

**PENGEMBANGAN PERANGKAT BUOY U-TEWS PADA LAUT
DANGKAL UNTUK SISTEM PERINGATAN DINI TSUNAMI (*PILOT
PROJECT* DI KAWASAN LAUT KRAKATAU)**

(Skripsi)

Oleh

**ILHAM AR ROSYID
NPM. 2115031042**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

PENGEMBANGAN PERANGKAT BUOY U-TEWS PADA LAUT DANGKAL UNTUK SISTEM PERINGATAN DINI TSUNAMI (*PILOT PROJECT* DI KAWASAN LAUT KRAKATAU)

Oleh

ILHAM AR ROSYID

Perangkat pemantauan muka air berbasis PUMMA/IDSL yang menggunakan sensor ultrasonik memang murah dan mudah dipasang, tetapi kinerjanya sangat dipengaruhi kondisi lingkungan. Sinyal ultrasonik sangat rentan mengalami perubahan akibat suhu/kelembapan udara, percikan ombak, buih, hujan deras, kabut/embun garam, serta benda terapung yang kerap menimbulkan noise, *dropout*, dan bias pengukuran. Selain itu, pemasangan di struktur pantai membuatnya rentan rusak saat kejadian ekstrem dan membatasi jangkauan deteksi di sekitar garis pantai sehingga *lead time* peringatan berkurang. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, diperlukan platform lepas pantai yang tetap andal saat permukaan laut ekstrem dan tidak bergantung pada garis pandang ke permukaan, yakni buoy pengukuran berbasis sensor tekanan air. Penelitian ini mengembangkan perangkat buoy U-TEWS (*Unila-Tsunami Early Warning System*) yang dirancang untuk beroperasi di perairan laut dangkal dengan rentang 25 sampai 50 meter, sebagai sistem peringatan dini tsunami. Buoy dilengkapi sensor *submersible gauge* untuk mengukur ketinggian kolom air secara langsung, serta sensor kecepatan dan arah angin, serta tekanan barometrik untuk memvalidasi potensi anomali data. Selain itu, perangkat ini juga dilengkapi *gyroscope* dan *global positioning system* (GPS) untuk kebutuhan navigasi dan pemantauan posisi buoy. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor *submersible gauge* pada buoy U-TEWS memiliki tingkat akurasi yang baik dengan nilai *root mean square error* (RMSE) sebesar 0,0273. Perangkat dapat beroperasi secara stabil dan mengirimkan data pemantauan dengan kerapatan 1 Hz secara kontinu selama pengujian. Uji ketahanan baterai dengan kapasitas 12 V 80 Ah menunjukkan bahwa perangkat mampu beroperasi hingga 96 jam tanpa pengisian ulang. Selain itu, panel surya memberikan daya pengisian hingga 148,13 W selama sekitar 10 jam penyinaran harian.

Kata Kunci: Gunung Anak Krakatau, Sistem Peringatan Dini Tsunami, Buoy, Tekanan Air, Raspberry Pi.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF U-TEWS BUOY DEVICES IN SHALLOW WATERS FOR TSUNAMI EARLY WARNING SYSTEMS (PILOT PROJECT IN THE KRAKATAU SEA AREA)

By

ILHAM AR ROSYID

Ultrasonic sea-level monitors such as PUMMA/IDSL are low cost and easy to deploy, but their performance is highly susceptible to environmental conditions. Variations in the speed of ultrasonic signals occurred due to the influence of air temperature and humidity, wave splash and foam, heavy rain, sea-salt mist, and floating debris often introduce noise, dropouts, and measurement bias. Shoreline installation also makes them vulnerable during extreme events and confines detection to the immediate coastal zone, reducing warning lead time. To overcome these limitations, an offshore platform that remains reliable under energetic sea surfaces and does not depend on line-of-sight to the water surface is required, namely, a buoy instrumented with a pressure sensor. This study develops the U-TEWS (Unila-Tsunami Early Warning System) buoy device, designed to operate in shallow coastal waters with a range of 25 to 50 meters depth, as a tsunami early warning system. This buoy is equipped with a submersible gauge sensor to directly measure water column height, as well as wind speed, wind direction, and barometric pressure sensors to validate potential data anomalies. The buoy is also equipped with a gyroscope and global positioning system (GPS) for navigation and buoy position monitoring. Testing shows that the submersible gauge sensor on the U-TEWS buoy has a good accuracy level with a root mean square error (RMSE) of 0.0273. The system operated stably and streamed monitoring data continuously in 1 Hz intervals. The 12V 80 Ah battery endurance tests show that the device can operate for up to 96 hours without recharging. Additionally, The solar array delivered an average charging power of 148.13 W across approximately 10 hours of sunlight. These results indicate that a pressure-sensor-based buoy can address the limitations of PUMMA/IDSL and strengthen coastal hazard early-warning capabilities.

Keywords: Gunung Anak Krakatau, Tsunami Early Warning System, Buoy, Water Pressure, Raspberry Pi.

