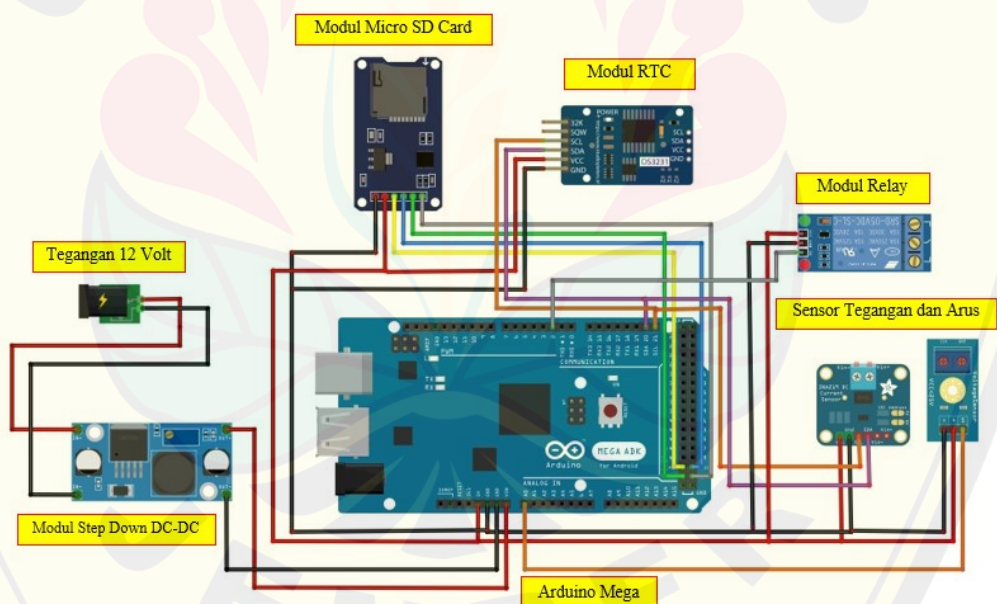
Gambar 3. 19 Blok diagram

Pada gambar diagram blok sistem dapat dilihat bahwa kincir angin akan dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik dengan dihubungkan dengan generator yang berfungsi sebagai penghasil listrik. Output dari generator dihubungkan dengan rangkaian sensor tegangan dan arus untuk mengetahui tegangan dan arus dari output generator dan diparalel dengan modul charger Accu XH-M604. Modul charger tersebut digunakan untuk melakukan proses charger accu yang tegangannya berasal dari output generator. Kemudian untuk accu dihubungkan dengan beban yang menggunakan beban LED DC untuk mengetahui seberapa efektifitas dari tegangan dan arus yang dihasilkan.



Gambar 3. 20 Rangkaian alat

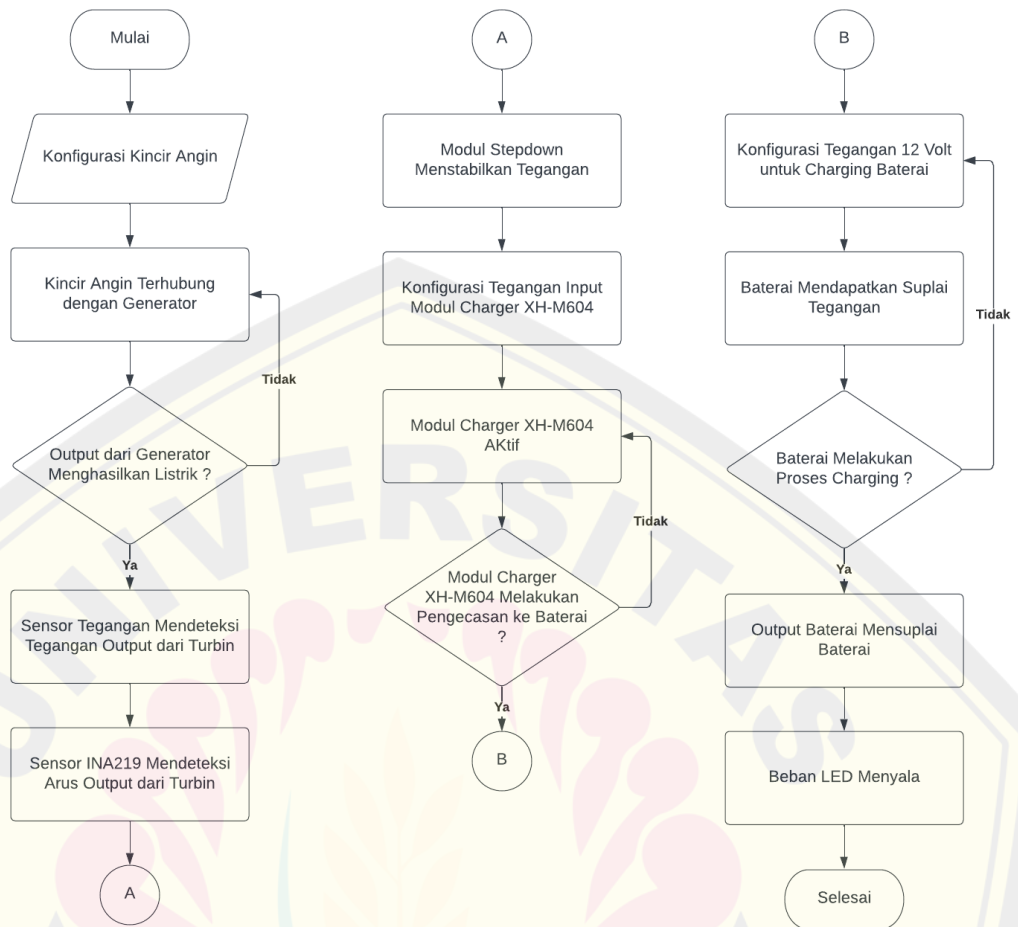
Dari perincian tersebut, terbentuklah sistem akuisisi data yang digambarkan seperti diagram rangkaian pada Gambar 3.17.



Gambar 3. 21 Sistem akuisisi data

3.6.1 Flowchart Kerja Alat

Dari sistem yang telah dibuat, maka didapatkan flowchart kerja sistem yang akan dilakukan :



Gambar 3. 22 Flowchart kerja alat

Gambar 3.21 merupakan flowchart kerja alat, dimulai dengan konfigurasi kincir angin pada turbin dengan menghubungkan turbin dengan generator, lalu generator akan menghasilkan output berupa energi listrik yang akan dibaca oleh sensor tegangan dan sesor arus INA219, selanjutnya output turbin angin akan melalui modul stepdown untuk menstabilkan energi listrik yang masuk ke baterai, selanjutnya energi listrik akan lewat modul charging XH-M604 untuk melakukan pengisian baterai secara konstan. Setelah baterai terisi penuh maka baterai dapat digunakan untuk mensuplai beban yang ada.

BAB IV PEMBAHASAN

Pada bab 4 ini akan dilakukan analisa hasil dan pembahasan mengenai *prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dengan menggunakan kincir angin tipe horizontal yang dilakukan pada pesisir pantai Watudodol Banyuwangi. Sebelum melakukan pembahasan dilakukan dahulu perhitungan dan pengolahan data-data yang ada, antara lain kecepatan angin, tegangan input output, arus input output, daya input output, dan koefisien daya angin. Selanjutnya melakukan perbandingan kecepatan angin terhadap besar kecilnya daya yang dihasilkan. Pengambilan data dilakukan dalam waktu 1 minggu yang dimulai pada tanggal 17 April – 23 April 2023.

4.1 Pengolahan Data pada Turbin Angin

Hasil perancangan yang diperoleh merupakan hasil dari *prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dengan menggunakan kincir angin tipe horizontal yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Peneliti melakukan observasi dan survei alat yang dilakukan pada pesisir pantai Watudodol Banyuwangi.

4.1.1 Pengukuran Kecepatan Angin

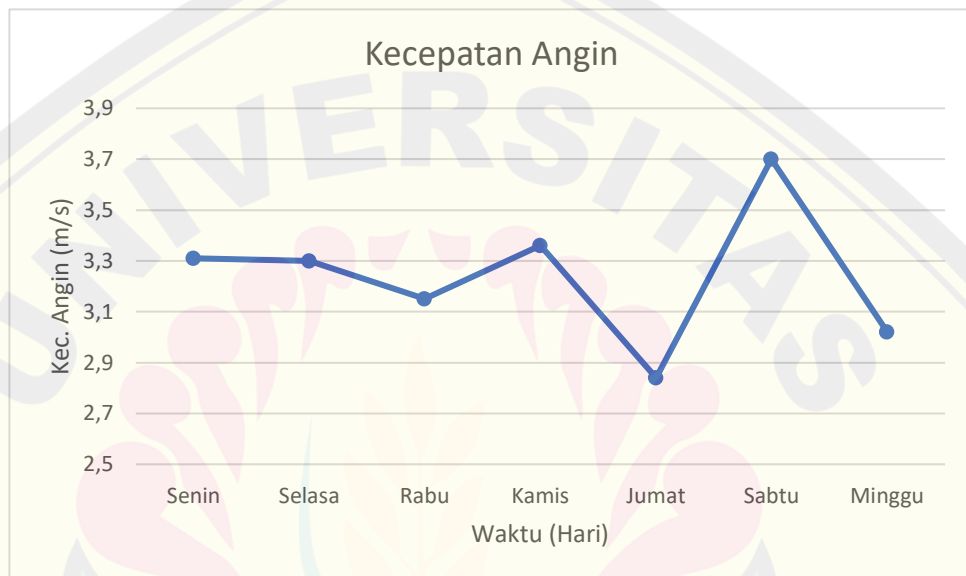
Kecepatan angin pada pesisir pantai Watudodol Banyuwangi diukur menggunakan sensor kecepatan angin (anemometer) yang terletak pada turbin angin. Data diperoleh dari hasil pengukuran selama 1 minggu yang dimulai pada tanggal 17 April – 23 April 2023.

Tabel 4. 1 Pengukuran Kecepatan Angin

No	Waktu (Hari)	Kecepatan Angin (m/s)
1	Senin	3,31
2	Selasa	3,30
3	Rabu	3,15
4	Kamis	3,36
5	Jumat	2,84

No	Waktu (Hari)	Kecepatan Angin (m/s)
6	Sabtu	3,70
7	Minggu	3,02
	Rata-rata	3,24

Dari tabel 4.1 pengukuran diatas didapatkan grafik kecepatan angin pada pesisir pantai Watudodol Banyuwangi selama 1 minggu.



