

LAPORAN TUGAS AKHIR

PROTOTYPE

**RANCANG BANGUN SISTEM PLTB MENGGUNAKAN
KINCIR ANGIN TAHAN CUACA EKSTREM UNTUK
OPTIMALISASI ENERGI TERBARUKAN DI KAPAL**



SHODIQ DHIYA'ULHAQ KHOSYI'

22 36 30 73 025

disusun sebagai salah satu syarat
menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KELISTRIKAN KAPAL
TAHUN 2026

LAPORAN TUGAS AKHIR

PROTOTYPE

**RANCANG BANGUN SISTEM PLTB MENGGUNAKAN
KINCIR ANGIN TAHAN CUACA EKSTREM UNTUK
OPTIMALISASI ENERGI TERBARUKAN DI KAPAL**



SHODIQ DHIYA'ULHAQ KHOSYI'

22 36 30 73 025

disusun sebagai salah satu syarat
menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KELISTRIKAN KAPAL
TAHUN 2026

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : SHODIQ DHIYAUHAQ KHOSYI

Nomor Induk Taruna : 22 36307 3 025

Program Studi : D-IV Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

Menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya tulis dengan judul:

RANCANG BANGUN SISTEM PLTB MENGGUNAKAN KINCIR ANGIN TAHAN CUACA EKSTREM UNTUK OPTIMALISASI ENERGI TERBARUKAN DI KAPAL

Merupakan karya asli seluruh ide yang ada dalam Tugas Akhir tersebut, kecuali tema yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide saya sendiri. Jika pernyataan diatas terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Pelayaran Surabaya.

Surabaya, 14-07- 2026



SHODIQ DHIYAUHAQ KHOSYI
NIT. 22 36307 3 025

ABSTRAK

SHODIQ DHIYAULHAQ KHOSYI, (2026). Rancang Bangun Sistem PLTB Menggunakan Kincir Angin Tahan Cuaca Ekstrem Untuk Optimalisasi Energi Terbarukan Di Kapal. Dibimbing Oleh Edi Kurniawan, SST.M.T. Dan Dr. Elly Kusumawati, S.H., M.H.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) menggunakan kincir angin tipe *Archimedes* yang tahan terhadap cuaca ekstrem guna mendukung optimalisasi energi terbarukan di kapal. Metode penelitian yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan tahapan perancangan, perakitan, dan pengujian sistem. Komponen utama yang digunakan meliputi turbin angin tipe *Archimedes*, generator DC, *Solar Charge Controller* (SCC), baterai LiFePO₄, *inverter*, dan indikator kapasitas baterai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototype sistem PLTB berhasil dirancang dan seluruh komponen bekerja sesuai dengan fungsinya. Generator DC mampu menghasilkan tegangan pengisian maksimum sebesar 13,9 V dan arus pengisian sebesar 17,6 mA pada putaran 1.199,1 rpm. Pada pengujian ekstrem, posisi kiri depan menghasilkan kinerja terbaik dengan kecepatan angin 4,6 m/s, arus pengisian 17,7 mA, dan tegangan pengisian 5,7 V, sedangkan arah belakang tidak menghasilkan pengisian karena hembusan angin tidak mengenai sudu turbin secara efektif. Pada pengujian non ekstrem, lokasi yang tidak terhalang bangunan menghasilkan arus dan tegangan pengisian yang lebih tinggi serta lebih stabil dibandingkan lokasi yang terhalang bangunan karena aliran angin dapat diterima turbin secara lebih optimal. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa sistem PLTB menggunakan turbin angin tipe *Archimedes* mampu mengonversi energi angin menjadi energi listrik dengan baik, serta kinerjanya dipengaruhi oleh arah datang angin, sudut penerimaan angin, dan kondisi lingkungan pengujian. Prototype yang dikembangkan berpotensi menjadi alternatif sumber energi terbarukan pendukung kebutuhan listrik di kapal.

Kata Kunci: Kincir Angin, PLTB, *Archimedes*, Cuaca Ekstrem, Energi Terbarukan.

ABSTRACT

SHODIQ DHIYAUHQA KHOSYI, (2026). *Design And Construction Of A PLTB System Using Extreme Weather Resistant Windmills for Optimization Of Renewable Energy On Ships*. Mentored by Edi Kurniawan, SST., MT. and Dr. Elly Kusumawati, S.H., M.H.

This research aims to design a Wind Power Plant (PLTB) system using an Archimedes-type wind turbine that is resistant to extreme weather conditions in order to support the optimization of renewable energy on ships. The research method used is Research and Development (R&D), consisting of the stages of system design, assembly, and testing. The main components used include an Archimedes-type wind turbine, DC generator, Solar Charge Controller (SCC), LiFePO₄ battery, inverter, and battery capacity indicator. The results showed that the PLTB prototype was successfully designed, and all components functioned properly. The DC generator produced a maximum charging voltage of 13.9 V and a charging current of 17.6 mA at a rotational speed of 1,199.1 rpm. During the extreme-condition test, the front-left position achieved the best performance, producing a wind speed of 4.6 m/s, a charging current of 17.7 mA, and a charging voltage of 5.7 V. In contrast, no charging output was generated when the wind came from the rear because the airflow did not effectively strike the turbine blades. Under non-extreme conditions, tests conducted in an open area without building obstructions produced higher and more stable charging current and charging voltage than those conducted in areas surrounded by buildings, as the turbine received the wind more effectively. Based on these findings, it can be concluded that the Archimedes wind turbine-based wind power generation system is capable of converting wind energy into electrical energy effectively. Its performance is influenced by the wind direction, the angle at which the wind strikes the turbine blades, and the surrounding environmental conditions. Therefore, the developed prototype has the potential to serve as an alternative renewable energy source for supporting electrical power needs on ships.

Keywords: *Wind Turbine, Wind Power Plant (PLTB), Archimedes, Extreme Weather, Renewable Energy.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadiran Allah SWT, atas rahmat dan karunianya yang telah di berikan pada taruna peneliti karya tulis ini, dengan judul:

**“RANCANG BANGUN SISTEM PLTB MENGGUNAKAN KINCIR ANGIN
TAHAN CUACA EKSTREM UNTUK OPTIMALISASI ENERGI
TERBARUKAN DI KAPAL”**

Peneliti menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu serta memberikan arahan, bimbingan, petunjuk dalam segala hal yang sangat berarti dan menunjang dalam penyelesaian proposal penelitian ini. Peneliti menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Moejiono, M.T., M.Mar.E selaku Direktur Politeknik Pelayaran Surabaya yang menyediakan segala sarana dan prasarana yang ada.
2. Bapak Dirhamsyah, S.E., M.Pd. selaku ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Kelistrikan sebagai penunjang kelancaran dalam segala kegiatan akademik.
3. Bapak Edi Kurniawan, SST., MT. sebagai dosen pembimbing yang memberikan arahan dan bimbingan demi kelancaran Karya Ilmiah Terapan.
4. Ibu Dr. Elly Kusumawati, S.H., M.H. sebagai dosen pembimbing yang memberikan arahan dan bimbingan demi kelancaran Karya Ilmiah Terapan.
5. Seluruh dosen dan civitas akademika Politeknik Pelayaran Surabaya yang telah membantu peneliti dalam penyusunan karya ilmiah terapan ini.
6. Bapak Hadi Prasetyo dan Ibu Chikmatul Choiriyah selaku kedua orang tua yang selalu memberikan support dalam berbagai hal dan serta iringan doa.
7. Rekan-rekan taruna Politeknik Pelayaran Surabaya yang telah memberikan semangat dan masukan. Serta pihak - pihak yang telah membantu dalam pengerjaan yang tidak bisa saya sebutkan namanya.

Saya sadar bahwa dalam penelitian karya ilmiah ini masih terdapat banyak kekurangan. Kekurangan tersebut tentunya dapat dijadikan peluang untuk peningkatan penelitian selanjutnya. Terimakasih.