**PENGEMBANGAN PERANGKAT BUOY U-TEWS PADA LAUT
DANGKAL UNTUK SISTEM PERINGATAN DINI TSUNAMI (*PILOT
PROJECT* DI KAWASAN LAUT KRAKATAU)**

**Oleh
ILHAM AR ROSYID**

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi

: PENGEMBANGAN PERANGKAT BUOY U-TEWS PADA LAUT DANGKAL UNTUK SISTEM PERINGATAN DINI TSUNAMI (PILOT PROJECT DI KAWASAN LAUT KRAKATAU)

Nama Mahasiswa

Waham Ar Rosyid

Nomor Pokok Mahasiswa

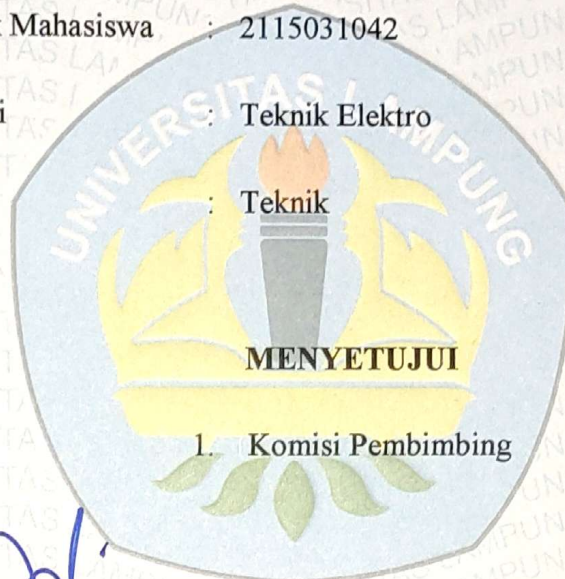
: 2115031042

Program Studi

: Teknik Elektro

Fakultas

: Teknik



1. Komisi Pembimbing

Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc., Ph.D.

NIP. 19731128 199903 1 005

Mona Arif Muda, S.T., M.T.

NIP. 19711112 200003 1 002

2. Mengetahui

**Ketua Jurusan
Teknik Elektro**

Herlinawati, S.T., M.T.
NIP. 19710314 199903 2 001

**Ketua Program Studi
Teknik Elektro**

Sumadi, S.T., M.T.
NIP. 19731104 200003 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

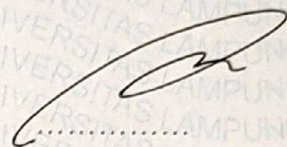
Ketua

: Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc., Ph.D.



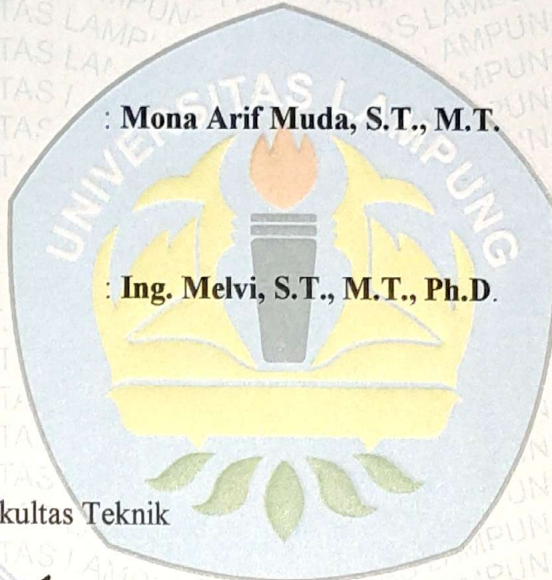
Sekretaris

: Mona Arif Muda, S.T., M.T.

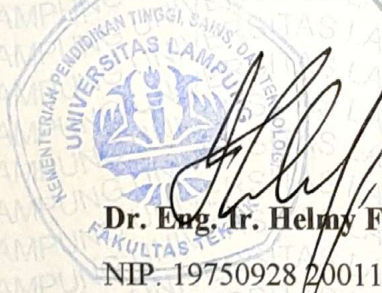


Penguji

: Ing. Melvi, S.T., M.T., Ph.D.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 17 Juli 2025

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi akademik sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 17 Juli 2025



Ilham Ar Rosyid

NPM. 2115031042

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Lampung Selatan pada tanggal 12 September 2002, sebagai anak pertama dari dua bersaudara, dari Bapak Widada dan Ibu Maria. Penulis memiliki saudara perempuan yang bernama Adila Wida Ramadhani.

Pendidikan Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SDN Pasirawi Cikupa, Tangerang pada tahun 2014, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 5 Natar diselesaikan pada tahun 2017, dan Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) di SMK 2 Mei Bandar Lampung dengan jurusan Teknik Elektronika yang diselesaikan pada tahun 2020.

Tahun 2021, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif mengikuti Organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (Himatro) Universitas Lampung sebagai anggota Divisi Kewirausahaan Departemen Sosial dan Kewirausahaan tahun 2022 hingga 2023. Penulis mengambil konsentrasi Telekomunikasi dan Teknologi Informasi dan secara aktif mengikuti kegiatan akademik di konsentrasi tersebut. Beberapa kegiatan akademik pada lingkup tersebut yang diikuti oleh penulis diantaranya kegiatan PPK Ormawa BEM FT Unila di Bumi Dipasena Agung yang berhasil meraih juara 2 Kategori Poster Terlengkap (Edukasi, Persuasi, dan Entertain) dalam Abdidaya Ormawa 2023, Studi Independen Kampus Merdeka, dan Riset Sistem Pendeteksi Dini Tsunami yang dilaksanakan di Wilayah Hutan Wisata Mangrove Petengoran, Pesisir Desa Canti Kalianda, dan Wilayah Konservasi Gunung Anak Krakatau, dan Kawasan Laut Krakatau Lampung Selatan

PERSEMBAHAN



Dengan segala syukur bagi Allah SWT atas berkah rahmat dan karunia-Nya,
Kupersembahkan karya ini dengan rasa syukur, hormat dan kasih sayang kepada:

**“Kepada Kedua Orang Tuaku,
Bapakku Widada dan Ibuku Maria, Serta Adikku Adila Wida
Ramadhani”.**

Atas segala doa, kasih sayang, kepercayaan, dan pengorbanan yang tiada henti.
Terima kasih telah menjadi sumber kekuatan dan perlindungan dalam setiap
langkah perjalanan ini. Berkat kalian, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

“Kepada Diri Sendiri Ilham Ar Rosyid”.