Gambar 4. 1 Grafik kecepatan Angin

Gambar 4.1 merupakan grafik hasil data yang diperoleh, kecepatan angin dipengaruhi oleh faktor cuaca dan waktu, pada data 5 hari jumat kecepatan angin rendah dikarenakan kondisi cuaca yang sangat terik mengakibatkan rendahnya kecepatan angin yang ada, pada data 6 hari sabtu kecepatan angin tinggi dikarenakan kondisi cuaca yang sedikit mendung mengakibatkan tingginya kecepatan angin yang ada. Pada faktor waktu angin terendah berada pada rentang waktu 10.00 – 13.00 WIB dan angin tertinggi berada pada rentang waktu 8.00-09.00 WIB dan 14.00 – 17.00 WIB

4.1.2 Pengukuran *Output* Generator

Pengukuran output generator pada turbin angin di pesisir pantai Watudodol Banyuwangi diukur menggunakan sensor tegangan dan sensor

INA219 yang terletak pada rangkaian mikrokontroler. Data diperoleh dari hasil pengukuran selama 1 minggu yang dimulai pada tanggal 17 April – 23 April 2023.

Dari hasil pengukuran *output* generator menggunakan 2 jenis sensor yaitu sensor tegangan dan sensor INA219 dengan persamaan konversi nilai (*value*) ke nilai tegangan dan arus adalah.

$$\text{Tegangan} = 0.243 * \text{value} + 0.0615 \quad \text{.....4.1}$$

$$\text{Arus} = 0.9987 * \text{value} + 0.5014 \quad \text{.....4.2}$$

Dari hasil persamaan konversi nilai (*value*) ke nilai tegangan dan arus didapatkan nilai daya yang dihasilkan dari perkalian menggunakan persamaan 2.7.

Tabel 4. 2 Hasil keluaran generator

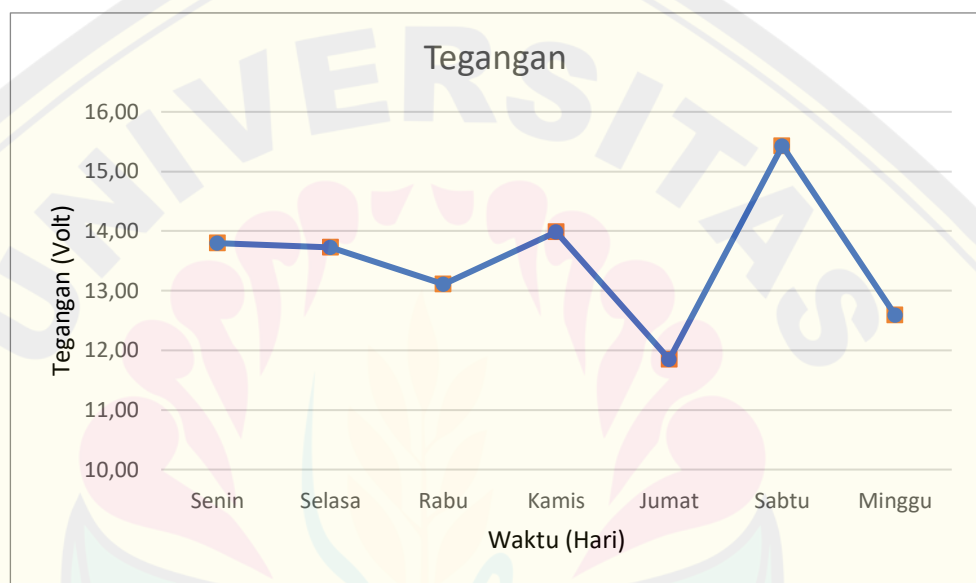
No	Waktu (Hari)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (Watt)
1	Senin	13,80	132,44	18,60
2	Selasa	13,73	131,85	18,45
3	Rabu	13,11	125,85	16,90
4	Kamis	13,99	134,29	19,22
5	Jumat	11,85	113,77	14,19
6	Sabtu	15,43	148,17	20,03
7	Minggu	12,59	120,84	15,35
Rata-rata		13,50	129,60	17,53

Daya dapat diketahui dengan persamaan 4.3, saat nilai tegangan 13,80 Volt dan nilai arus 132,44 mA (1,32 A), maka daya yang diperoleh secara teori dapat dilihat sebagai berikut

$$\text{Daya} = 13,80 \times 1,32 = 18,60 \text{ Watt} \quad \text{.....4.3}$$

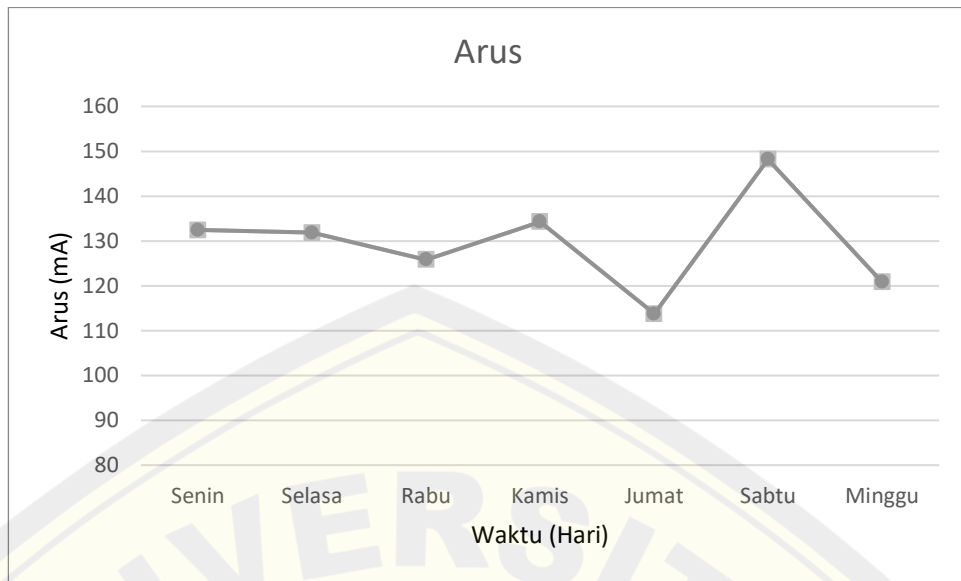
Tabel 4.2 merupakan daya turbin dihasilkan dari perkalian tegangan dan arus yang dihasilkan oleh turbin. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa besar kecilnya daya dipengaruhi oleh kecepatan angin dan jenis generator yang digunakan.

Dari tabel 4.2 hasil pengukuran keluaran generaor di atas didapatkan grafik tegangan, arus dan daya pada turbin angin di pesisir pantai Watudodol Banyuwangi selama 1 minggu.



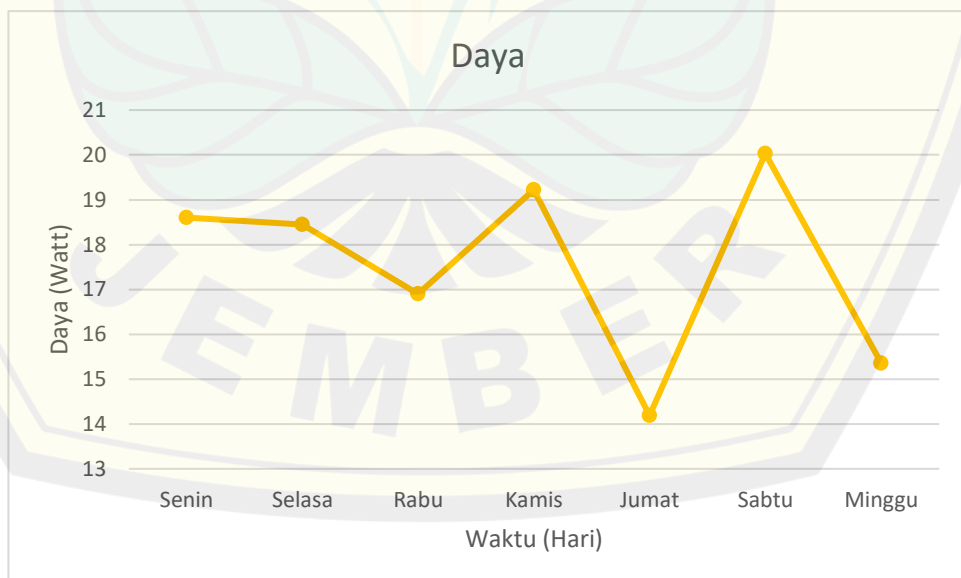
Gambar 4. 2 Grafik Tegangan

Gambar 4.2 merupakan grafik tegangan keluaran generator dari hasil pengukuran menggunakan sensor tegangan (*Voltage Sensor*) selama satu minggu, dengan data terendah pada hari jumat sebesar 11,85 V, data tertinggi pada hari sabtu sebesar 15,43 V, dan rata-rata dalam seminggu sebesar 13,50 V. Kenaikan pada nilai tegangan berbanding lurus dengan kenaikan pada kecepatan angin.



Gambar 4. 3 Grafik Arus

Gambar 4.3 merupakan grafik arus keluaran generator dari hasil pengukuran menggunakan sensor arus INA219 selama satu minggu, dengan data terendah pada hari jumat sebesar 11,37 mA, data tertinggi pada hari sabtu sebesar 148,17 mA, dan rata-rata dalam seminggu sebesar 129,60 mA. Kenaikan pada nilai arus berbanding lurus dengan kenaikan pada kecepatan angin.



Gambar 4. 4 Grafik Daya

Gambar 4.4 merupakan grafik daya keluaran generator dari hasil perkalian tegangan dan arus selama satu minggu, dengan data terendah pada hari jumat sebesar 14,19 Watt, data tertinggi pada hari sabtu sebesar 20,03 Watt, dan rata-rata dalam seminggu sebesar 17,53 Watt. Kenaikan pada nilai daya berbanding lurus dengan kenaikan pada kecepatan angin.

Gambar 4.2, gambar 4.3, gambar 4.4 merupakan grafik hasil tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan turbin selama 1 minggu. Dari gambar grafik tersebut dapat diketahui bahwa tegangan, arus, dan daya berbanding lurus dengan kecepatan angin.