Surabaya,

2026

SHODIQ DHIYAULHAQ KHOSYI
NIT. 22 36307 3 025

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PERSETUJUAN KELAYAKAN PROPOSAL	iii
PERSETUJUAN SEMINAR HASIL	iv
PENGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR	v
PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR.....	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Penelitian	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Batasan Masalah.....	3
D. Tujuan Penelitian	4
E. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
A. <i>Review</i> Penelitian Sebelumnya	5
B. Landasan Teori.....	8
1. Definisi Cuaca Ekstrem.....	8

2. Definisi Perancangan	9
3. Definisi <i>Prototype</i>	9
4. Definisi Pembangkit Listrik	10
5. Turbin Angin Archimedes.....	10
6. Generator 12V DC	11
7. SCC (<i>Solar Charge Controller</i>).....	11
8. Baterai LiFePO4.....	13
9. <i>Inverter</i> 12V DC ke 220V AC	14
C. Kerangka Penelitian	16
BAB III METODE PENELITIAN	16
A. Perancangan Sistem	17
B. Perancangan Alat	20
C. Rencana Pengujian	23
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	29
A. Hasil Penelitian	29
B. Analisis Data	46
BAB V PENUTUP	51
A. Simpulan	51
B. Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN.....	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Review</i> Penelitian Sebelumnya.....	5
Tabel 3. 1 Spesifikasi Perancangan Rangka Kincir Angin.....	20
Tabel 3. 2 Sambungan Setiap Komponen	21
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Generator DC	31
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Ekstrem	39
Tabel 4. 3 Pengujian Terhalang Gedung	42
Tabel 4. 4 Pengujian Tidak Terhalang Gedung	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Turbin Angin Archimedes	10
Gambar 2. 2 Generator 12V DC	11
Gambar 2. 3 SCC (<i>Solar Charge Controller</i>)	12
Gambar 2. 4 Baterai LiFePO4 3.2V	13
Gambar 2. 5 Inverter 12V DC ke 220V AC	15
Gambar 2. 7 Kerangka Penelitian	16
Gambar 3. 1 Blok Diagram	18
Gambar 3. 2 Rangkaian Komponen Keseluruhan	21
Gambar 3. 3 <i>Flowchart</i> Sistem PLTB	22
Gambar 3. 4 Perancangan Bangun Alat	28
Gambar 4. 1 Pemutaran Kincir Dengan Bor	30
Gambar 4.2 Pengujian Generator DC: A. Arus Generator Multimeter; B. Arus Generator LCD; C. Tegangan Generator Multimeter; D. Tegangan Generator LCD	30
Gambar 4. 3 Pengujian SCC	32
Gambar 4. 4 Pengujian Baterai LifePO4	33
Gambar 4. 5 Pengujian Inverter	34
Gambar 4. 6 Pengujian Indikator Baterai	35
Gambar 4. 7 Pengujian Trafo Step-Down	36
Gambar 4. 8 Pengujian Kipas Angin dan Anemometer: A. Kipas angin dari depan; B. Kipas angin dari kiri depan; C. Kipas angin dari kanan depan; D. Kipas angin dari kanan belakang; E. Kipas angin dari kiri belakang; F. Kipas angin dari belakang	38
Gambar 4. 9 Data Pengujian Ekstrem Depan	40
Gambar 4. 10 Data Pengujian Ekstrem Kiri Depan	40
Gambar 4. 11 Data Pengujian Ekstrem Kanan Depan	41
Gambar 4. 12 Pengujian di Polteknik Pelayaran Surabaya	42
Gambar 4. 13 Data Pengujian Terhalang Gedung	43
Gambar 4. 14 Pengujian Di Kenjeran Surabaya	44
Gambar 4. 15 Data pengujian tidak terhalang gedung	45

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Validasi Desain	57
Lampiran 2 Indikator Penilaian.....	58

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Penelitian

Kebutuhan energi listrik global terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan populasi, industrialisasi, dan perkembangan teknologi. Permintaan energi dunia mengalami peningkatan signifikan pasca tahun 2021, terutama didorong oleh pemulihan ekonomi global dan digitalisasi di berbagai sektor (Energy Agency, 2023). Di Indonesia, peningkatan kebutuhan energi juga terus terjadi, sejalan dengan pertumbuhan ekonomi dan pembangunan infrastruktur, termasuk di sektor transportasi laut.

Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil masih menjadi tantangan utama dalam pemenuhan kebutuhan energi, khususnya pada sektor maritim. Penggunaan bahan bakar fosil tidak hanya terbatas jumlahnya, tetapi juga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan berupa emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, pemerintah Indonesia melalui Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral terus mendorong pengembangan energi baru terbarukan guna mencapai target *net zero emission* pada tahun 2060.

Salah satu sumber energi terbarukan yang potensial adalah energi angin. Energi angin merupakan sumber energi yang bersih, tidak terbatas, dan ramah lingkungan. Pemanfaatan energi angin melalui Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir. Kapasitas instalasi energi angin global meningkat secara konsisten sejak tahun 2021 dan diproyeksikan terus bertambah hingga tahun 2025 (Global Wind Energy

Council, 2024).

Meskipun demikian, penerapan PLTB di lingkungan laut menghadapi berbagai tantangan, terutama terkait kondisi cuaca ekstrem. Perubahan iklim global menyebabkan peningkatan frekuensi dan intensitas cuaca ekstrem seperti badai, angin kencang, dan gelombang tinggi. Kejadian cuaca ekstrem meningkat secara signifikan sejak tahun 2021 dan berdampak pada berbagai sektor termasuk sistem energi dan transportasi laut (World Meteorological Organization, 2024).

Dalam operasional kapal, keberadaan sistem pembangkit energi andal dan tahan terhadap kondisi ekstrem sangat dibutuhkan untuk menjamin keberlangsungan suplai energi. Namun, sistem PLTB konvensional umumnya belum dirancang untuk menghadapi kondisi cuaca ekstrem secara optimal, sehingga berpotensi mengalami penurunan kinerja atau bahkan kerusakan. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam desain turbin angin yang tidak hanya efisien dalam menghasilkan energi, tetapi juga memiliki ketahanan terhadap kondisi lingkungan laut yang dinamis.

Dari permasalahan di atas peneliti akan merancang kincir angin yang berinovasi untuk menghadapi cuaca ekstrem. Untuk memastikan keandalan dan efisiensi PLTB di berbagai kondisi iklim, inovasi dalam desain dan teknologi turbin angin untuk menghadapi cuaca ekstrem sangat penting. Dengan menggunakan material canggih, serta desain yang adaptif dan inovatif, turbin angin dapat tetap beroperasi dengan optimal meskipun cuaca semakin tidak menentu. Uraian tersebut diatas, membuat peneliti tertarik untuk menuangkannya dalam sebuah proposal karya ilmiah terapan dengan judul

“Rancang Bangun Sistem PLTB Menggunakan Kincir Angin Tahan Cuaca Ekstrem Untuk Optimalisasi Energi Terbarukan Di Kapal”, agar menjadi bahan masukan dan tambahan ilmu bagi para pelaut yang akan bekerja di atas kapal serta pada umumnya.

B. Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dikemukakan, langkah selanjutnya peneliti meneruskan sebuah masalah yang akan diuraikan pada pembahasan berikut:

1. Bagaimana cara merancang kincir angin sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) yang efektif?
2. Bagaimana perbedaan dari hasil kincir angin secara ekstrem dan non ekstrem yang terhalang dan tidak terhalang?

C. Batasan Masalah

Terdapat luasnya permasalahan yang dapat dikaji dan penelitian dapat terselaikan sesuai dengan tujuan peneliti. Maka perlu adanya batasan masalah yang berfokus pada rancang bangun sistem PLTB dengan menggunakan kincir angin tahan cuaca ekstrem untuk mengoptimalisasi energi terbarukan di kapal

1. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu ini memilih dan mendesain kincir angin bertipe archimedes
2. Penelitian ini berfokus terhadap pengaruh intensitas angin dalam menghasilkan listrik.