Atas segala usaha, ketekunan, dan semangat yang tak pernah padam, serta atas
keteguhan untuk terus bertahan dan melangkah. Skripsi ini tidak sempurna tapi
cukup untuk membuat penulis wisuda dan mendapatkan gelar S.T. Bismillah
semoga ini menjadi awal dari perjalanan yang lebih baik.

MOTTO HIDUP

“Allah tidak akan membebani seseorang, melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(Q.S Al Baqarah : 286)

“Terbentur, terbentur, terbentur, terbentuk”

(Tan Malaka)

“Setiap langkah punya tujuan, setiap nafas ada kehidupan, setiap harapan ada kepastian, dan setiap doa punya jawaban. Setiap orang memiliki perjuangan hidupnya sendiri. Selesaikan satu-persatu dengan tenang, tanpa perlu membandingkan dengan orang lain. Teruslah berjalan di jalur takdirmu sendiri”

(Ilham Ar Rosyid)

“Hidup bukan saling mendahului, bermimpilah sendiri-sendiri”

(Besok Mungkin Kita Sampai - Hindia)

“Hidup ini indah karena adanya hari ini, semua akan indah pada waktunya dan semua akan baik baik saja”

(Gading Marten, Evil, Ventela)

SANWACANA

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji dan syukur hanya kepada Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, yang telah memberikan berkah, rahmat, serta karunia-Nya yang tiada terhingga, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengembangan Perangkat Buoy U-TEWS Pada Laut Dangkal Untuk Sistem Peringatan Dini Tsunami (*Pilot Project* Di Kawasan Laut Krakatau)” dengan baik dan tepat waktu. Skripsi ini disusun dengan penuh usaha dan perjuangan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Dalam proses penyusunannya, penulis mendapatkan banyak dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, khususnya kepada :

1. Teruntuk panutanku dan surgaku, Bapakku Widada dan Ibuku Maria. Terima kasih tak terhingga atas perjuangan kalian untuk kehidupan dan masa depan penulis. Terima kasih atas doa-doa yang tiada henti, yang selalu menjadi kekuatan dalam setiap langkah penulis. Meskipun kalian tidak sempat merasakan pendidikan di bangku perkuliahan, kalian mampu mendidik, membimbing, dan memotivasi dengan luar biasa, hingga penulis bisa menyelesaikan studi ini hingga jenjang sarjana. Terima kasih telah selalu berada di sisi penulis, memberikan dukungan tanpa henti di setiap suka maupun duka, hingga akhirnya penulis mencapai titik ini. Gelar sarjana ini bukan semata-mata milik penulis, melainkan milik kalian juga sepenuhnya, yang membesarkan, membimbing, dan mendoakan tanpa lelah kenal lelah. Dengan penuh rasa cinta dan hormat, kupersembahkan gelar sarjana ini untuk kalian berdua, Bapakku Widada dan Ibuku Maria.

2. Terima kasih kepada adikku Adila Wida Ramadhani, yang selalu menjadi sumber inspirasi dan motivasi serta memberikan dukungan tanpa henti sepanjang penulisan skripsi ini. Maaf atas sikapku yang sering kali keras kepadamu. Namun, ketahuilah bahwa rasa sayangku padamu sangat besar, dan semua itu lahir dari keinginanku agar dirimu bisa menjadi pribadi yang lebih baik dariku. Terima kasih telah selalu bersabar, memahami, dan tetap mendukungku.
3. Saya ingin mengucapkan terima kasih kepada diri saya sendiri Ilham Ar Rosyid. Terima kasih telah bertahan, meski di saat-saat terberat sekalipun. Untuk setiap langkah kecil menuju kemajuan, untuk setiap malam yang dihabiskan dengan kerja keras, dan untuk semangat yang tidak pernah padam. Saya bangga telah sampai di titik ini, meski perjalanan ini penuh dengan tantangan dan keraguan. Terima kasih untuk keberanian dalam memulai dan menyelesaikan perkuliahan ini. Semoga ini menjadi awal dari perjalanan yang lebih baik.
4. Bapak Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Utama atas segala waktu yang telah diluangkan untuk memberikan bimbingan, nasihat, arahan dan juga motivasi yang membangun kepada penulis.
5. Bapak Mona Arif Muda, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Pendamping atas segala waktu yang telah diluangkan untuk memberikan bimbingan, nasihat, arahan dan juga motivasi yang membangun kepada penulis.
6. Ibu Ing. Melvi, S.T., M.T., Ph.D selaku Dosen Penguji atas segala waktu yang telah diluangkan untuk memberikan bimbingan, nasihat, arahan dan juga motivasi yang membangun kepada penulis.
7. Bapak Noer Soedjarwanto, IR, MT, selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan arahan dan dukungan kepada penulis.
8. Bapak Sumadi, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro Universitas Lampung.
9. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
10. Segenap dosen di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama menempuh pendidikan di perkuliahan.