4.2 Perbandingan Daya dengan Daya Turbin

Daya merupakan hasil perkalian dari hasil nilai tegangan dengan nilai arus dari pengambilan data secara *real time* oleh mikrokontroler. Sedangkan daya turbin merupakan perhitungan daya secara teoritis yang menggunakan persamaan 2.10.

Tabel 4. 3 Perbandingan daya dengan daya turbin

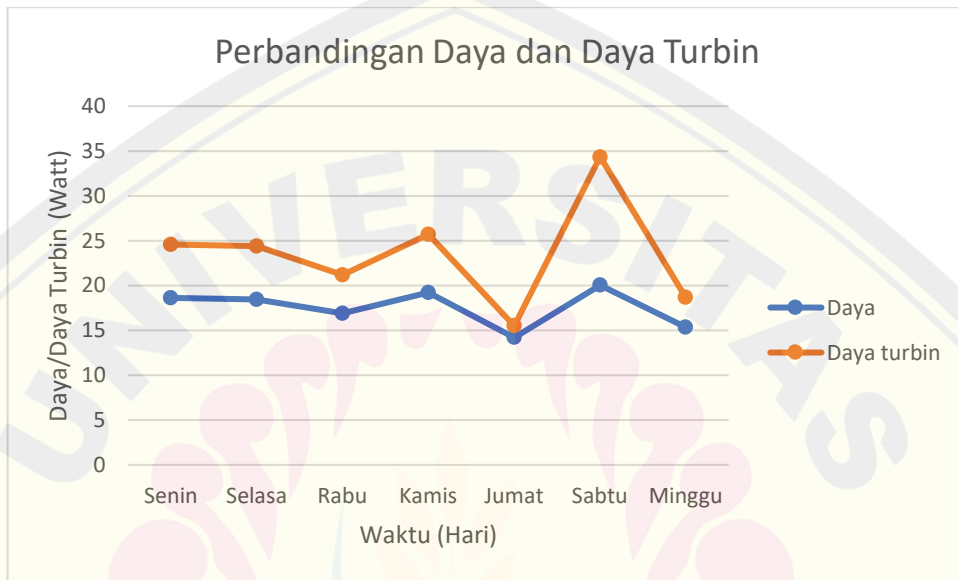
No	Waktu (Hari)	Daya (Watt)	Daya Turbin (Watt)
1	Senin	18,60	24,59
2	Selasa	18,45	24,37
3	Rabu	16,90	21,19
4	Kamis	19,22	25,72
5	Jumat	14,19	15,50
6	Sabtu	20,03	34,35
7	Minggu	15,35	18,68
Rata-rata		17,53	23,34

Daya turbin dapat diketahui dengan persamaan 4.3, saat nilai ρ_a 1,2 Kg/m², nilai panjang penampang 0,6 m, dan kecepatan angin 3,31 m/s maka daya turbin yang diperoleh secara teori dapat dilihat sebagai berikut

$$A_t = 3,14 \times 0,6^2 = 1,13 \text{ m}^2 \quad \dots\dots 4.4$$

$$\text{Daya turbin} = \frac{1}{2} \times 1,2 \times 1,13 \times 3,31^3 = 24,59 \text{ Watt} \quad \dots\dots 4.5$$

Dari tabel 4.3 di atas didapatkan grafik perbandingan daya dengan daya turbin pada turbin angin di pesisir pantai Watudodol Banyuwangi selama 1 minggu.



Gambar 4. 5 Grafik perbandingan daya dengan Daya Turbin

Gambar 4.5 merupakan grafik hasil perbandingan daya dengan daya turbin, dari gambar tersebut dapat diketahui daya dan daya turbin berbanding lurus namun daya turbin memiliki nilai yang lebih tinggi dikarenakan daya turbin hanya memperhitungkan luas penampang turbin (A_t) dan kecepatan angin, sedangkan daya memiliki indikator lebih seperti kapasitas generator.

4.3 Koefisien Daya

Koefisien daya (C_p) didapatkan dari persamaan rumus 2.12 yang merupakan perbandingan antara daya yang diperoleh dari hasil turbin angin dengan daya angin pada pesisir pantai Watudodol Banyuwangi yang dimulai pada tanggal 17 April – 23 April 2023.

Perhitungan dari koefisien daya (C_p) diperlukan daya turbin terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan 2.10.

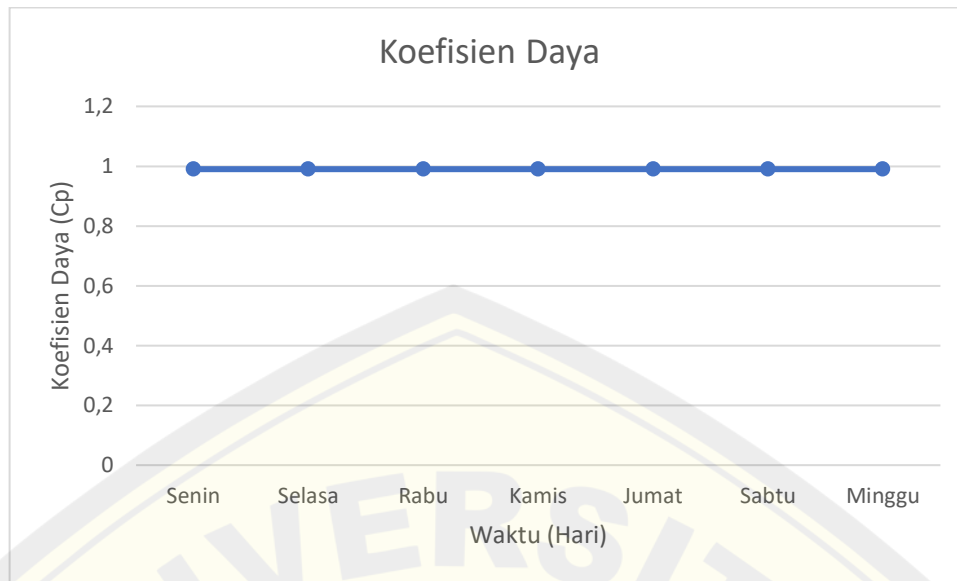
Tabel 4. 4 Koefisien Daya

No	Waktu (Hari)	Daya Turbin (Watt)	Kecepatan Angin (m/s)	Koefisien Daya (C _p)
1	Senin	24,59	3,31	1,00
2	Selasa	24,37	3,30	1,00
3	Rabu	21,19	3,15	1,00
4	Kamis	25,72	3,36	1,00
5	Jumat	15,5	2,84	1,00
6	Sabtu	34,35	3,70	1,00
7	Minggu	18,68	3,02	1,00
Rata-rata		23,34	3,24	1,00

Koefisien Daya (C_p) dapat diketahui dengan persamaan 4.4 , saat nilai daya turbin (P_t) 24,59 Watt dan kecepatan angin 3,31 m/s maka koefisien daya yang diperoleh secara teori sebagai berikut

$$C_p = \frac{2 \times 24,59}{1,2 \times 1,13 \times 3,31^3} = 1,00 \quad \dots\dots 4.6$$

Tabel 4.4 di atas didapatkan grafik daya turbin (P_t), kecepatan angin (m/s), dan koefisien daya (C_p) pada turbin angin di pesisir pantai Watudodol Banyuwangi selama 1 minggu.



Gambar 4. 6 Grafik koefisien daya

Gambar 4.6 merupakan grafik hasil koefisien daya (C_p), dari gambar tersebut diketahui koefisien daya stabil pada nilai 1,00.

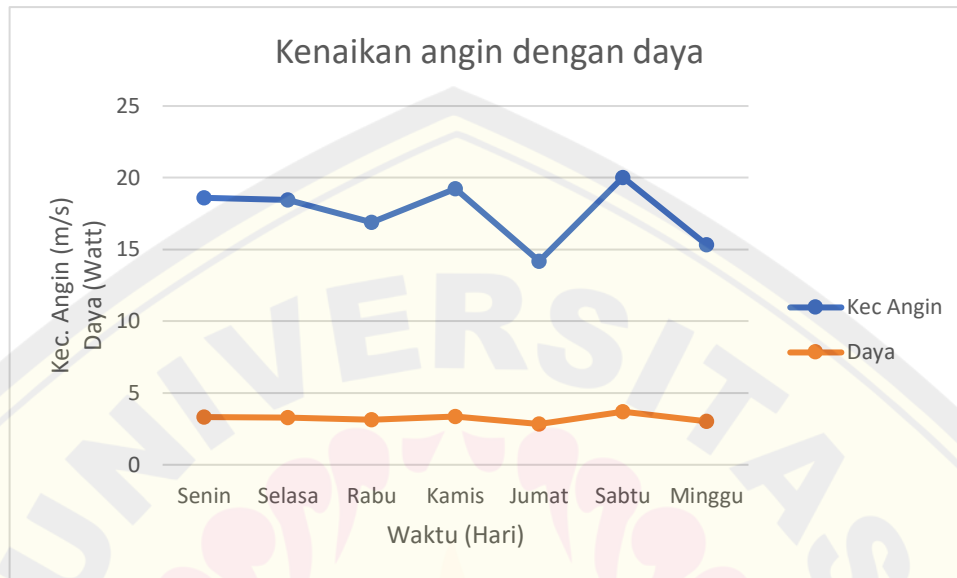
4.4 Perbandingan Kenaikan Angin dengan Daya

Dari hasil pengambilan data yang diperoleh dapat dihasilkan nilai kenaikan angin dengan daya secara real time. Pengambilan data tersebut dilakukan untuk mendapatkan hasil besaran daya yang dihasilkan oleh kenaikan kecepatan angin pada pesisir pantai Watudodol Banyuwangi yang dilakukan selama 1 minggu yang dimulai pada tanggal 17 April – 23 April 2023.

Tabel 4. 5 Kenaikan angin dengan daya

No	Kecepatan Angin (m/s)	Daya (Watt)
1	3,31	18,60
2	3,30	18,45
3	3,15	16,90
4	3,36	19,22
5	2,84	14,19
6	3,70	20,03
7	3,02	15,35

Tabel 4.5 merupakan perbandingan kenaikan angin dengan daya, didapatkan grafik kecepatan angin (m/s) dan daya (watt) yang dihasilkan secara real time pada turbin angin di pesisir pantai Watudodol Banyuwangi selama 1 minggu.