D. Tujuan Penelitian

Pada penelitian ini terdapat tujuan dari penelitian karya ilmiah yaitu:

1. Mengetahui cara merancang kincir angin sistem Pembangkit Listrik Tenaga Listrik (PLTB) yang efektif
2. Mengetahui perbedaan dari hasil kincir angin secara ekstrem dan non ekstrem yang terhalang dan tidak terhalang.

E. Manfaat Penelitian

Dengan adanya karya ilmiah ini peneliti berupaya memberi manfaat bagi para pembaca, yaitu:

1. Kapal yang beroperasi di laut sering menghadapi cuaca ekstrem. Sistem PLTB yang dirancang untuk tahan terhadap kondisi ini dapat memastikan ketersediaan energi yang berkelanjutan, mengurangi ketergantungan dengan bahan bakar fosil.
2. Sistem yang dirancang untuk tahan terhadap kondisi ekstrem cenderung memerlukan perawatan yang lebih sedikit, mengurangi biaya, dan waktu henti operasi kapal.
3. Kincir angin yang tahan cuaca ekstrem dapat mengurangi risiko kerusakan atau kegagalan sistem energi yang dapat membahayakan keselamatan kapal dan awaknya.
4. Kapal yang menggunakan teknologi energi terbarukan seperti PLTB menunjukkan komitmen terhadap keberlanjutan lingkungan, yang dapat meningkatkan citra perusahaan pelayaran dan memastikan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan internasional.

5. Penggunaan PLTB membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan polutan lainnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. *Review* Penelitian Sebelumnya

Bagian ini akan memberikan tinjauan literatur tentang penelitian-penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya dalam bidang rancang bangun sistem PLTB. Tinjauan ini akan mencakup teknologi dan konsep yang relevan yang telah diusulkan dan diterapkan sebelumnya. Maka dari itu penelitian ini sangat membutuhkan yang namanya *review* penelitian sebelumnya. Berikut ini *review* penelitian dari beberapa Jurnal serta skripsi dari rancang bangun sistem kendali PLTB menggunakan kincir angin tahan cuaca ekstrem untuk optimalisasi energi terbarukan di kapal:

Tabel 2. 1 Review Penelitian Sebelumnya

Sumber: Sudirman Lubis, Habibie, Muhammad Ali Fikri, M. Ilmi Hidayat, Slamet Priyoatmojo

No	Nama	Judul	Hasil	Perbedaan Penelitian
1.	(Lubis et al., 2019)	PLTB Sebagai Alternatif Energi Baru Terbarukan	Aplikasi turbin angin sebagai penggerak awal alternator sebagai pembangkit listrik tenaga angin, pada kondisi output tegangan dan arus yang dihasilkan dipengaruhi oleh kecepatan angin tetapi alternator mobil ini sangat membantu untuk mengurangi beban rumah tangga. Manfaat lainnya adalah pada kondisi adanya eksploitasi energi tetapi energi ini tidak akan habis sehingga berbeda sekali dengan pemanfaatan bahan bakar fosil atau bahan bukan	Jika penelitian sebelumnya menggunakan kincir angin tipe horizontal, penelitian ini menggunakan tipe horizontal tetapi dengan inovasi desain yang disebut tipe archimedes.

No	Nama	Judul	Hasil	Perbedaan Penelitian
			minyak yang sumber dayanya sangat terbatas dan akan habis bila dipakai untuk jangka waktu panjang. Rata-rata tegangan yang dihasilkan dengan menggunakan alternator mobil adalah 1,74volt dengan arus rata-rata 0,424 ampere dan daya yang dikeluarkan adalah 0,74 watt. Diketahui bahwa semakin cepat putaran alternator yang dilakukan maka akan berakibat pada putaran turbin angin semakin cepat sehingga output tegangan yang dihasilkan alternator juga semakin besar.	
2.	(Habibie et al., 2024)	Rancang Bangun dan Analilis Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal Modifikasi Menggunakan Empat Buah <i>Blade</i>	Dalam penelitian ini kesimpulan yang diambil peneliti berhasil melakukan rancang bangun turbin angin dari bahan dasar fiberglass, turbin angin dapat berputar dengan semestinya, dan dapat menghasilkan listrik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa, turbin angin yang berbahan dasar dari fiberglass mampu mencapai efesiensi turbin angin sebesar 50,7%. Daya generator yang dihasilkan semakin besar seiring dengan bertambahnya kecepatan angin. Turbin angin dengan menggunakan 4 blade pada kecepatan angin 21,6 m/s, menghasikan rotasi permenit 250,6 rpm, menghasilkan 108,20watt dan torsi 107,14 Nm. Dalam penelitian ini,	Jika peneliti sebelumnya megunakan turbin angin tipe vertikal, penelitian ini menggunakan tipe horizontal dengan inovasi desain yang disebut tipe archimedes.

No	Nama	Judul	Hasil	Perbedaan Penelitian
			peneliti juga mengamati dan menemukan arah angin yang datang dari dua/tiga arah yang berbeda dalam waktu yang sama, ini merupakan factor yang dapat mempengaruhi kinerja turbin angin.	
3.	(Ali Fikri & Robbi, 2023)	Pengaruh Jumlah sudu Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius Tipe U Dengan Menggunakan Variasi Sudu	Daya output yang dihasilkan pada 4 sudu mendapatkan hasil tertinggi dengan nilai 3,67Watt pada kecepatan angin 6,8 m/s. Besar nilai daya output dipengaruhi oleh kecepatan angin dan jumlah sudu, karena semakin tinggi kecepatan angin maka putaran turbin juga semakin tinggi.	Jika penelitian sebelumnya menggunakan turbin angin tipe savonius penelitian ini menggunakan tipe archimedes.
4.	(Hidayat & Chandra Hermawan, 2024)	Rancang Bangun Prototipe PLTB Sumbu Vertikal Tipe Hybrid Sanyonius-Darriueus Untuk Pengisian Akumulator	Hasil uji menunjukkan bahwa prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dengan sumbu vertikal tipe hybrid Savonius-Darrieus memiliki kinerja yang berbeda dalam menghasilkan energi listrik pada kecepatan angin yang berbeda. Mengisi akumulator dengan kecepatan angin rata-rata 5 m/s, tegangan rata-rata 12,08volt dan arus rata-rata 0,24 ampere dihasilkan, dengan tegangan terendah 2,1volt dan tertinggi 8,58volt. Perhitungan menunjukkan bahwa waktu 20,83 jam diperlukan untuk mengisi ulang akumulator.	Jika penelitian sebelumnya menggunakan tipe hybrid savonius-darius, penelitian ini menggunakan tipe archimedes.
5.	(Jamil et al., 2020)	Proses Pembuatan Bilah Tipe Teperles dengan Airofoil Naca 4418 Pada	Hasil perancangan bilah Taperless NACA 4418 memiliki panjang jari-jari 1,2 m, lebar chord 1,20m, Twist Optimum 6,49°-	Jika penelitian sebelumnya menggunakan turbin angin tipe axis, penelitian ini

No	Nama	Judul	Hasil	Perbedaan Penelitian
		Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) Di PT. Lentera Bumi Nusantara	11.15°. Hasil dari perancangan bilah NACA dengan menggunakan aplikasi tertentu maka bilah tersebut bisa di maufaktur dengan berbagai macam cara dan berbagai macam bahan seperti resin, kayu dan fiber.	menggunakan tipe archimedes.

Dari berbagai referensi jurnal yang didapat dijadikan pertimbangan, maka penelitian ini dilakukan sebab dampak dari yang dihasilkan cukup besar dengan salah satunya yaitu akan berguna untuk mempermudah proses pembuatan kincir angin dengan desain berbeda. Alat ini akan berbentuk simulasi sehingga mempermudah dalam memahami rangkaian sistem yang telah direncanakan.