11. Keluarga PUMMA 21 dan 22 yang selalu menghadirkan kebersamaan, canda, dan tawa yang menjadi penyemangat di tengah perjalanan panjang penulisan skripsi ini. Dukungan, motivasi, serta kehangatan yang kalian berikan telah membantu penulis melewati berbagai tantangan dan tetap bersemangat hingga akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan.
12. Teruntuk teman seperjuangan para Engineer muda, Luis Fernando Simbolon, Bagus Munawar, Fadli Ferdinand Jaya, Ilham Aji Wicaksono, Ahmad Faidz Dzazuli dan Steevan Urian Robiyanto. Terima kasih atas setiap momen yang kita lewati bersama, baik di perjalanan ini maupun di setiap permainan di rental PS. Kebersamaan dan dukungan kalian membuat perjalanan ini lebih berarti. Semoga sukses selalu menyertai kita semua.
13. Terima kasih untuk seseorang yang telah bersedia meluangkan waktu untuk mendengarkan setiap keluh kesah dan cerita penulis sepanjang proses penyusunan skripsi ini. Kehadiran dan kesediaan dirimu sungguh berarti, bukan hanya sebagai tempat berkeluh kesah, tetapi juga sebagai sumber semangat dan ketenangan di saat penulis merasa lelah dan hampir menyerah.
14. Seluruh teman-teman Telekomunikasi dan Teknologi Informasi 2021 yang telah memberikan dukungan, semangat dan motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
15. Seluruh pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak. Semoga skripsi ini dapat membantu dan memberikan manfaat bagi penulis dan para pembaca.

Bandar Lampung, 17 Juli 2025

Ilham Ar Rosyid

DAFTAR ISI

Halaman

PERSEMBAHAN.....	i
SANWACANA	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.	1
1.2 Rumusan Masalah.	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Penelitian Sebelumnya.	7
2.2 <i>Unila Tsunami Early Warning System (U-TEWS)</i>	9
2.3 Akuisisi Data Ketinggian Kolom Air.....	10
2.4 Akuisisi Data Arah dan Kecepatan Angin.	12
2.5 Akuisisi Data Satelit navigasi EZ-0048.	13
2.6 Sistem Komunikasi Sensor Ketinggian Kolom Air, Kecepatan dan Arah Mata Angin.....	16
2.7 Protocol Pengiriman Data.	17
2.8 <i>Controller</i> Perangkat.....	17
2.9 Pengukuran Karakteristik Sistem Catu Daya.	18
3.10 Pengukuran Keakuratan Sensor <i>Submersible gauge GLT500</i>	19
III. METODE PENELITIAN.....	20

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.	20
3.2 Perangkat Penelitian.	20
3.3 <i>Capstone Project</i>	22
3.4 Tahapan Penelitian.	24
3.4.1 Studi Literatur dan Bimbingan.	25
3.4.2 Perancangan Sistem.	25
3.4.2.1 Rancangan Konstruksi dan Struktur.	25
3.4.2.2 Rancangan Alur Kerja Buoy.	27
3.4.2.3 Rancangan Sistem Daya Buoy.	30
3.4.2.4 Rancangan Papan Circuit Board.	36
3.4.3 Perakitan dan Kalibrasi Perangkat.	39
3.4.4 Uji Kerja Perangkat.	39
3.4.4.1 Uji Fungsionalitas Perangkat.	39
3.4.4.2 Uji Sistem Daya Perangkat.	41
3.4.5 Pemasangan Perangkat.	42
3.4.6 Pengambilan Data.	42
3.4.7 Penyusunan Laporan.	42
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Realisasi Perangkat.	43
4.1.1 Realisasi <i>Wiring</i> Sistem Daya.	43
4.1.2 Realisasi <i>Printed Circuit Board</i>	48
4.1.3 Realisasi Buoy Di Kawasan Laut Krakatau.	49
4.2 Hasil Pengujian Akhir Sistem.	50
4.2.1 Hasil Pengujian Fungsionalitas Sensor.	51
4.2.1.1 Pengujian Sensor <i>Submersible gauge GLT500</i>	51
4.2.1.2 Pengujian Sensor <i>Wind Speed</i>	56
4.2.1.3 Pengujian Sensor <i>Wind direction SEN0482</i>	59
4.2.1.4 Pengujian Sensor <i>Barometric pressure BMP280</i>	62
4.2.1.5 Pengujian Sensor <i>Gyroscope SEN0386</i>	64
4.2.1.6 Pengujian Sensor Satelit navigasi EZ-0048.	65
4.2.3 Hasil Pengujian Sistem Daya.	70
4.2.3.1 Hasil pengujian Baterai.	70

4.2.3.2 Hasil pengujian Panel Surya.	74
V. KESIMPULAN DAN SARAN	79
5.1 Kesimpulan.....	79
5.2 Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA.....	81
LAMPIRAN.....	85

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 1. 1 Anak Gunung Krakatau [1].	1
Gambar 2. 1 Buoy U-TEWS.	10
Gambar 2. 2 Sensor Submersible gauge GLT500 [14].	11
Gambar 2. 3 Sensor Kecepatan Angin [16].	13
Gambar 2. 4 Sensor Arah Angin [15].	13
Gambar 2. 5 Sensor Barometric pressure BMP280 [18].	14
Gambar 2. 6 Sensor Satelit navigasi EZ-0048 [20].	15
Gambar 2. 7 Sensor Gyroscope SEN0386 [21].	15
Gambar 2. 8 Proses Transaksi Master dan Slave pada Modbus [22].	16
Gambar 2. 9 Raspberry Pi 4 Model B [27].	18
Gambar 3. 1 Capstone Project U-TEWS.	22
Gambar 3. 2 Prosedur Penelitian.	24
Gambar 3. 3 Rancangan Kontruksi Buoy U-TEWS.	26
Gambar 3. 4 Alur kerja Sistem Buoy.	28
Gambar 3. 5 Wiring Diagram Daya Buoy.	31
Gambar 3. 6 Skematik Rangkaian Buoy.	37
Gambar 3. 7 Tata Letak PCB.	38
Gambar 3. 8 Layout PCB.	38
Gambar 4. 1 Realisasi Wiring Sistem Control Perangkat.	44
Gambar 4. 2 Realisasi wiring sistem daya perangkat.	46
Gambar 4. 3 As Built Diagram Buoy U-TEWS.	47
Gambar 4. 4 Realisasi tata letak PCB.	48
Gambar 4. 5 Realisasi layout PCB.	48
Gambar 4. 6 Realisasi Buoy U-TEWS Di Kawasan Laut Krakatau.	50