Gambar 4. 7 Kenaikan angin dengan daya

Gambar 4.7 merupakan grafik hasil perbandingan kenaikan angin dengan daya, dapat diketahui bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan kenaikan daya dikarenakan kecepatan angin merupakan faktor energi utama penggerak turbin angin yang menghasilkan energi listrik.

4.5 Pengujian Alat Dalam Satu Hari

Analisis hasil pengujian alat dalam satu hari dilakukan untuk memperoleh kecepatan angin, tegangan, arus, daya dan koefisiend daya dalam satu hari yang dilakukan pada hari selasa 18 april 2023.

4.5.1 Pengukuran Kecepatan Angin Hari Selasa

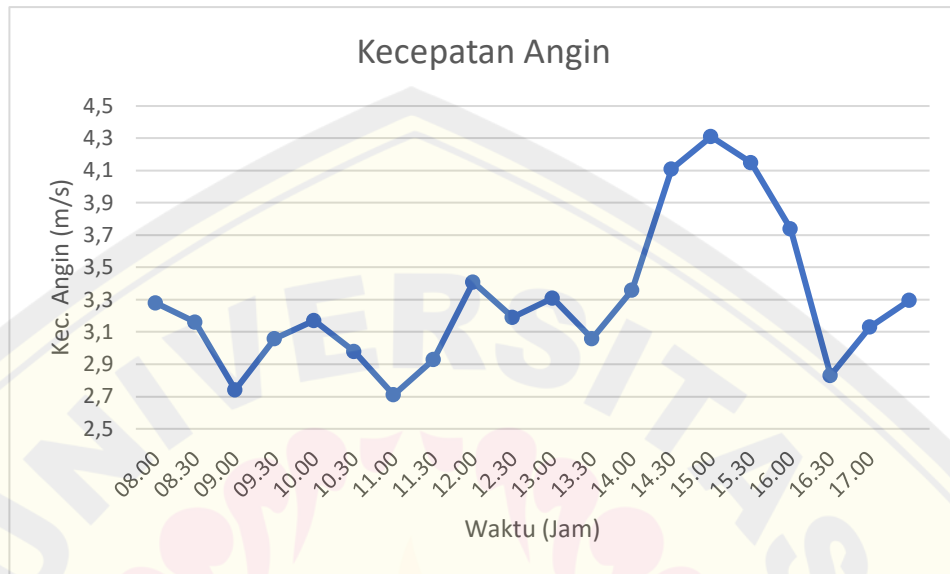
Kecepatan angin pada pesisir pantai Watudodol Banyuwangi diukur menggunakan sensor kecepatan angin (anemometer) yang terletak pada turbin angin. Data diperoleh dari hasil pengukuran selama 1 hari pada hari selasa 18 April 2023.

Tabel 4. 6 Hasil kecepatan angin hari Selasa

No	Waktu (Jam)	Kecepatan Angin (m/s)
1	08:00	3,28
2	08:30	3,16
3	09:00	2,74
4	09:30	3,06
5	10:00	3,17
6	10:30	2,98
7	11:00	2,71
8	11:30	2,93
9	12:00	3,41
10	12:30	3,19
11	13:00	3,31
12	13:30	3,06
13	14:00	3,36
14	14:30	4,11
15	15:00	4,31
16	15:30	4,15
17	16:00	3,74
18	16:30	2,83
19	17:00	3,13
Rata-rata		3,30

Tabel 4.6 merupakan tabel kecepatan angin setiap 30 menit yang didapatkan dalam kurun waktu 08.00-17.00. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa kecepatan angin terendah terletak pada waktu siang hari dengan kecepatan terendah pada pukul 11.00 sebesar 2.71 m/s dan kecepatan angin tertinggi terletak pada sore hari dengan kecepatan tertinggi pada pukul 15.00 sebesar 4,31 m/s.

Dari tabel hasil pengukuran kecepatan angin di atas didapatkan grafik kecepatan angin pada pesisir pantai Watudodol Banyuwangi selama 1 hari pada hari selasa.



Gambar 4. 8 Hasil kecepatan angin hari selasa

Gambar 4.7 merupakan grafik hasil kecepatan angin pada hari selasa, diketahui bahwa kecepatan angin tertinggi terdapat pada sore hari pukul 15.00.

4.5.2 Pengukuran *Output* Generator Hari Selasa

Pengukuran keluaran generator pada turbin angin di pesisir pantai Watudodol Banyuwangi diukur menggunakan sensor tegangan dan sensor INA219 yang terletak pada rangkaian mikrokontroler. Data diperoleh dari hasil pengukuran pada hari selasa 18 April 2023.

Dari hasil pengukuran keluaran generator menggunakan 2 jenis sensor yaitu sensor tegangan dan sensor INA219 dengan persamaan konversi nilai (*value*) ke nilai tegangan dan arus adalah.

$$Tegangan = 0.243 * value + 0.0615 \quad \dots\dots 4.7$$

$$Arus = 0.9987 * \text{value} + 0.5014 \quad \dots\dots 4.8$$

Dari hasil persamaan konveersi nilai (*value*) ke nilai tegangan dan arus didapatkan nilai daya yang dihasilkan dari perkalian menggunakan persamaan 2.7.

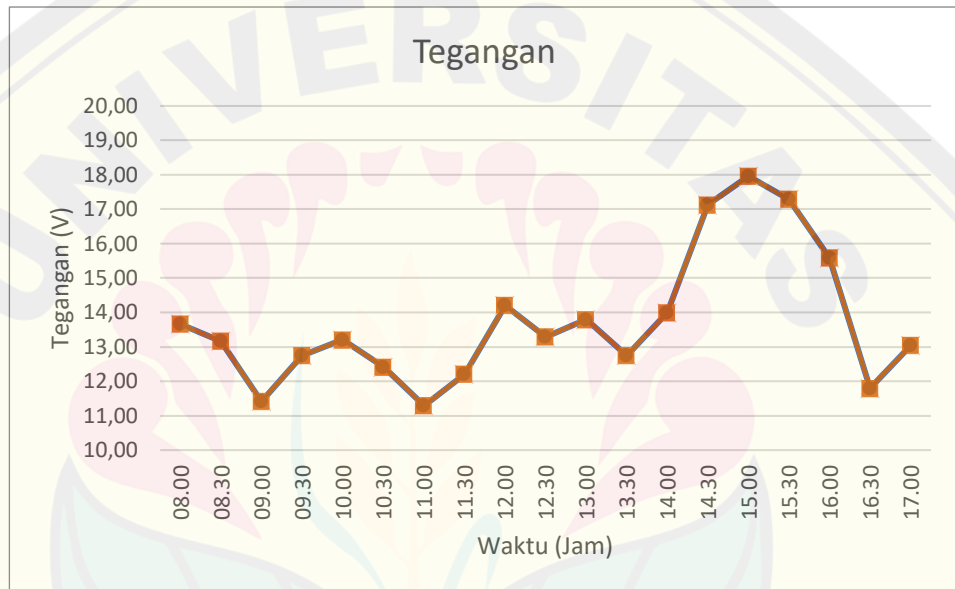
Tabel 4. 7 Hasil pengukuran keluaran generator hari Selasa

No	Waktu (Jam)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (Watt)
1	08:00	13,67	131,20	17,93
2	08:30	13,17	126,40	16,64
3	09:00	11,42	109,60	12,51
4	09:30	12,75	122,40	15,61
5	10:00	13,21	126,80	16,75
6	10:30	12,42	119,20	14,80
7	11:00	11,29	108,40	12,24
8	11:30	12,21	117,20	14,31
9	12:00	14,21	136,40	19,38
10	12:30	13,29	127,60	16,96
11	13:00	13,79	132,40	18,26
12	13:30	12,75	122,40	15,61
13	14:00	14,00	134,40	18,82
14	14:30	17,13	164,40	28,15
15	15:00	17,96	172,40	30,96
16	15:30	17,29	166,00	28,70
17	16:00	15,58	149,60	23,31
18	16:30	11,79	113,20	13,35
19	17:00	13,04	125,20	16,33
Rata-rata		13,73	131,85	18,45

Daya dapat diketahui dengan persamaan 4.5, saat nilai tegangan 13,67 Volt dan nilai arus 131,20 mA (1,31 A), maka daya yang diperoleh secara teori dapat dilihat sebagai berikut

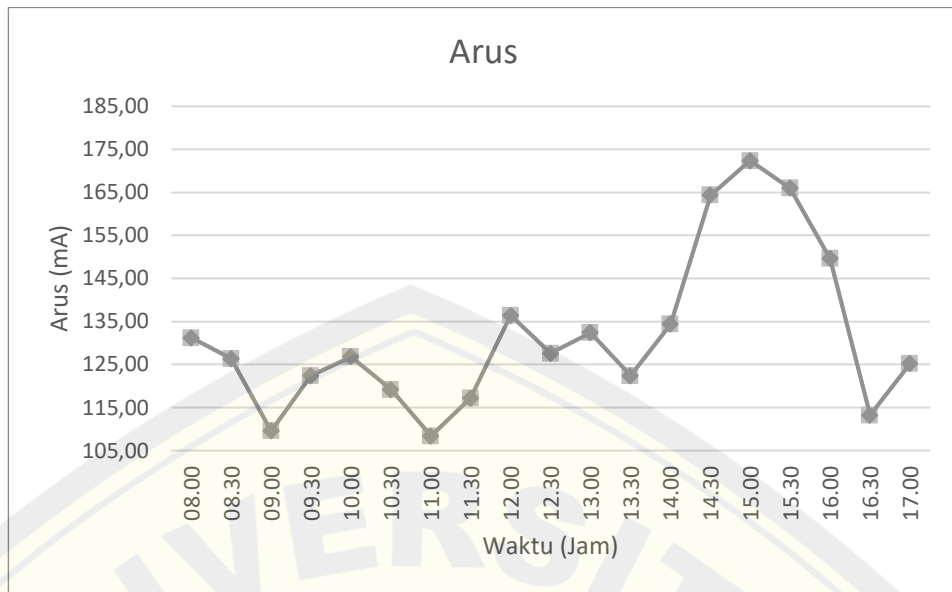
$$Daya = 13,67 \times 1,31 = 17,93 \text{ Watt} \quad \dots\dots 4.9$$

Tabel 4.7 merupakan hasil pengukuran pengisian baterai, dapatkan grafik tegangan, arus dan daya pada turbin angin di pesisir pantai Watudodol Banyuwangi pada hari Selasa 18 April 2023.