B. Landasan Teori

Landasan teori didasarkan pada penelitian yang digunakan sebagai dasar. Sumber-sumber ini memberikan dasar untuk memahami latar belakang timbulnya masalah. Seperangkat konsep dan definisi yang telah disusun dengan baik. Landasan teori yang dibutuhkan untuk mendukung penelitian ini adalah definisi cuaca ekstrem, definisi perancangan, definisi *prototype*, definisi pembangkit listrik, kincir angin archimedes, generator 12v dc, *solar charger controller*, baterai lifepo4, dan *inverter*.

1. Definisi Cuaca Ekstrem

Cuaca ektrem adalah cuaca yang diatas cuaca normal pada umumnya, pada *beaufort scale* yang dapat dikategorikan dalam cuaca ekstrem yaitu diatas skala 7 pada kecepatan angin 33 knot (Ajeng Mallira, 2023). Laut

yang dilayari dengan kondisi cuaca ekstrem harus dihindari dengan mengidentifikasi tanda-tanda akan terjadinya badai, tanda-tanda yang dapat diketahui sebelum terjadinya badai yaitu tekanan udara pada barometer rendah, adanya awan cirrus sebagai pertanda terjadinya badai, dan gelombang laut yang bergerak lebih cepat dikarenakan angin yang bertiup kencang dari pusat badai, serta cuaca panas yang tidak menentu di laut.

2. Definisi Perancangan

Perancangan adalah tahap pertama dalam pembangunan rekayasa produk atau sistem, di mana berbagai prinsip dan teknik diterapkan untuk mendefinisikan secara komprehensif sebuah peralatan, proses, atau sistem yang memungkinkan pelaksanaannya secara fisik (Ananditya et al., 2020). Tujuannya adalah untuk memungkinkan produk atau sistem yang diinginkan untuk dilaksanakan secara fisik. Dengan kata lain, perancangan berfungsi sebagai dasar yang kuat untuk seluruh proses pembangunan. Di sini, rancangan yang matang dan terstruktur sangat penting untuk membuat produk atau sistem yang efektif, efisien, dan memenuhi tujuan.

3. Definisi *Prototype*

Prototype adalah metode pengembangan perangkat lunak yang menggunakan model fisik kerja sistem sebagai versi awal sistem (Yassa Descania, 2023). Metode ini akan menghasilkan *prototype* sistem yang berfungsi sebagai perantara antara pengembang dan pengguna selama proses pengembangan sistem informasi. Untuk proses pembuatan *prototype* ini berhasil, pengembang dan pengguna harus memahami satu sama lain sejak awal. Sangat penting untuk mencapai kesepakatan ini untuk

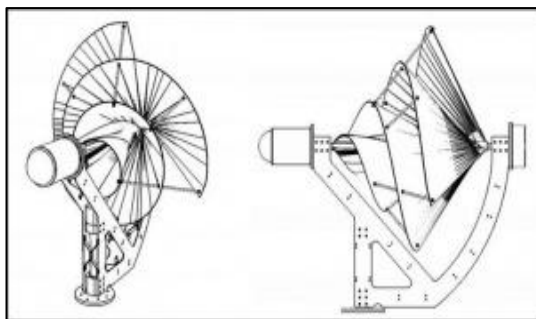
memastikan bahwa *prototype* difokuskan pada menentukan kebutuhan awal sehingga menghasilkan produk yang memenuhi tujuan.

4. Definisi Pembangkit Listrik

Pembangkit energi listrik tenaga angin dengan kecepatan rendah secara garis besar mempunyai fungsi dan cara kerja yang sama dengan pembangkit energi listrik tenaga angin lainnya (Muhammad Adam, 2019). Pembangkit listriknya antara lain dengan menggunakan kincir angin untuk menggerakkan generator, setelah itu generator yang akan menghasilkan energi listrik dari mengubah energi mekanik dari kincir angin menjadi energi listrik. Definisi pembangkit listrik lebih lengkapnya adalah kincir angin, rotor, *gear box*, *nacelle* dan generator dc.

5. Turbin Angin Archimedes

Turbin angin berfungsi mengubah hembusan angin menjadi energi kinetik untuk memutar generator listrik. Turbin terdiri dari baling-baling (*blade*) yang dirancang sedemikian rupa agar mampu menangkap energi angin secara optimal dengan desain sudut dan jumlah *blade* yang sesuai. Energi putar yang dihasilkan oleh turbin tersebut selanjutnya dipakai untuk menggerakkan generator sehingga menghasilkan listrik tegangan DC.



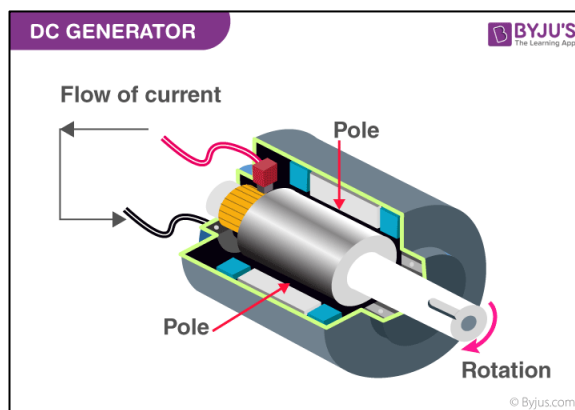
Gambar 2. 1 Turbin Angin Archimedes

Sumber: [https://air.eng.ui.ac.id/index.php?title=Progress_Tugas_Merancang - Elvin](https://air.eng.ui.ac.id/index.php?title=Progress_Tugas_Merancang_-_Elvin) (Diakses pada tanggal 04 April 2024)

Pada gambar 2.1 merupakan sistem turbin *archimedes* dengan efisiensinya sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin, desain *blade*, dan *ketinggian turbin dari permukaan tanah*. Turbin sumbu vertikal maupun horizontal bisa dipilih sesuai kebutuhan, namun optimalisasi kecepatan angin akan sangat meningkatkan daya yang dihasilkan (Huang et al., 2019).

6. Generator 12V DC

Generator DC 12 Volt pada sistem ini berfungsi mengoversi energi mekanik putaran turbin menjadi energi listrik berupa arus searah 12V DC. Generator ini biasanya menggunakan magnet permanen dan kumparan tembaga untuk menghasilkan *output* listrik yang stabil sesuai putaran turbin.



Gambar 2. 2 Generator 12V DC

Sumber: <https://byjus.com/physics/dc-generator/> (Diakses pada tanggal 04 April 2024)

Pada gambar 2.2 generator 12V DC memiliki *output* dapat langsung difungsikan untuk mengisi aki atau diolah lebih lanjut menggunakan kontroler. Karakteristik tegangan dan arus harus disesuaikan dengan turbin agar efisien konversi maksimal (Lista Utami et al., 2023)

7. SCC (*Solar Charge Controller*)

SCC (*Solar Charge Controller*) adalah perangkat elektronik yang berfungsi sebagai regulator antara sumber energi (misalnya panel surya,

turbin, dan sumber DC lainnya) dengan baterai, bertugas mengatur arus dan tegangan pada saat pengisian maupun pembebanan baterai. Tujuan utamanya adalah melindungi baterai dari kondisi *over charging* (arus dan tegangan pengisian terlalu tinggi) dan *over discharging*, serta mencegah arus balik dari baterai ke sumber saat tidak aktif sehingga memperpanjang umur baterai dan menjaga keamanan sistem. SCC ada dalam berbagai tipe: yang sederhana menggunakan metode *pulse width modulation* (PWM) dan yang lebih canggih menggunakan metode *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) agar dapat memaksimalkan pemanfaatan daya dari sumber energi yang *variative* (Putra et al., 2023)



Gambar 2. 3 SCC (*Solar Charge Controller*)

Sumber: <https://shopee.co.id/SCC-PWM-untuk-baterai-lithium-Controller-Panel-Surya-12V-24V-30A-Solar-charger-controler-i.1090736884.24450352952> (Diakses tanggal 04 April 2024)

Pada gambar 2.3 Jika sistem anda memakai turbin angin atau sumber energi terbarukan lain (atau panel surya) yang memberi *output* DC, arus yang dihasilkan dialirkan ke SCC terlebih dahulu. SCC memantau tegangan dan arus masuk tersebut, jika tegangan/arus masuk melebihi batas aman baterai, SCC akan mengatur (menurunkan) arus atau menghentikan pengisian untuk menghindari *over charging*. Bila baterai adalah LiFePO₄, SCC harus dikonfigurasi dengan profil pengisian sesuai karakteristik LiFePO₄ agar tegangan *charge* dan *cut-off* tepat. Setelah kondisi aman

diverifikasi, SCC menyalurkan arus terkontrol masuk ke baterai; ketika baterai sudah penuh, SCC menghentikan pengisian sehingga baterai tidak rusak. Sistem ini memungkinkan penyimpanan energi terbarukan (dari turbin/solar) ke baterai LiFePO₄ secara efisien dan aman.