Gambar 4. 7 Hasil Sensing Sensor Submersible gauge GLT500	52
Gambar 4. 8 Proses Kalibrasi Sensor Submersible gauge GLT500	53
Gambar 4. 9 Grafik Visualisasi Data Ketinggian kolom air.	55
Gambar 4. 10 Hasil Sensing Sensor Kecepatan Angin.	57
Gambar 4. 11 Visualisasi Kecepatan Angin.	58
Gambar 4. 12 Hasil Sensing Sensor Arah Mata Angin.....	60
Gambar 4. 13 Visualisasi Sebaran Arah Angin.	61
Gambar 4. 14 Hasil Sensing Sensor Tekanan Udara.	63
Gambar 4. 15 Hasil Sensing Sensor Gyroscope SEN0386.	65
Gambar 4. 16 Hasil Sensing Sensor Satelit navigasi EZ-0048.	67
Gambar 4. 17 Hasil Pengecekan Output Sensor Satelit navigasi EZ-0048.....	68
Gambar 4. 18 Pengukuran Tegangan Baterai.	71
Gambar 4. 19 Pengecekan Tegangan Pada MPPT.	71
Gambar 4. 20 Grafik Konsumsi Daya Baterai Selama 4 Hari.	72
Gambar 4. 21 Grafik Konsumsi Daya Perangkat Saat Pengujian Sistem Daya....	73
Gambar 4. 22 Grafik Ouput Daya Panel Surya.....	75
Gambar 4. 23 Grafik Konsumsi Daya Yang Dibutuhkan Periode 20 Februari 2025	77

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 3. 1 Komponen yang digunakan.	20
Tabel 3. 2 Estimasi Konsumsi Daya Buoy.....	33
Tabel 3. 3 Target Capaian Rancangan Daya.....	36
Tabel 3. 4 Target Capaian Uji Fungsionalitas Perangkat.....	40
Tabel 3. 5 Target Capaian Uji Sistem Daya Perangkat.....	41
Tabel 4. 1 Target Capaian Sensor Submersible gauge GLT500	51
Tabel 4. 2 Hasil Kalibrasi Sensor Submersible gauge GLT500	53
Tabel 4. 3 Target Capaian Sensor Wind speed SEN0483.....	56
Tabel 4. 4 Target Capaian Sensor Wind direction SEN0482.....	59
Tabel 4. 5 Target Capaian Sensor Barometric pressure BMP280.	62
Tabel 4. 6 Target Capaian Sensor Gyroscope SEN0386.	64
Tabel 4. 7 Target Capaian Sensor Satelit navigasi EZ-0048.	66
Tabel 4. 8 Hasil Rekapitulasi Pengujian Fungsionalitas Sensor.	68
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Sistem Daya Baterai.	74
Tabel 4. 10 Rekapitulasi Daya Panel Surya 20 Februari 2025.	76
Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Sistem Daya Panel Surya.....	78

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.

Gunung Anak Krakatau (GAK) merupakan gunung api aktif dari 129 gunung api di Indonesia. Letak Gunung Anak Krakatau berada di Selat Sunda termasuk kedalam wilayah Lampung Selatan pada posisi geografis $105^{\circ} 25' 27''$ BT dan $6^{\circ} 06' 06''$ LS yang berada di bawah laut dengan kedalaman 180 meter di bawah permukaan laut. Secara lebih spesifik, Gunung Anak Krakatau terletak di antara Pulau Sertung, Pulau Panjang, dan Pulau Rakata, yang secara umum dikenal sebagai Kompleks Gunung Anak Krakatau. Penampakkannya dapat dilihat pada Gambar 1.1 di bawah ini.



Gambar 1. 1 Anak Gunung Krakatau [1].

Gunung ini mulai terbentuk pada 29 Desember 1927 hingga 5 Januari 1928. Sejak itu, aktivitas vulkaniknya terus berlanjut. Pada tahun 2006, gunung api ini tercatat telah mengalami setidaknya 80 kali letusan, dengan pola erupsi yang dapat bersifat eksplosif maupun efusif setiap tahunnya [2].

Salah satu erupsi besar terjadi pada tahun 2018, Gunung Anak Krakatau mengalami erupsi yang dimulai pada bulan Juni 2018 hingga akhir tahun 2019 yang berupa erupsi strombolian [3]. Erupsi tipe ini mengeluarkan pijar api, erupsi yang terus menerus membuat tubuh Gunung Anak Krakatau mengalami tremor dan longsor kelaut sehingga menimbulkan dampak tsunami kecil yang terjadi pada wilayah Barat Daya. Berdasarkan Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) Dampak dari aktivitas ini mencakup korban meninggal tercatat sebanyak 437 orang, sedangkan korban yang dilaporkan hilang sebanyak 16 orang. Lebih dari 14 ribu orang mengalami luka-luka dan pengungsi mencapai 33.719 orang. Rumah yang rusak sebanyak 2.752 unit.