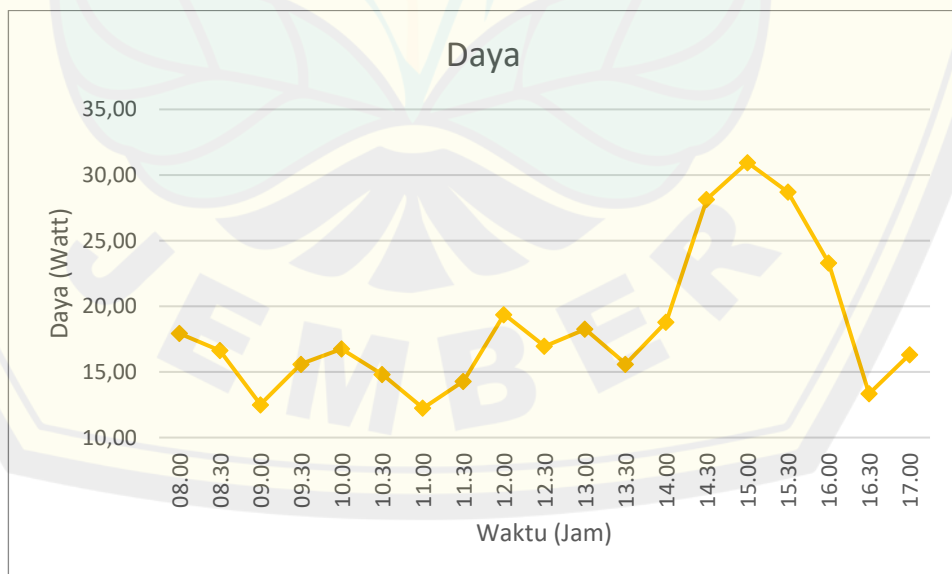
Gambar 4. 9 Hasil tegangan hari Selasa

Gambar 4.9 merupakan grafik tegangan keluaran generator dari hasil pengukuran menggunakan sensor tegangan (*Voltage Sensor*) selama satu hari yang diambil pukul 08.00-17.00 WIB, dengan data terendah pada pukul 11.00 WIB sebesar 11,29 V, data tertinggi pada pukul 15.00 WIB sebesar 17,96 V, dan rata-rata dalam hari Selasa sebesar 13,73 V. Kenaikan pada nilai tegangan berbanding lurus dengan kenaikan pada kecepatan angin.



Gambar 4. 10 Hasil arus hari selasa

Gambar 4.10 merupakan grafik arus keluaran generator dari hasil pengukuran menggunakan sensor arus INA219 selama satu hari yang diambil pukul 08.00-17.00 WIB, dengan data terendah pada pukul 11.00 WIB sebesar 108,40 mA, data tertinggi pada pukul 15.00 WIB sebesar 172,40 mA, dan rata-rata dalam hari selasa sebesar 131,85 mA. Kenaikan pada nilai arus berbanding lurus dengan kenaikan pada kecepatan angin.



Gambar 4. 11 Hasil daya hari selasa

Gambar 4.11 merupakan grafik daya keluaran generator dari hasil perkalian tegangan dan arus selama satu hari yang diambil pukul 08.00-17.00 WIB, dengan data terendah pada pukul 11.00 WIB sebesar 12,24 Watt, data tertinggi pada pukul 15.00 WIB sebesar 30,96 Watt, dan rata-rata dalam hari Selasa sebesar 18,45 Watt. Kenaikan pada nilai daya berbanding lurus dengan kenaikan pada kecepatan angin.

Gambar 4.8, gambar 4.9, gambar 4.10 merupakan grafik hasil tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan turbin pada hari Selasa. Dari gambar grafik tersebut dapat diketahui bahwa tegangan, arus, dan daya berbanding lurus dengan kecepatan angin.

4.4.3 Perbandingan Daya dengan Daya Turbin Hari Selasa

Daya merupakan hasil perkalian dari hasil nilai tegangan dengan nilai arus dari pengambilan data secara *real time* oleh mikrokontroler. Sedangkan daya turbin merupakan perhitungan daya secara teoritis yang menggunakan persamaan 2.10. Pengambilan data dilakukan pada hari Selasa 18 April 2023

Tabel 4. 8 Perbandingan daya dengan daya turbin hari Selasa

No	Waktu (Jam)	Daya (Watt)	Daya Turbin (Watt)
1	08.00	17,93	23,93
2	08.30	16,64	21,40
3	09.00	12,51	13,95
4	09.30	15,61	19,43
5	10.00	16,75	21,61
6	10.30	14,80	17,95
7	11.00	12,24	13,50
8	11.30	14,31	17,06
9	12.00	19,38	26,89
10	12.30	16,96	22,02
11	13.00	18,26	24,60

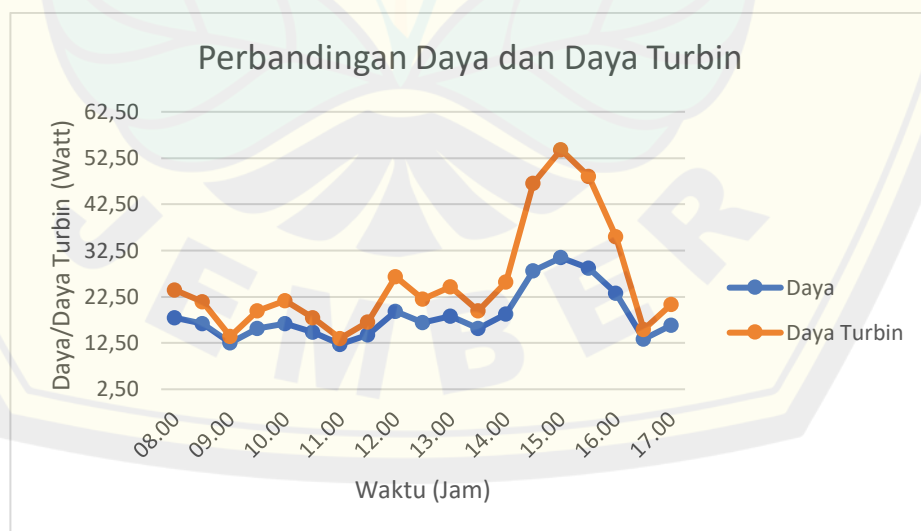
12	13.30	15,61	19,43
13	14.00	18,82	25,73
14	14.30	28,15	47,09
15	15.00	30,96	54,30
16	15.30	28,70	48,48
17	16.00	23,31	35,48
18	16.30	13,35	15,37
19	17.00	16,33	20,80
Rata-rata		18,45	25,74

Daya turbin dapat diketahui dengan persamaan 4.7, saat nilai ρ_a 1,2 Kg/m³, nilai panjang penampang 0,6 m, dan kecepatan angin 3,28 m/s maka daya turbin yang diperoleh secara teori dapat dilihat sebagai berikut

$$A_t = 3,14 \times 0,6^2 = 1,13 \text{ m}^2 \quad \dots\dots 4.10$$

$$\text{Daya turbin} = \frac{1}{2} \times 1,2 \times 1,13 \times 3,28^3 = 23,93 \text{ Watt} \quad \dots\dots 4.11$$

Dari tabel 4.3 di atas didapatkan grafik perbandingan daya dengan daya turbin pada turbin angin di pesisir pantai Watudodol Banyuwangi pada hari selasa 18 April 2023.



Gambar 4. 12 Grafik perbandingan daya dan daya turbin hari selasa

Gambar 4.12 merupakan grafik hasil perbandingan daya dengan daya turbin, dari gambar tersebut dapat diketahui daya dan daya turbin berbanding lurus namun daya turbin memiliki nilai yang lebih tinggi dikarenakan daya turbin hanya memperhitungkan luas penampang turbin (A_t) dan kecepatan angin, sedangkan daya memiliki indikator lebih seperti kapasitas generator.

4.4.4 Koefisien Daya Hari Selasa

Koefisien daya (C_p) didapatkan dari persamaan rumus 2.12 yang merupakan perbandingan antara daya yang diperoleh dari hasil turbin angin dengan daya angin pada pesisir pantai Watudodol Banyuwangi yang dilakukan pada hari Selasa 18 April 2023.

Perhitungan dari koefisien daya (C_p) diperluhkan daya turbin terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan 2.10.

Tabel 4. 9 Koefisien daya hari Selasa

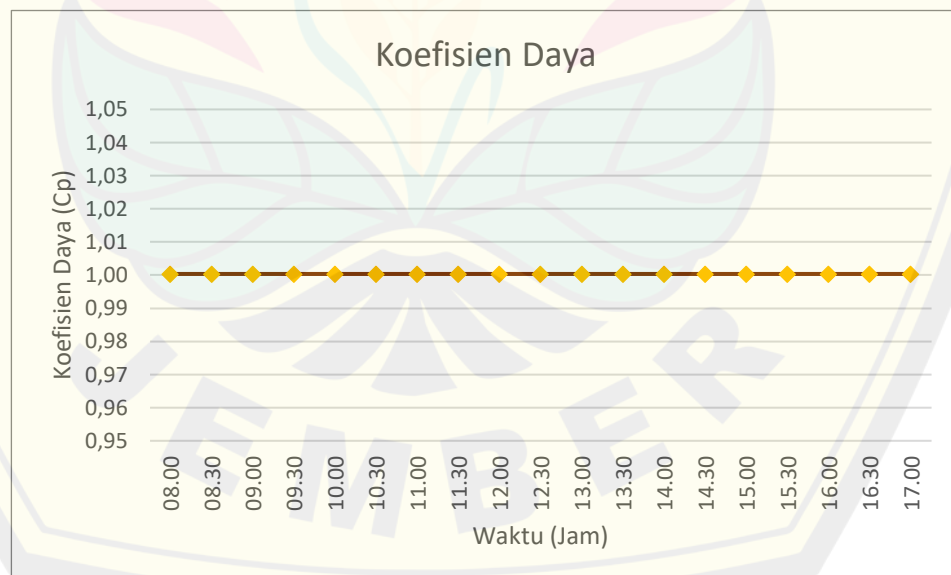
No	Waktu (Hari)	Daya Turbin (Watt)	Kecepatan Angin (m/s)	Koefisien Daya (C_p)
1	08.00	23,93	3,28	1,00
2	08.30	21,40	3,16	1,00
3	09.00	13,95	2,74	1,00
4	09.30	19,43	3,06	1,00
5	10.00	21,61	3,17	1,00
6	10.30	17,95	2,98	1,00
7	11.00	13,50	2,71	1,00
8	11.30	17,06	2,93	1,00
9	12.00	26,89	3,41	1,00
10	12.30	22,02	3,19	1,00
11	13.00	24,60	3,31	1,00
12	13.30	19,43	3,06	1,00
13	14.00	25,73	3,36	1,00

14	14.30	47,09	4,11	1,00
15	15.00	54,30	4,31	1,00
16	15.30	48,48	4,15	1,00
17	16.00	35,48	3,74	1,00
18	16.30	15,37	2,83	1,00
19	17.00	20,80	3,13	1,00
Rata-rata		25,74	3,30	1,00

Koefisien Daya (C_p) dapat diketahui dengan persamaan 4.8 , saat nilai daya turbin (P_t) 23,93 Watt dan kecepatan angin 3,28 m/s maka koefisien daya yang diperoleh secara teori sebagai berikut

$$C_p = \frac{2 \times 23,93}{1,2 \times 1,13 \times 3,28^3} = 1,00 \quad \dots\dots 4.12$$

Dari tabel 4.4 di atas didapatkan grafik daya turbin (P_t), kecepatan angin (m/s), dan koefisien daya (C_p) pada turbin angin di pesisir pantai Watudodol Banyuwangi pada hari Selasa, 18 April 2023.