8. Baterai LiFePO₄

Baterai LiFePO₄, dengan tegangan nominal sel sekitar 3,2 V, merupakan jenis baterai *lithium-ion* yang menggunakan fosfat besi-litium sebagai material katoda. Struktur kimia dari baterai ini memberikan stabilitas termal dan kimia yang lebih tinggi dibandingkan dengan baterai *lithium* tipe oksida lainnya, sehingga risiko terjadinya *thermal runaway* seperti *overheating* atau kebakaran menjadi sangat rendah. Selain itu, baterai LiFePO₄ memiliki keunggulan dalam hal umur siklus yang panjang, dimana banyak sel dapat bertahan hingga ribuan siklus yang panjang, dimana banyak sel dapat bertahan hingga ribuan siklus pengisian dan pengosongan sebelum kapasitasnya mengalami penurunan yang signifikan (Jiang & Song, 2023)



Gambar 2. 4 Baterai LiFePO₄ 3.2V

Sumber: <https://www.bonnenbatteries.com/id/product/4c-high-discharge-rate-automotive-prismatic-lifepo4-battery-cell/> (Diakses pada tanggal 04 April 2024)

Pada gambar 2.4 Jika baterai LiFePO₄ direncanakan untuk menggerakkan komponen listrik AC yang membutuhkan konversi daya dari DC ke AC, maka diperlukan perangkat *inverter* atau *konverter* DC-AC untuk mengubah daya DC dari baterai menjadi daya AC. Pemilihan *inverter* harus disesuaikan dengan kebutuhan arus, tegangan, dan daya motor agar sistem dapat beroperasi secara stabil dan aman. Keunggulan baterai LiFePO₄ dalam menyediakan arus tinggi serta risiko termal yang rendah menjadikannya solusi yang andal. Namun demikian, perlu diperhatikan bahwa energi baterai LiFePO₄ relatif lebih rendah dibandingkan dengan lithium tipe oksida. Oleh karena itu, untuk penggunaan pada motor listrik dengan daya besar, diperlukan paket baterai dengan kapasitas yang lebih besar atau jumlah sel yang lebih banyak guna memastikan pasokan energi yang mencukupi serta daya tahan yang optimal.

9. *Inverter* 12V DC ke 220V AC

Inverter ini mengubah tegangan listrik DC 12V dari baterai menjadi tegangan AC 220V dengan gelombang sinus murni. Produk ini aman untuk peralatan listrik yang menggunakan motor seperti AC, pompa air, kulkas, dan bor listrik karena gelombang keluarannya menyerupai kualitas listrik PLN. Spesifikasi produk: daya *output* hingga 12000W, *output frekuensi* 50 Hz, efisiensi 60%-70%, dilengkapi proteksi tegangan rendah dan tinggi, serta ukuran 66.2 cm x 19.9 cm x 14.5 cm.

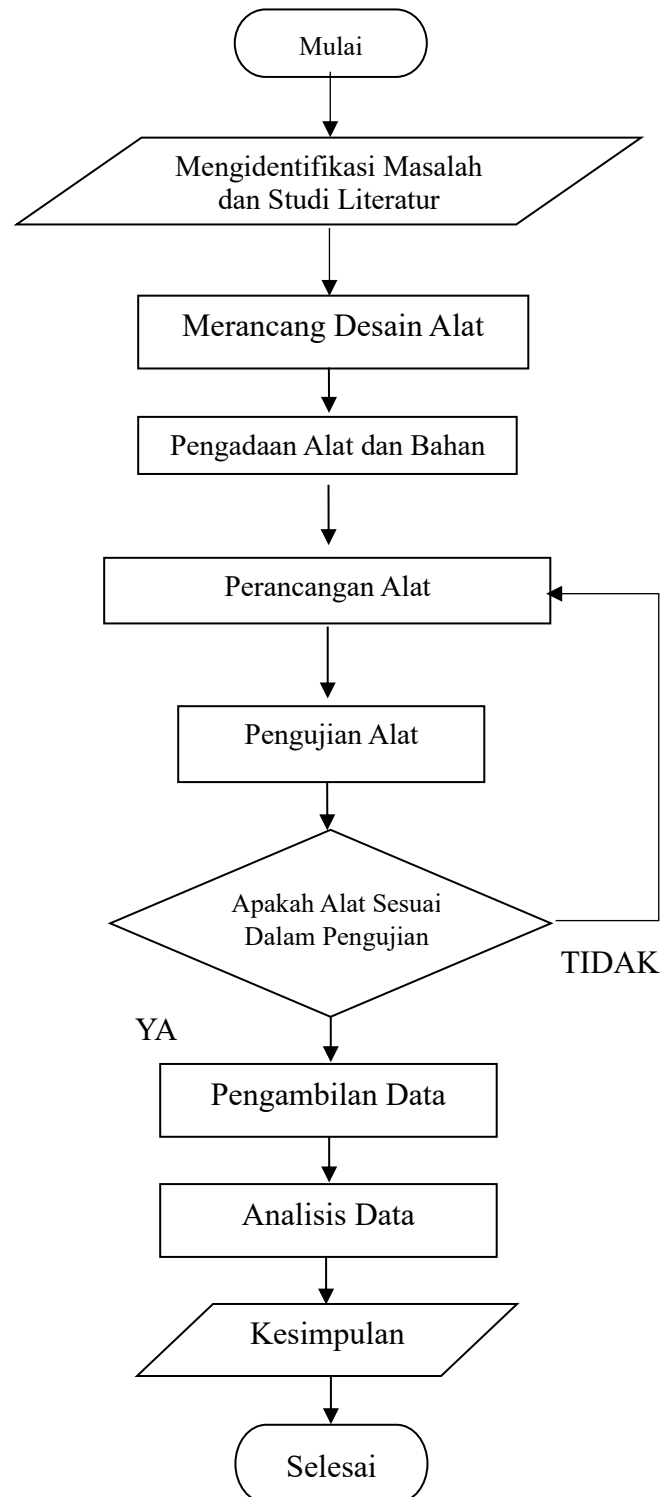


Gambar 2. 5 Inverter 12V DC ke 220V AC

Sumber: <https://www.sanspower.com/inverter-pengertian-cara-kerja-dan-macamnya.html> (Diakses pada tanggal 04 April 2024)

Pada gambar 2.5 merupakan *inverter* 12V DC ke 220V AC, ada juga *inverter pure sine wave* dengan kapasitas lebih kecil dan model portabel yang umum dipakai untuk kebutuhan rumah tangga dan proyek turbin angin: *inverter* ini memproduksi gelombang sinus murni dengan *output* 1000W, cocok untuk peralatan rumah tangga standar. Memiliki layar LCD dan dapat mengubah tegangan DC 12V menjadi AC 220V dengan stabil (Idris & Roza, 2023).