Mengingat besarnya dampak yang ditimbulkan oleh aktivitas Gunung Anak Krakatau, upaya mitigasi dan pemantauan bencana menjadi hal yang sangat penting. Beberapa sistem peringatan dini tsunami yang telah dikembangkan, seperti *Inexpensive Device for Sea Level Measurement* (IDSL) atau Perangkat Ukur Murah Muka Air laut (PUMMA) yang dikembangkan oleh *Joint Reserach Centre – The European Commission* (JRC-EC) dan peneliti dari *Krakatau Research Center* (KRC) telah mengembangkan sistem peringatan dini tsunami menggunakan sensor *ultrasonic* untuk mengukur ketinggian muka air laut berbasis IoT [4], [5] Prinsip kerja sensor *ultrasonic* adalah dengan menembakkan gelombang *ultrasonic* ke permukaan laut dan mengukur waktu pantulannya untuk menentukan ketinggian muka air laut. Namun, metode ini dapat mengalami gangguan (*noise*) selama pengukuran akibat faktor lingkungan seperti gelombang, angin, dan objek terapung di permukaan air.

Selain itu, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) melalui program Indonesia *Tsunami Early Warning System* (INA-TEWS), merancang, menguji, dan

membangun badan buoy (*buoy-hull*) serta *Ocean Bottom Unit* (OBU) [6]. Dalam sistem ini, tsunami buoy berkolaborasi dengan OBU untuk mendeteksi dini kejadian tsunami. OBU mendeteksi gempa bawah laut melalui perubahan tekanan air, kemudian mengirimkan data ke tsunami buoy menggunakan sinyal akustik. Data tersebut diteruskan ke stasiun pemantau di darat melalui satelit. Perangkat ini dirancang untuk beroperasi di laut dengan kedalaman lebih dari 2000 meter, memastikan kemampuan deteksi yang optimal di lingkungan laut dalam.

Oleh karena itu untuk mendukung upaya mitigasi bencana alam, penelitian ini akan merancang dan menganalisis kinerja *prototype* perangkat buoy pendeteksi tsunami melalui pengukuran ketinggian muka air laut secara *real-time*. Perangkat ini dirancang menggunakan sensor tekanan air jenis *submersible gauge GLT500* untuk mengukur perubahan ketinggian kolom air, serta sensor *Wind direction SEN0482* dan *anemometer wind speed SEN0483* untuk memantau arah angin dan kecepatan angin di sekitar lokasi. Data yang dihasilkan akan dimonitor secara *real-time* untuk mendeteksi tanda-tanda awal tsunami, sehingga memungkinkan pemberian peringatan dini. Selain itu, data yang dikumpulkan dapat digunakan sebagai basis analisis lebih lanjut dan membantu prediksi yang lebih akurat di masa depan [7]. Dengan demikian, sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi yang lebih ekonomis, akurat, dan mudah diterapkan dalam upaya mitigasi bencana tsunami akibat aktivitas vulkanik bawah laut seperti Gunung Anak Krakatau.

1.2 Rumusan Masalah.

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengakusisi data ketinggian muka air laut yang di ukur menggunakan sensor tekanan air dengan jenis *submersible gauge GLT500*, data kecepatan dan arah mata angin pada buoy U-TEWS di Kawasan Laut Krakatau?

2. Bagaimana merancang dan mengintegrasikan komponen ke dalam sebuah papan sirkuit yang efektif untuk mempermudah proses perakitan perangkat buoy U-TEWS?
3. Bagaimana mendapatkan karakteristik unjuk kerja yang optimal pada sistem catudaya pada buoy U-TEWS dalam mendukung pengoperasian perangkat monitoring ketinggian kolom air, kecepatan dan arah angin terhadap kondisi gelombang air laut?

1.3 Tujuan Penelitian.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Merancang dan membangun perangkat buoy U-TEWS yang dapat mengukur ketinggian kolom air dengan menggunakan sensor tekanan air jenis *submersible gauge GLT500* dan mengintegrasikannya dengan perangkat stasiun iklim *mikro*.
2. Merancang dan mengintegrasikan komponen ke dalam sebuah papan sirkuit yang efektif, sehingga mempermudah proses perakitan dan meningkatkan efisiensi perangkat buoy U-TEWS.
3. Mendapatkan karakteristik unjuk kerja yang optimal pada sistem catu daya pada buoy U-TEWS dalam mendukung pengoperasian perangkat monitoring ketinggian kolom air.

1.4 Batasan Masalah.

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Akusisi data ketinggian kolom air menggunakan sensor tekanan air jenis *submersible gauge GLT500* yang ditempatkan pada kedalaman 25 sampai 50 meter.

2. Data yang diakuisisi dari perangkat stasiun *iklim mikro* hanya berfokus pada data kecepatan dan arah angin, data suhu, dan tekanan udara, serta tidak mencakup parameter iklim lainnya.
3. Perancangan papan sirkuit buoy hanya untuk kemudahan *plug and play*, tidak merancang komponen secara keseluruhan.
4. Penelitian ini akan difokuskan pada perancangan dan integrasi perangkat keras untuk sistem peringatan dini tsunami, tanpa meninjau aspek perangkat lunak yang diperlukan untuk implementasi sistem tersebut.
5. Pengujian karakteristik unjuk kerja perangkat catu daya pada buoy hanya difokuskan pada kemampuannya mendukung pengoperasian sensor dan komponen lainnya, tanpa meninjau kondisi lingkungan yang ekstrem.
6. Implementasi *pilot project* dilakukan di Kawasan Laut Krakatau, Kec. Rajabasa, Kab. Lampung Selatan, Lampung.