Gambar 4. 13 Grafik koefisien daya hari selasa

Gambar 4.13 merupakan grafik hasil koefisien daya (C_p), dari gambar tersebut diketahui koefisien daya stabil pada nilai 1,00.

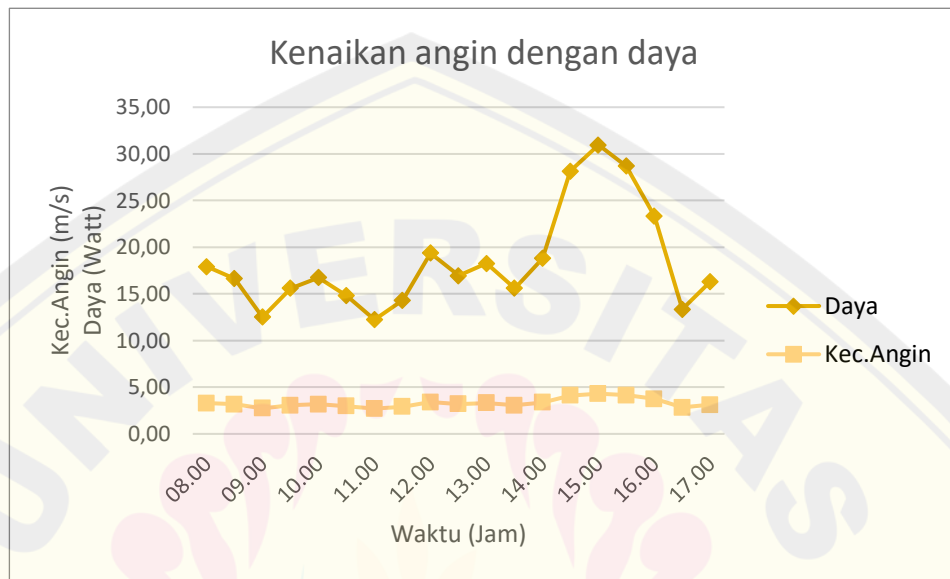
4.4.5 Perbandingan Kenaikan Angin dengan Daya hari Selasa

Dari hasil pengambilan data yang diperoleh dapat dihasilkan nilai kenaikan angin dengan daya secara real time. Pengambilan data tersebut dilakukan untuk mendapatkan hasil besaran daya yang dihasilkan oleh kenaikan kecepatan angin pada pesisir pantai Watudodol Banyuwangi yang dilakukan pada hari Selasa, 18 April 2023.

Tabel 4. 10 Perbandingan kenaikan angin dengan daya hari selasa

No	Kecepatan Angin (m/s)	Daya (Watt)
1	3,28	17,93
2	3,16	16,64
3	2,74	12,51
4	3,06	15,61
5	3,17	16,75
6	2,98	14,80
7	2,71	12,24
8	2,93	14,31
9	3,41	19,38
10	3,19	16,96
11	3,31	18,26
12	3,06	15,61
13	3,36	18,82
14	4,11	28,15
15	4,31	30,96
16	4,15	28,70
17	3,74	23,31
18	2,83	13,35
19	3,13	16,33

Tabel 4.10 merupakan perbandingan kenaikan angin dengan daya, didapatkan grafik kecepatan angin (m/s) dan daya (watt) yang dihasilkan secara real time pada turbin angin di pesisir pantai Watudodol Banyuwangi pada hari Selasa 18 April 2023.



Gambar 4. 14 Grafik kenaikan angin dengan daya hari Selasa

Gambar 4.14 merupakan grafik hasil perbandingan kenaikan angin dengan daya, dapat diketahui bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan kenaikan daya dikarenakan kecepatan angin merupakan faktor energi utama penggerak turbin angin yang menghasilkan energi listrik.

BAB V PENUTUP**5.1 Kesimpulan**

Dari hasil perancangan *prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) menggunakan kincir angin tipe horizontal di pesisir pantai Watudodol Banyuwangi serta melakukan penelitian dan pengujian yang dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengukuran yang dilakukan selama satu minggu diperoleh kecepatan rata-rata angin pada pesisir pantai watudodol sebesar 3,24 m/s, dengan angin terendah sebesar 1,79 m/s dan angin tertinggi sebesar 4,31 m/s.
2. Dari hasil pengukuran output yang dihasilkan oleh turbin menghasilkan tegangan terendah 7,46 volt dan tegangan tertinggi 17,96 volt, arus terendah 71,60 mA dan arus tertinggi 172,40 mA, daya terendah 5,34 watt dan daya tertinggi 30,96 watt. Hal tersebut berbanding lurus dengan kenaikan pada kecepatan angin.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian didapatkan beberapa saran untuk melakukan pengembangan skripsi sebagai berikut :

1. Pada *prototype* ini sangat memungkinkan dan dapat disempurnakan dengan meningkatkan jenis generator dengan putaran tinggi dan output yang tinggi.
2. Mendesain mekanik kincir angin pada turbin dengan seringan mungkin supaya ketika kincir angin bergerak tertiuip angin dengan kecepatan rendah, turbin langsung dapat berputar.
3. Perlu adanya pengembangan lebih lanjut mengenai pemanfaatan energi baru dan terbarukan untuk pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) sehingga diperoleh efisien dan memaksimalkan penggunaan dalam jangka panjang.
4. Perlu adanya pengembangan potensi ladang angin khususnya pada pesisir pantai agar dapat memaksimalkan sumber energi baru terbarukan yang dapat membantu warga sekitar dalam pasokan energi listrik.

5. Fungsi dari alat diharapkan dapat dikembangkan agar bisa membantu menambah pasokan energi listrik pada masyarakat.



DAFTAR PUSTAKA

- A. M. Hidayatullah Iqsyah, Riswan, 2018, Perancangan Pembangkit Listrik Kincir Angin Menggunakan Empat Sumbu Horizontal, *Tugas Akhir, Tek. Jur. Tek. Elektro Universitas Muhammadiyah Makasar*.
- Burton, Tony. Shampe, David. Jenkins, Nick. Bossanyi, Ervin, 2001, *Wind Energy Handbook*, Willey : New York.
- Daryanto, Y., 2007. *Kajian Potensi Angin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Yogyakarta, https://elkace.files.wordpress.com/2008/02/kincir_angin.pdf.
- Grebner, Donald L.; Bettinger, Pete; Siry, Jacek P. (2013-01-01). Grebner, Donald L.; Bettinger, Pete; Siry, Jacek P., ed. *Introduction to Forestry and Natural Resources*. San Diego: Academic Press. hlm. 323–358. doi:10.1016/b978-0-12-386901-2.00014-2. ISBN 978-0-12-386901-2.
- Julius Mulyono, Hadi Santoso, Evan Jonathan Sarasih, Steven Wijaya, Martinus Eko Susanto, 2018, Desain baling-baling kincir angin sumbu Horizontal, *Simposium Nasional RAPI XVII – 2018 FT UMS, ISSN 1412-9612*.
- M. D. Syaifullah, “Analisis Kondisi Udara Atas Wilayah Indonesia,” *J. Meteorol. Dan Geofis. VOL.*, vol. 18, no. 1, pp. 1–12, 2017.
- M. N. Habibie, A. Sasmito, and R. Kurniawan, “Kajian Potensi Energi Angin Di Wilayah Sulawesi Dan Maluku,” *Kaji. Potensi Energi Angin Di Wil. Sulawesi, Jakarta, Puslitbang BMKG*, no. 2, pp. 181–187, 2011.
- Maesha Gusti Rianta, S.T., M.Sc., 2021, *Mengenal Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dan Mekanisme Kegagalan pada Turbin Angin*, <https://indonesiare.co.id/id/article/mengenal-pembangkit-listrik-tenaga-bayu-pltb-dan-mekanisme-kegagalan-pada-turbin-angin>.
- Nur Aini, S.Pd., 2022, *Pembangkit Listrik Tenaga Angin : Komponen-Cara Kerja dan Contohnya*, <https://haloedukasi.com/pembangkit-listrik-tenaga-angin>.

Rimbawati, Nur Ardiansyah, Noorly Evalina, 2019, Perancangan Sistem Pengontrol Tegangan pada PLTB menggunakan Potensio DC, *Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*.

Riyan Wicaksono, 2020, Analisis Turbin Angin Horizontal Tipe TSD 500 Dengan Daya 500 Watt untuk Kebutuhan Rumah Tangga di PT. Lentera Bumi Nusantara (LBN) di Ciheras Jawa Barat, *T. Akhir, Tek. Mesin, Institut Sains dan Teknologi AKPRIND*.

Setiawan, F., Djanat Prasita, V., Widagdo, S., Meteorologi, B., Klimatologi, D., & Geofisika, S. (n.d.). *PERGERAKAN ARUS PERMUKAAN LAUT SELAT BALI BERDASARKAN PARAMETER ANGIN DAN CUACA*.

T. Akhir and A. Nugraheni, "Perancangan pembangkit listrik tenaga angin skala kecil di gedung bertingkat," *Tugas Akhir, Fakultas Tek. Jur. Tek. ELEKTRO Univ. Muhammadiyah Surakarta*, pp. 1–6, 2010.