C. Kerangka Penelitian



Gambar 2. 6 Kerangka Penelitian
Sumber: Dokumen Pribadi

BAB III

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang akan digunakan adalah jenis penelitian R&D (*Research & development*). Penelitian ini merupakan jenis penelitian pengembangan atau *Research Development* (R&D), Penelitian pengembangan metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu dan menguji keefektifan produk tersebut (Siregar, 2023). Tahapan penelitian menggunakan metode R&D pada penelitian ini meliputi beberapa langkah sebagai berikut:

1. Identifikasi Potensi dan Masalah

Tahap awal dilakukan dengan mengidentifikasi permasalahan terkait kebutuhan energi terbarukan di kapal serta tantangan penggunaan PLTB pada kondisi cuaca ekstrem. Permasalahan tersebut kemudian dijadikan dasar dalam perancangan sistem PLTB menggunakan kincir angin tipe Archimedes.

2. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data melalui studi literatur, observasi, serta pengkajian jurnal dan referensi yang berkaitan dengan sistem PLTB, turbin angin Archimedes, generator DC, baterai LiFePO₄, dan komponen pendukung lainnya.

3. Perancangan Sistem

Tahap perancangan dilakukan dengan membuat desain prototype sistem PLTB meliputi blok diagram, wiring diagram, flowchart sistem, serta penentuan spesifikasi komponen yang digunakan dalam penelitian.

4. Pembuatan *Prototype*

Setelah desain selesai dibuat, tahap berikutnya adalah proses perakitan alat prototype sesuai rancangan yang telah ditentukan. Komponen seperti turbin angin Archimedes, generator DC, SCC, inverter, dan baterai dirangkai menjadi satu sistem yang terintegrasi.

5. Pengujian Sistem

Prototype yang telah selesai dirakit kemudian dilakukan pengujian secara statis dan dinamis. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem pada kondisi cuaca ekstrem dan non ekstrem, baik pada lokasi terhalang maupun tidak terhalang bangunan.

6. Analisis Data

Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui performa sistem PLTB dalam menghasilkan energi listrik serta mengetahui pengaruh kondisi lingkungan terhadap kinerja turbin angin.

7. Penyempurnaan Produk

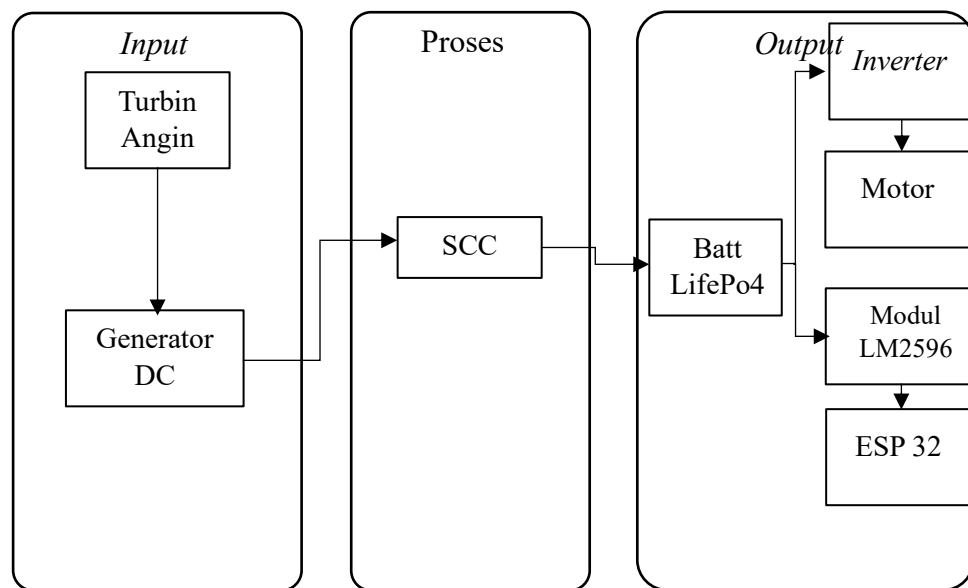
Tahap terakhir dilakukan evaluasi dan penyempurnaan terhadap prototype berdasarkan hasil pengujian agar sistem yang dirancang dapat bekerja lebih optimal dan stabil.

A. Perancangan Sistem

Merencanakan dan mengelola elemen-elemen suatu sistem agar berjalan secara efektif dan efisien sesuai dengan sasaran yang diharapkan adalah tahapan yang dikenal sebagai perancangan sistem. Analisis kebutuhan, pembuatan model sistem, pemilihan komponen, integrasi, pengujian, dan penerapan adalah

semua bagian dari proses perancangan sistem. Sebuah perancangan sistem yang optimal diharapkan dapat berfungsi dengan baik dan membantu mencapai tujuan. Peneliti membuat sistem perancangan dengan membuat blok diagram dan sistem kerja.

1. Blok Diagram



Gambar 3. 1 Blok Diagram
Sumber: Dokumen Pribadi

Keterangan:

- Turbin Angin Archimedes berfungsi untuk menggerakkan generator dc.
- Generator 12V DC adalah alat yang merubah energi gerak dari turbin angin menjadi energi listrik dc.
- SCC berfungsi mengatur arus listrik dari generator 12V DC yang masuk ke baterai, mencegah pengisian berlebihan, dan menjaga agar tegangan pengisian sesuai dengan spesifikasi baterai LiFePO4 agar umur baterai lebih panjang.
- Baterai LiFePO4 berfungsi menampung energi listrik 12V DC yang

dihasilkan generator 12V DC.

- e. Modul LM 2596 berfungsi sebagai penurun tegangan dari 12V ke 5V DC dari baterai ke ESP 32
- f. Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali sistem *monitoring*.
- g. *Inverter* berfungsi merubah arus listrik dc menjadi arus listrik ac supaya dapat digunakan untuk beban.
- h. Motor berfungsi untuk menjadi sarana pengaplikasian energi yang telah dihasilkan oleh turbin angin.

2. Cara Kerja Sistem

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) tipe archimedes adalah inovasi dalam teknologi turbin angin yang memiliki desain unik untuk meningkatkan efisiensi penangkapan energi angin yang tidak menentu di laut agar dikonversi menjadi energi listrik. Cara kerja sistem tersebut adalah turbin angin akan menangkap angin dan menggerakkan generator DC, generator DC akan mengubah energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin angin menjadi energi listrik, energi listrik yang dihasilkan generator adalah listrik DC, setelah itu arus yang dihasilkan generator DC akan masuk ke SCC supaya mengatur arus listrik yang disimpan ke baterai, setelah itu arus dari baterai akan dialirkan ke *inverter* untuk mengubah energi listrik DC menjadi energi listrik AC, dan setelahnya akan dialirkan ke motor. Fungsi mikrokontroler esp32 sebagai perangkat yang mengatur sistem *monitoring* setiap sensor pada alat, ESP 32 bersumber dari baterai yang diturunkan tegangannya menjadi 5V DC.

B. Perancangan Alat

Pada perancangan alat disini akan memudahkan perangkaian alat yang akan dibuat peneliti dengan menampilkan sub bagian masing-masing komponen juga dengan tabel koneksi pin masing-masing kaki dari komponen.