1.5 Manfaat Penelitian.

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi peneliti, dapat menjadi pembelajaran terkait sistematika pembuatan perangkat sesuai bidang keilmuan yang ingin dicapai dan sebagai syarat menyelesaikan studi strata 1. Selain itu, dapat menjadi referensi untuk pengembangan sistem deteksi tsunami yang lebih canggih di masa depan.
2. Bagi masyarakat, penelitian ini membantu mengurangi risiko bencana tsunami dengan menyediakan peringatan dini yang lebih cepat dan akurat, memungkinkan evakuasi lebih cepat dan mengurangi kerugian.
3. Bagi pemerintah, perangkat pendeteksi tsunami ini memperkuat sistem penanggulangan bencana, meningkatkan respons cepat terhadap potensi tsunami.

1.6 Sistematika Penulisan.

Adapun sistematika penulisan yang digunakan pada penelitian ini untuk memberikan suatu Gambaran sederhana mengenai pembahasan tugas akhir serta untuk memudahkan pemahaman materi pada penelitian ini yang dituliskan menjadi beberapa bab, adalah sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, tujuan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesis dan sistematika penulisan pada penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan mengenai teori pendukung yang menjadi pengantar pemahaman dan berkaitan dengan materi penelitian yang diambil dari berbagai sumber ilmiah seperti buku dan jurnal.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memaparkan metodologi penelitian antara lain waktu dan tempat pengerjaan, alat dan bahan yang digunakan dalam pengerjaan penelitian, serta metode dan diagram penelitian yang akan digunakan dalam pengerjaan penelitian tugas akhir.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang hasil dan analisa data yang didapatkan dari algoritma dan sistem yang dikembangkan pada penelitian ini.

V. PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan yang didapat dari hasil analisa dan pembahasan juga berisikan saran yang membangun bagi semua pihak yang terlibat dalam pelaksanaan tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA

Bab ini berisikan referensi dari penulisan dan pelaksanaan proyek.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya.

Penelitian skripsi ini dibuat dengan mempertimbangan analisa dan hasil dari penelitian sebelumnya yang sejenis dalam beberapa tahun terakhir. Kharis Aulia Alam *et al* [8]. Penelitian ini berfokus pada pengembangan *prototype* instrumen pendeteksi dini tsunami akibat gempabumi. *Prototype* ini memanfaatkan prinsip refleksi gelombang, menggunakan sensor ultrasonik HCSR-04 untuk mengukur ketinggian air dan sensor Doppler HB-100 untuk mendeteksi kecepatan perubahan ketinggian air, yang dikontrol menggunakan Arduino Mega 2560. Instrumen ini menghasilkan peringatan dini berupa warna merah dan suara *buzzer* jika kondisi bahaya terdeteksi. Perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Kharis Aulia Alam *et al*. Terletak pada perbedaan sensor ketinggian kolom air dan *controller* yang akan digunakan. Penelitian ini akan menggunakan sensor *submersible gauge GLT500* dan mikrokomputer *Raspberry Pi 4*.

Selain itu sistem pendeteksi tsunami yang mengukur ketinggian kolom air juga telah dibangun oleh Agung Saputroa *et al* [9]. Melakukan penelitian untuk merancang sistem pendeteksi tsunami di Selat Sunda. Sistem ini menggunakan sensor *submersible* untuk mendeteksi ketinggian gelombang air. Data sensor diproses oleh mikrokontroler *Raspberry Pi* yang terprogram dengan ambang batas ketinggian 2 meter dan durasi gelombang 90 detik. Jika kondisi tersebut terpenuhi, sistem akan mengirimkan pesan singkat ke masyarakat pesisir dan mengaktifkan sirine. Sistem ini juga menggunakan modul komunikasi SIM900A dan *Liquid crystal display* (LCD) yang berfungsi sebagai alat monitoring ketinggian air.

Perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Agung Saputroa *et al.* terletak pada *platform monitoring*, protokol komunikasi transmisi data, serta penempatan perangkat. Pada penelitian yang akan dilakukan menggunakan *dashboard monitoring real-time* dan *protocol* transmisi data ke server menggunakan MQTT.

Selain itu sistem pendeteksi banjir dan badai angin yang dikembangkan oleh Ida Bagus Made Lingga Pradirta *et al* [10]. Penelitian ini mengembangkan sistem pendeteksi banjir dan badai angin berbasis Internet of Things (IoT) yang menggunakan Arduino Mega 2560 untuk mengukur ketinggian air dengan sensor ultrasonik serta berbagai parameter cuaca seperti kecepatan angin, suhu, kelembapan, intensitas cahaya, dan curah hujan *secara real-time*. Data dikirim melalui modul Wi-Fi ESP8266 dan GSM SIM800L, serta dilengkapi modul satelit navigasi EZ-0048 untuk menentukan lokasi pengambilan data. Penelitian ini menyediakan peringatan dini melalui aplikasi Android dan web, sekaligus memungkinkan monitoring cuaca secara spesifik dan *real-time*. Perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian yang telah dilakukan Ida Bagus Made Lingga Pradirta *et al.* terletak pada *controller* dan sensor yang digunakan. Pada penelitian yang akan dilakukan akan menggunakan sensor *submersible gauge GLT500* untuk mengukur ketinggian air, sensor *wind speed SEN0483* Sensor SEN0170 dan *wind direction SEN0482* yang dikontrol oleh minikomputer *Raspberry pi* dan dikirim ke server menggunakan MQTT.