Wikipedia, 2022, Kincir Angin, https://id.wikipedia.org/wiki/Kincir_angin

Y. I. Nakhoda and C. Saleh, 2017, "Pembangkit Listrik Tenaga Angin Sumbu Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga Di Daerah Pesisir Pantai," *Ind. Inov. Prodi Tek. Elektro, Fak. Teknol. Ind. Inst. Teknol. Nas. Malang*, vol. 7, no. 1, pp. 20–28, 2017.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Listing Program

```
#include <SPI.h>

#include <SD.h>

#include <Wire.h>

#include "RTCLib.h"

#include <Adafruit_INA219.h>

Adafruit_INA219 ina219;

File myFile;

RTC_DS3231 rtc;

char daysOfTheWeek[7][12] = {"Ahad", "Senin", "Selasa", "Rabu", "Kamis",
"Jum'at", "Sabtu"};

const int IN1 = 4;

//anemo parameter

volatile byte rpmcount; // count signals

volatile unsigned long last_micros;

unsigned long timeold;

unsigned long timemeasure = 5.00; // seconds

int timetoSleep = 1; // minutes

unsigned long sleepTime = 15; // minutes

unsigned long timeNow;
```

```
int countThing = 0;

int GPIO_pulse = 2; // Arduino = D2

float rpm, rps; // frequencies

float radius = 0.1; // meters - measure of the length of each the anemometer wing

float velocity_kmh; // km/h

float velocity_ms; //m/s

float omega = 0; // rad/s

float calibration_value = 2.0;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  // while (!Serial) {
  // // will pause Zero, Leonardo, etc until serial console opens
  // delay(1);
  Serial.println("Data Logger Starting . . . !");
  delay(1000);

  Serial.println("Membuka Micro SD . . .");
```



```
delay(1000);

if (!SD.begin(53))

{

Serial.println("Gagal Membuka Micro SD!");

return;

}

Serial.println("Berhasil Membuka Micro SD");

delay(1000);

Serial.println("Memeriksa Koneksi RTC . . .");

delay(1000);

if (! rtc.begin())

{

Serial.println("RTC tidak ditemukan");

return;

}

Serial.println("Koneksi RTC Berhasil");

if (rtc.lostPower())

{

Serial.println("Sett time RTC");

rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__))); //sett waktu RTC sesuai waktu di PC saat uploud sketch

}

}
```

```
pinMode(GPIO_pulse, INPUT_PULLUP);

digitalWrite(GPIO_pulse, LOW);

detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(GPIO_pulse));           // force to
initiate Interrupt on zero

attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(GPIO_pulse), rpm_anemometer, RISING);
//Initialize the interrupt pin

rpmcount = 0;
rpm = 0;
timeold = 0;
timeNow = 0;

//setting relay
ina219.begin();
pinMode(IN1, OUTPUT);
}

//uint32_t currentFrequency;
//Serial.println("Measuring voltage and current with
INA219 ...");

// if (! ina219.begin()) {
```

```
// Serial.println("Failed to find INA219 chip");  
  
// while (1) { delay(10); }  
  
//  
  
// Serial.println("Measuring voltage and current with  
INA219 ...");  
  
//}  
  
void loop()  
{  
    DateTime now = rtc.now();  
    delay(2000);  
  
    float value = analogRead(A0);  
    float tegangan = 0.0243 * value + 0.0615;  
    float value1 = ina219.getCurrent_mA();  
    float arus = 0.9987 * value1 + 0.5014 ;  
  
    if ((millis() - timeold) >= timemeasure * 1000)  
    {  
        countThing++;  
  
        detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(GPIO_pulse));  
        // Disable interrupt when calculating  
  
        rps = float(rpmcount) / float(timemeasure); //  
        rotations per second
```

```

        rpm = 60 * rps;                                //
rotations per minute

        omega = 2 * PI * rps;                          //
rad/s

        velocity_ms = omega * radius * calibration_value;
// m/s

        velocity_kmh = velocity_ms * 3.6;              //
km/h

Serial.print("rps=");
Serial.print(rps);
Serial.print("    rpm=");
Serial.print(rpm);

Serial.print("    velocity_ms=");
Serial.print(velocity_ms);

//tidak dipakai
//    Serial.print("    velocity_kmh=");
//    Serial.print(velocity_kmh);
//    Serial.println("    ");

if (countThing == 1) // Send data per 5 seconds
{
    Serial.println("Send data to server");
    countThing = 0;
}

timeold = millis();

```

```
rpmcount = 0;

attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(GPIO_pulse),
rpm_anemometer, RISING); // enable interrupt

}

//Kirim data ke SD card

myfile = SD.open("coba.txt", FILE_WRITE); //Membuka
File test.txt
if (myfile) // jika file tersedia tulis data
{
    if (tegangan > 12 ) {
digitalWrite(IN1, LOW);

myfile.print(now.year(), DEC);
myfile.print('/');
myfile.print(now.month(), DEC);
myfile.print('/');
myfile.print(now.day(), DEC);
myfile.print(" ");
myfile.print(daysOfTheWeek[now.dayOfTheWeek()]);
myfile.print(" ");
myfile.print(now.hour(), DEC);
myfile.print(':');
```

```
myFile.print(now.minute(), DEC);  
  
myFile.print(':');  
  
myFile.print(now.second(), DEC);  
  
myFile.print(" | Tegangan: ");  
  
myFile.print(tegangan);  
  
myFile.print(" | Arus: ");  
  
myFile.print(arus);  
  
myFile.print(" | Kecepatan Angin:: ");  
  
myFile.print(velocity_ms);  
  
    myFile.print(" | Lampu_Menyala");  
  
myFile.println(" | "); //kondisi relay  
  
myFile.close();  
  
  
Serial.print(now.year(), DEC);  
  
Serial.print('/');  
  
Serial.print(now.month(), DEC);  
  
Serial.print('/');  
  
Serial.print(now.day(), DEC);  
  
Serial.print(" ");  
  
Serial.print(daysOfTheWeek[now.dayOfTheWeek()]);  
  
Serial.print(" ");  
  
Serial.print(now.hour(), DEC);  
  
Serial.print(':');
```

```
Serial.print(now.minute(), DEC);  
  
Serial.print(':');  
  
Serial.print(now.second(), DEC);  
  
Serial.print(" | Tegangan: ");  
  
Serial.print(tegangan);  
  
Serial.print(" | Arus: ");  
  
Serial.print(arus);  
  
Serial.print(" | Kecepatan Angin:: ");  
  
Serial.print(velocity_ms);  
  
Serial.print(" | Lampu_Menyala");  
  
Serial.println(" | "); //kondisi relay  
delay(1000);  
  
}  
  
else  
{  
  
digitalWrite(IN1, HIGH);  
myFile.print(now.year(), DEC);  
myFile.print('/');  
  
myFile.print(now.month(), DEC);  
  
myFile.print('/');  
  
myFile.print(now.day(), DEC);
```

```
myFile.print(" ");  
  
myFile.print(daysOfTheWeek[now.dayOfTheWeek()]);  
  
myFile.print(" ");  
  
myFile.print(now.hour(), DEC);  
  
myFile.print(':');  
  
myFile.print(now.minute(), DEC);  
  
myFile.print(':');  
  
myFile.print(now.second(), DEC);  
  
myFile.print(" | Tegangan: ");  
  
myFile.print(tegangan);  
  
myFile.print(" | Arus: ");  
  
myFile.print(arus);  
  
myFile.print(" | Kecepatan Angin:: ");  
  
myFile.print(velocity_ms);  
  
myFile.print(" | Lampu_Padam");  
  
myFile.println(" | "); //kondisi relay  
  
myFile.close();  
  
Serial.println("Data 2"); // jika gagal print error  
delay(2000); //memberi jeda 5 detik, karena proses  
pengiriman data berlangsung selama 3 detik, jadi total  
5 detik  
  
}  
  
}
```



```
} // end of loop

void rpm_anemometer()
{
    if (long(micros() - last_micros) >= 5000)
    { // time to debounce measures
        rpmcount++;
        last_micros = micros();
    }
    // Serial.println("***** detect *****");
}
```

Lampiran 2. Rancang Bangun



Gambar rancang bangun keseluruhan



Gambar proses pengambilan data



Gambar hasil tegangan terukur

Lampiran 3 Tabel Pengujian Keseluruhan

Tabel Hari Senin, 17 April 2023

No	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (mAmpere)	Daya (Watt)	Daya Turbin (Watt)	Kec Angin (m/s)	Kec Angin (m/s)
1	08.00	11,92	114,40	13,63	15,87	2,86	1,00
2	08.30	11,13	106,80	11,88	12,91	2,67	1,00
3	09.00	12,13	116,40	14,11	16,71	2,91	1,00
4	09.30	13,08	125,60	16,43	21,00	3,14	1,00
5	10.00	11,75	112,80	13,25	15,21	2,82	1,00
6	10.30	12,67	121,60	15,40	19,05	3,04	1,00

No	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (mAmpere)	Daya (Watt)	Daya Turbin (Watt)	Kec Angin (m/s)	Kec Angin (m/s)
7	11.00	14,25	136,80	19,49	27,13	3,42	1,00
8	11.30	14,79	142,00	21,00	30,34	3,55	1,00
9	12.00	14,04	134,80	18,93	25,96	3,37	1,00
10	12.30	13,25	127,20	16,85	21,81	3,18	1,00
11	13.00	13,88	133,20	18,48	25,04	3,33	1,00
12	13.30	16,13	154,80	24,96	39,31	3,87	1,00
13	14.00	17,54	168,40	29,54	50,61	4,21	1,00
14	14.30	16,33	156,80	25,61	40,85	3,92	1,00
15	15.00	17,13	164,40	28,15	47,09	4,11	1,00
16	15.30	14,50	139,20	20,18	28,58	3,48	1,00
17	16.00	12,96	124,40	16,12	20,40	3,11	1,00
18	16.30	11,42	109,60	12,51	13,95	2,74	1,00
19	17.00	13,25	127,20	16,85	21,81	3,18	1,00
Rata-rata		13,80	132,44	18,60	25,98	3,31	1,00