1. Perancangan Rangka Kincir Angin

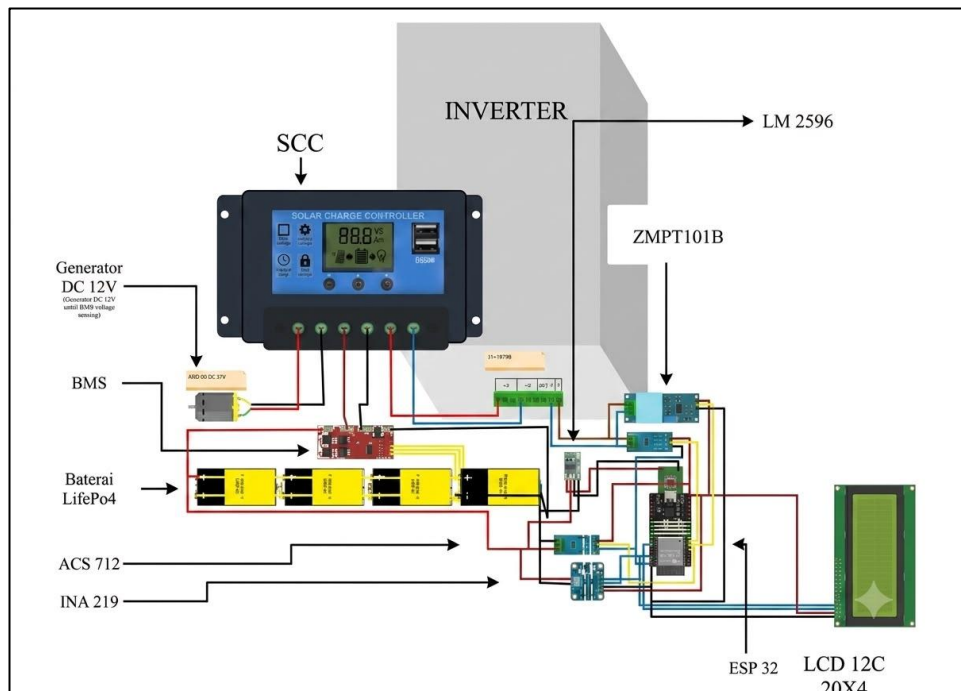
Perancangan rangka kincir angin dilakukan sebagai dasar pembuatan prototype Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) tipe Archimedes.

Tabel 3. 1 Spesifikasi Perancangan Rangka Kincir Angin
Sumber : Dokumen Pribadi

No.	Bagian	Spesifikasi
1.	Material Rangka	Besi Hollow 30 X 30 X 1,2 mm
2.	Panjang Meja	80 cm
3.	Lebar Meja	50 cm
4.	Tinggi Meja	75 cm
5.	Tinggi Dudukan Turbin	45 cm Dari Permukaan Meja
6.	Material Meja	Multiplek 18 mm
7.	Material Turbin	Plat Besi Galvanil Tebal 1,2 mm
8.	Akrilik	Panjang, Lebar, Dan Tinggi Menyesuaikan Meja
9.	Finishing	Cat Anti Karat Dan Cat Hitam Doff

Tabel 3.1 Spesifikasi Perancangan Rangka Kincir Angin disajikan pada tabel berikut dan memuat spesifikasi material serta dimensi rangka yang digunakan pada penelitian ini.

2. Perancangan *Hardware*



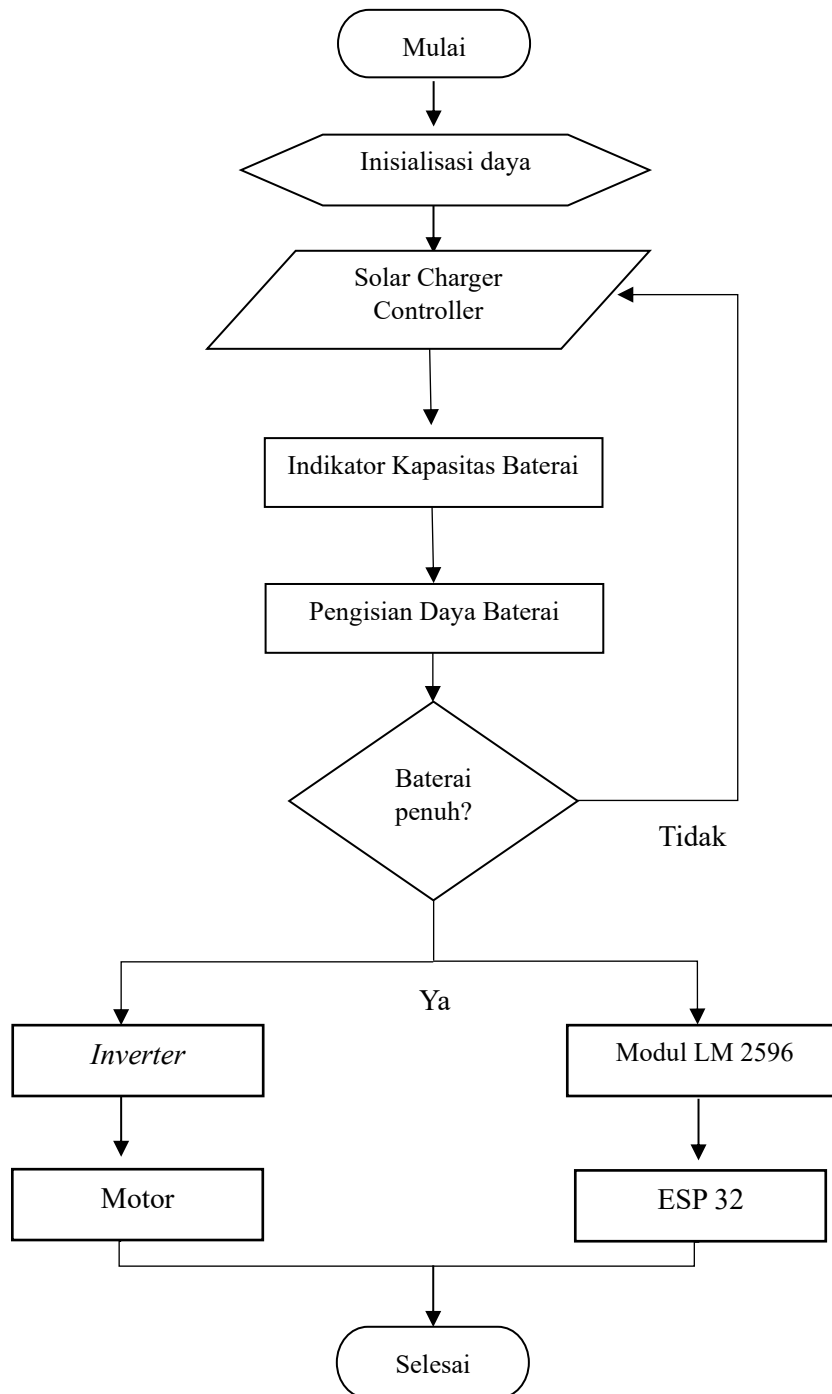
Gambar 3. 2 Rangkaian Komponen Keseluruhan
Sumber: Dokumen Pribadi

Pada gambar 3.2 merupakan rangkaian keseluruhan menampilkan rangkaian keseluruhan komponen yang tersambung antara satu komponen ke komponen lainnya. Berikut tabel kaki komponen yang tersambung ke komponen lainnya.

Tabel 3. 2 Sambungan Setiap Komponen
Sumber: Dokumen Pribadi

BATERAI	INDIKATOR KAPASITAS BATERAI
PIN +	PIN +
PIN -	PIN -
BATERAI	INVERTER
PIN +	PIN +
PIN -	PIN -
INVERTER	MOTOR
L & N	L & N

3. Perancangan *Software*



Gambar 3. 3 *Flowchart* Sistem PLTB

Sumber: Dokumen Pribadi

Pada gambar 3.3 *flowchart* diatas merupakan sistem kerja dari PLTB indikator kapasitas daya mendeteksi kapasitas baterai apakah sudah penuh atau belum, jika belum maka akan terjadi pengisian kembali, selanjutnya

akan dialirkan ke *inverter* sebagai pengubah arus dari DC ke AC untuk digunakan pada motor dan perubahan voltase baterai dari 12V DC menjadi 5V DC untuk memberikan daya kepada ESP 32.