Tabel Hari Selasa, 18 April 2023

No	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (mAmpere)	Daya (Watt)	Daya Turbin (Watt)	Kec Angin (m/s)	Koefisien Daya (Cp)
1	08.00	13,67	131,20	17,93	23,93	3,28	1,00
2	08.30	13,17	126,40	16,64	21,40	3,16	1,00
3	09.00	11,42	109,60	12,51	13,95	2,74	1,00
4	09.30	12,75	122,40	15,61	19,43	3,06	1,00
5	10.00	13,21	126,80	16,75	21,61	3,17	1,00
6	10.30	12,42	119,20	14,80	17,95	2,98	1,00
7	11.00	11,29	108,40	12,24	13,50	2,71	1,00
8	11.30	12,21	117,20	14,31	17,06	2,93	1,00
9	12.00	14,21	136,40	19,38	26,89	3,41	1,00
10	12.30	13,29	127,60	16,96	22,02	3,19	1,00
11	13.00	13,79	132,40	18,26	24,60	3,31	1,00
12	13.30	12,75	122,40	15,61	19,43	3,06	1,00
13	14.00	14,00	134,40	18,82	25,73	3,36	1,00
14	14.30	17,13	164,40	28,15	47,09	4,11	1,00
15	15.00	17,96	172,40	30,96	54,30	4,31	1,00
16	15.30	17,29	166,00	28,70	48,48	4,15	1,00

No	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (mAmpere)	Daya (Watt)	Daya Turbin (Watt)	Kec Angin (m/s)	Koefisien Daya (Cp)
17	16.00	15,58	149,60	23,31	35,48	3,74	1,00
18	16.30	11,79	113,20	13,35	15,37	2,83	1,00
19	17.00	13,04	125,20	16,33	20,80	3,13	1,00
Rata-rata		13,73	131,85	18,45	25,74	3,30	1,00

Tabel Hari Rabu, 19 April 2023

No	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (mAmpere)	Daya (Watt)	Daya Turbin (Watt)	Kec Angin (m/s)	Koefisien Daya (Cp)
1	08.00	13,21	126,80	16,75	21,61	3,17	1,00
2	08.30	12,33	118,40	14,60	17,59	2,96	1,00
3	09.00	10,46	100,40	10,50	10,73	2,51	1,00
4	09.30	9,42	90,40	8,51	7,83	2,26	1,00
5	10.00	11,46	110,00	12,60	14,11	2,75	1,00
6	10.30	10,21	98,00	10,00	9,97	2,45	1,00
7	11.00	10,96	105,20	11,53	12,34	2,63	1,00
8	11.30	11,83	113,60	13,44	15,54	2,84	1,00
9	12.00	12,13	116,40	14,11	16,71	2,91	1,00
10	12.30	14,21	136,40	19,38	26,89	3,41	1,00
11	13.00	15,08	144,80	21,84	32,17	3,62	1,00
12	13.30	13,67	131,20	17,93	23,93	3,28	1,00
13	14.00	14,79	142,00	21,00	30,34	3,55	1,00
14	14.30	13,79	132,40	18,26	24,60	3,31	1,00
15	15.00	15,38	147,60	22,69	34,08	3,69	1,00
16	15.30	17,25	165,60	28,57	48,13	4,14	1,00
17	16.00	16,13	154,80	24,96	39,31	3,87	1,00
18	16.30	13,29	127,60	16,96	22,02	3,19	1,00
19	17.00	13,50	129,60	17,50	23,07	3,24	1,00
Rata-rata		13,11	125,85	16,90	22,68	3,15	1,00

Tabel Hari Kamis, 20 April 2023

No	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (mAmpere)	Daya (Watt)	Daya Turbin (Watt)	Kec Angin (m/s)	Koefisien Daya (Cp)
1	08.00	11,96	114,80	13,73	16,03	2,87	1,00
2	08.30	11,21	107,60	12,06	13,20	2,69	1,00
3	09.00	11,71	112,40	13,16	15,05	2,81	1,00
4	09.30	13,17	126,40	16,64	21,40	3,16	1,00
5	10.00	13,67	131,20	17,93	23,93	3,28	1,00
6	10.30	15,04	144,40	21,72	31,91	3,61	1,00
7	11.00	14,21	136,40	19,38	26,89	3,41	1,00
8	11.30	16,33	156,80	25,61	40,85	3,92	1,00
9	12.00	17,96	172,40	30,96	54,30	4,31	1,00
10	12.30	17,21	165,20	28,43	47,78	4,13	1,00
11	13.00	16,13	154,80	24,96	39,31	3,87	1,00
12	13.30	16,29	156,40	25,48	40,54	3,91	1,00
13	14.00	16,21	155,60	25,22	39,92	3,89	1,00
14	14.30	14,21	136,40	19,38	26,89	3,41	1,00
15	15.00	11,96	114,80	13,73	16,03	2,87	1,00
16	15.30	12,13	116,40	14,11	16,71	2,91	1,00
17	16.00	13,08	125,60	16,43	21,00	3,14	1,00
18	16.30	12,42	119,20	14,80	17,95	2,98	1,00
19	17.00	10,92	104,80	11,44	12,20	2,62	1,00
Rata-rata		13,99	134,29	19,22	27,47	3,36	1,00

Tabel Hari Jumat, 21 April 2023

No	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (mAmpere)	Daya (Watt)	Daya Turbin (Watt)	Kec Angin (m/s)	Koefisien Daya (Cp)
1	08.00	11,58	111,20	12,88	14,57	2,78	1,00
2	08.30	13,04	125,20	16,33	20,80	3,13	1,00
3	09.00	13,54	130,00	17,60	23,28	3,25	1,00
4	09.30	15,63	150,00	23,44	35,77	3,75	1,00
5	10.00	15,17	145,60	22,08	32,71	3,64	1,00
6	10.30	16,33	156,80	25,61	40,85	3,92	1,00
7	11.00	14,21	136,40	19,38	26,89	3,41	1,00
8	11.30	13,25	127,20	16,85	21,81	3,18	1,00

No	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (mAmpere)	Daya (Watt)	Daya Turbin (Watt)	Kec Angin (m/s)	Koefisien Daya (Cp)
9	12.00	16,00	153,60	24,58	38,40	3,84	1,00
10	12.30	10,33	99,20	10,25	10,35	2,48	1,00
11	13.00	9,29	89,20	8,29	7,52	2,23	1,00
12	13.30	8,83	84,80	7,49	6,46	2,12	1,00
13	14.00	7,46	71,60	5,34	3,89	1,79	1,00
14	14.30	7,92	76,00	6,02	4,65	1,90	1,00
15	15.00	10,33	99,20	10,25	10,35	2,48	1,00
16	15.30	9,04	86,80	7,85	6,93	2,17	1,00
17	16.00	10,38	99,60	10,33	10,47	2,49	1,00
18	16.30	11,88	114,00	13,54	15,70	2,85	1,00
19	17.00	10,96	105,20	11,53	12,34	2,63	1,00
Rata-rata		11,85	113,77	14,19	18,09	2,84	1,00

Tabel Hari Sabtu, 22 April 2023

No	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (mAmpere)	Daya (Watt)	Daya Turbin (Watt)	Kec Angin (m/s)	Koefisien Daya (Cp)
1	08.00	12,42	119,20	14,80	17,95	2,98	1,00
2	08.30	13,67	131,20	17,93	23,93	3,28	1,00
3	09.00	15,04	144,40	21,72	31,91	3,61	1,00
4	09.30	16,00	153,60	24,58	38,40	3,84	1,00
5	10.00	14,38	138,00	19,84	27,85	3,45	1,00
6	10.30	16,17	155,20	25,09	39,62	3,88	1,00
7	11.00	15,21	146,00	22,20	32,98	3,65	1,00
8	11.30	15,79	151,60	23,94	36,92	3,79	1,00
9	12.00	16,42	157,60	25,87	41,48	3,94	1,00
10	12.30	16,92	162,40	27,47	45,39	4,06	1,00
11	13.00	17,46	167,60	29,26	49,89	4,19	1,00
12	13.30	16,54	158,80	26,27	42,44	3,97	1,00
13	14.00	14,21	136,40	19,38	26,89	3,41	1,00
14	14.30	13,88	133,20	18,48	25,04	3,33	1,00
15	15.00	15,33	147,20	22,57	33,80	3,68	1,00
16	15.30	15,58	149,60	23,31	35,48	3,74	1,00
17	16.00	16,54	158,80	26,27	42,44	3,97	1,00
18	16.30	16,96	162,80	27,61	45,73	4,07	1,00

No	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (mAmpere)	Daya (Watt)	Daya Turbin (Watt)	Kec Angin (m/s)	Koefisien Daya (Cp)
19	17.00	14,75	141,60	20,89	30,09	3,54	1,00
Rata-rata		15,43	148,17	23,03	35,17	3,70	1,00

Tabel Hari Minggu, 23 April 2023

No	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (mAmpere)	Daya (Watt)	Daya Turbin (Watt)	Kec Angin (m/s)	Koefisien Daya (Cp)
1	08.00	10,04	96,40	9,68	9,49	2,41	1,00
2	08.30	11,75	112,80	13,25	15,21	2,82	1,00
3	09.00	12,13	116,40	14,11	16,71	2,91	1,00
4	09.30	14,46	138,80	20,07	28,34	3,47	1,00
5	10.00	12,25	117,60	14,41	17,24	2,94	1,00
6	10.30	11,08	106,40	11,79	12,77	2,66	1,00
7	11.00	11,83	113,60	13,44	15,54	2,84	1,00
8	11.30	11,63	111,60	12,97	14,73	2,79	1,00
9	12.00	15,04	144,40	21,72	31,91	3,61	1,00
10	12.30	13,29	127,60	16,96	22,02	3,19	1,00
11	13.00	12,33	118,40	14,60	17,59	2,96	1,00
12	13.30	12,04	115,60	13,92	16,37	2,89	1,00
13	14.00	14,25	136,80	19,49	27,13	3,42	1,00
14	14.30	13,13	126,00	16,54	21,20	3,15	1,00
15	15.00	13,75	132,00	18,15	24,37	3,30	1,00
16	15.30	13,17	126,40	16,64	21,40	3,16	1,00
17	16.00	12,38	118,80	14,70	17,77	2,97	1,00
18	16.30	12,00	115,20	13,82	16,20	2,88	1,00
19	17.00	12,63	121,20	15,30	18,87	3,03	1,00
Rata-rata		12,59	120,84	15,35	19,20	3,02	1,00