C. Rencana Pengujian

Pengujian alat merupakan merupakan tahapan yang penting dalam proses pembuatan suatu alat karena melalui pengujian ini kita dapat mengevaluasi kualitas dari alat yang telah dibuat. Selain itu hasil yang diperoleh dari pengujian juga memberikan informasi mengenai kelebihan dan kekurangan dari alat yang telah dibuat.

1. Pengujian statis

Pengujian statis dilakukan untuk memastikan seluruh komponen pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dapat bekerja sesuai dengan perancangan sebelum dilakukan pengujian secara dinamis. Pengujian ini dilakukan tanpa memberikan beban angin secara langsung pada kincir angin, sehingga fokus pengujian berada pada fungsi dasar setiap komponen, kestabilan rangkaian, dan konektivitas sistem. Adapun pengujian statis yang dilakukan meliputi beberapa tahap berikut:

a. Pengujian Generator DC

Pengujian generator DC dilakukan untuk mengetahui apakah generator mampu menghasilkan tegangan keluaran sesuai spesifikasi ketika poros generator diputar secara manual. Pada tahap ini dilakukan pengukuran tegangan output menggunakan multimeter untuk

memastikan generator dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan baik.

b. Pengujian *Solar Charge Controller* (SCC)

Pengujian SCC dilakukan untuk memastikan alat dapat mengatur arus dan tegangan pengisian baterai secara stabil. Pengujian ini bertujuan mengetahui apakah SCC dapat bekerja sebagai pengontrol pengisian baterai serta mencegah terjadinya overcharging pada baterai LiFePO₄.

c. Pengujian Baterai LiFePO₄

Pengujian baterai dilakukan untuk mengetahui kondisi tegangan awal baterai dan kemampuan baterai dalam menyimpan daya listrik hasil pengisian dari generator. Pada tahap ini dilakukan pengukuran tegangan baterai menggunakan multimeter untuk memastikan baterai berada dalam kondisi baik dan siap digunakan.

d. Pengujian *Inverter*

Pengujian inverter dilakukan untuk memastikan inverter mampu mengubah tegangan DC dari baterai menjadi tegangan AC 220V. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan *inverter* pada sumber baterai kemudian mengukur tegangan output menggunakan alat ukur guna memastikan *inverter* bekerja sesuai spesifikasi.

e. Pengujian Indikator Kapasitas Baterai

Pengujian indikator kapasitas baterai dilakukan untuk mengetahui apakah indikator mampu menampilkan kapasitas daya baterai secara akurat. Pengujian ini bertujuan memastikan perubahan kapasitas baterai

dapat dimonitor selama sistem beroperasi.

f. Pengujian *Trafo Step-Down* 12VDC ke 5VDC

Pengujian *trafo step-down* dilakukan untuk mengetahui kemampuan modul dalam menurunkan tegangan dari 12VDC menjadi 5VDC sesuai kebutuhan sistem kontrol dan *monitoring* pada *prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Pengujian ini bertujuan memastikan tegangan keluaran yang dihasilkan stabil dan aman digunakan untuk menyuplai perangkat elektronik seperti mikrokontroler dan indikator sistem.

Pada tahap pengujian, *step-down converter* dihubungkan dengan sumber tegangan 12V DC yang berasal dari baterai *LiFePO4*. Selanjutnya dilakukan pengukuran pada terminal output menggunakan *multimeter digital* untuk mengetahui besar tegangan keluaran yang dihasilkan modul. Pengujian dilakukan beberapa kali untuk memastikan tegangan *output* tetap berada pada nilai 5V DC dan tidak mengalami perubahan yang signifikan selama sistem beroperasi.

Berdasarkan hasil pengujian, *trafo step-down* mampu menurunkan tegangan dari 12VDC menjadi 5VDC dengan stabil sehingga dapat digunakan sebagai sumber tegangan untuk sistem *monitoring* dan komponen kontrol pada *prototype* penelitian ini.

2. Pengujian Dinamis

Pengujian dinamis dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) saat *prototype* beroperasi secara langsung dengan memanfaatkan hembusan angin sebagai sumber energi

utama. Pada pengujian ini dilakukan pengamatan terhadap besar arus listrik dalam satuan *mili ampere* (mA) yang dihasilkan generator DC dan masuk menuju baterai. Data hasil pengujian digunakan untuk mengetahui perbedaan performa sistem pada kondisi angin ekstrem dan non ekstrem. Pengujian dinamis dilakukan dengan dua metode pengujian, yaitu pengujian ekstrem dan pengujian non ekstrem sebagai berikut:

a. Pengujian Ekstrem

Pengujian ekstrem dilakukan menggunakan kipas angin sebagai media pengujian untuk mensimulasikan kondisi cuaca ekstrem dengan intensitas angin tinggi. Pada penelitian ini, kondisi angin ekstrem didefinisikan sebagai kecepatan angin lebih dari 10,8 m/s yang mengacu pada skala *beaufort*, dimana kecepatan tersebut termasuk kategori *strong breeze* hingga *near gale* yang dapat menghasilkan gaya dorong besar pada turbin angin. Hembusan angin dari kipas diarahkan secara langsung menuju kincir angin archimedes sehingga menghasilkan putaran yang lebih cepat dibanding kondisi normal. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sistem PLTB dalam menghasilkan energi listrik pada kondisi angin tinggi serta mengetahui kestabilan kinerja generator DC saat menerima putaran maksimum. Parameter yang diamati pada pengujian ini adalah besar arus pengisian dalam satuan mili ampere (mA) dari generator DC menuju baterai.

b. Pengujian Non Ekstrem

Pengujian non ekstrem dilakukan menggunakan hembusan angin alami lingkungan sekitar tanpa bantuan alat tambahan. Pengujian ini

dibagi menjadi dua tahap, yaitu lokasi yang terhalang gedung dan lokasi yang tidak terhalang gedung.

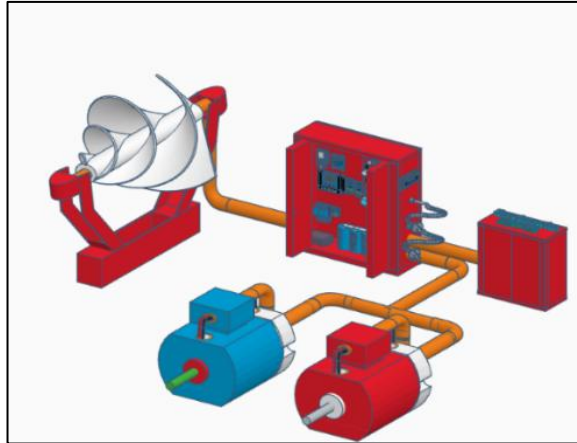
1) Pengujian pada lokasi terhalang gedung

Pengujian dilakukan di lingkungan Kampus Politeknik Pelayaran Surabaya yang memiliki banyak bangunan di sekitar area pengujian. Kondisi ini menyebabkan aliran angin menuju kincir angin menjadi terhambat sehingga intensitas angin yang diterima sistem lebih kecil. Pada tahap ini dilakukan pengamatan terhadap besar arus listrik yang dihasilkan generator DC menuju baterai.

2) Pengujian pada lokasi tidak terhalang gedung

Pengujian dilakukan di Kenjeran yang memiliki area terbuka dan tidak banyak terhalang bangunan, sehingga aliran angin dapat diterima kincir angin secara lebih maksimal. Pada kondisi ini dilakukan pengukuran besar arus listrik dalam satuan mili ampere (mA) yang masuk dari generator DC menuju baterai untuk dibandingkan dengan hasil pengujian di lokasi terhalang gedung.

Dari kedua metode pengujian tersebut akan diperoleh perbandingan hasil antara kondisi ekstrem dan non ekstrem. Perbedaan nilai arus pengisian yang dihasilkan menunjukkan pengaruh intensitas dan hambatan angin terhadap performa sistem PLTB dalam menghasilkan energi listrik.



Gambar 3. 4 Perancangan Bangun Alat
Sumber: Dokumen Pribadi