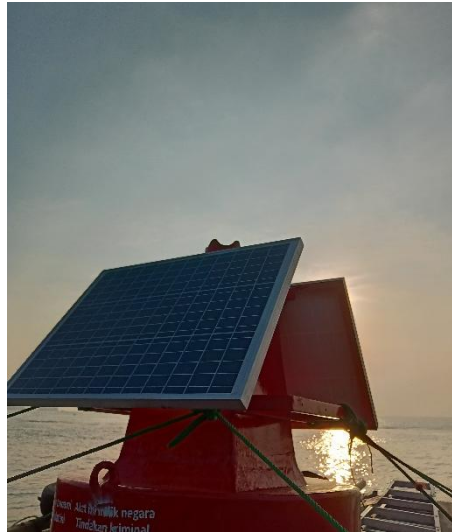
Dalam penelitian lain yang dilakukan Yi Zhang *et al* [11]. Penelitian ini mengembangkan dan menguji sistem pelampung peringatan tsunami di laut dalam yang ditempatkan dengan kedalaman laut dalam dengan kedalaman 1000 m, yang terdiri dari subsistem pendeteksi tsunami di dasar laut dan pelampung permukaan untuk mengirimkan data ke pusat peringatan. Perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian yang telah dilakukan Yi Zhang *et al.* terletak pada penempatan sensor ketinggian kolom air dan perangkat buoy. Pada penelitian yang akan dilakukan sensor akan ditempatkan pada laut dangkal dengan kedalaman 25 sampai 50 meter.

Dalam penelitian lain yang membahas tentang buoy yang dilakukan oleh Satria Mitra Utama *et al* [12]. Penelitian ini membahas membahas pengembangan rancangan buoy yang menggunakan mikrokontroler ATmega328, sensor DS18B20, dan sistem komunikasi LoRa 915 MHz. Buoy ini dirancang untuk mengamati suhu permukaan laut (SPL) secara *real-time*, dengan kemampuan mengirimkan data hingga jarak 2 km tanpa hambatan. Perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian yang telah dilakukan Satria Mitra Utama *et al.* terletak pada sensor yang akan digunakan dan sistem pengiriman data. Pada penelitian yang akan dilakukan akan menggunakan sensor *submersible gauge GLT500* dan memanfaatkan jaringan seluler untuk mengirimkan data.

2.2 Unila Tsunami Early Warning System (U-TEWS).

Unila -Tsunami Early Warning System (U-TEWS) adalah sebuah sistem peringatan dini tsunami yang dikembangkan oleh Universitas Lampung (Unila) untuk memantau dan mendeteksi potensi tsunami di sekitar Kawasan perairan Gunung Anak Krakatau, yang terletak di Selat Sunda, Indonesia. Sistem ini bertujuan untuk memberikan peringatan dini guna mengurangi risiko korban jiwa dan kerusakan akibat tsunami yang disebabkan oleh aktivitas vulkanik atau gempa bawah laut. Perangkat yang telah dikembangkan dalam sistem ini meliputi Perangkat Ukur Murah Muka Air Laut (PUMMA) dan buoy U-TEWS.

Buoy U-TEWS terdiri dari beberapa sensor yang bekerja secara terintegrasi untuk memantau kondisi laut secara *real-time*, antara lain sensor *submersible gauge GLT500* untuk mengukur ketinggian kolom air, *Wind direction SEN0482* dan *wind speed SEN0483* untuk mengukur arah dan kecepatan angin, *barometric pressure BMP280* untuk memantau tekanan atmosfer, *gyroscope SEN0386* untuk mengukur orientasi pergerakan perangkat, dan satelit navigasi EZ-0048 untuk menentukan lokasi perangkat secara akurat. Buoy U-TEWS ini ditempatkan di laut dangkal dengan kedalaman antara 25 hingga 50 meter untuk mengukur tinggi muka air laut dan mengamati kondisi atmosfer di sekitar lokasi.



Gambar 2. 1 Buoy U-TEWS.

[Sumber : Dokumentasi Pribadi].

Perangkat-perangkat ini bekerja bersama untuk mengumpulkan dan mengirimkan data secara *real-time* ke *dashboard monitoring*. Data yang dihasilkan oleh perangkat buoy U-TEWS akan dianalisis untuk menentukan potensi tsunami dan memberikan peringatan dini kepada masyarakat yang berisiko, serta mendukung upaya mitigasi bencana.

2.3 Akuisisi Data Ketinggian Kolom Air.

Akuisisi data merupakan proses pengumpulan, pengukuran, dan penyimpanan data dari berbagai sumber untuk dianalisis atau digunakan dalam sistem tertentu. Data yang dikumpulkan dapat berasal dari sensor, instrumen pengukuran, perangkat elektronik, atau sumber digital lainnya. Dalam penelitian ini, akuisisi data dilakukan untuk mengukur tekanan air laut menggunakan perangkat buoy U-TEWS yang dilengkapi dengan sensor *submersible gauge GLT500*. Sensor ini merupakan sensor level air *submersible* yang dirancang untuk mengukur tinggi permukaan air atau cairan lainnya dalam berbagai aplikasi industri dan lingkungan. Sensor *submersible gauge GLT500* bekerja berdasarkan prinsip tekanan hidrostatik [13], dimana saat sensor ditempatkan dalam cairan, tekanan yang dihasilkan oleh

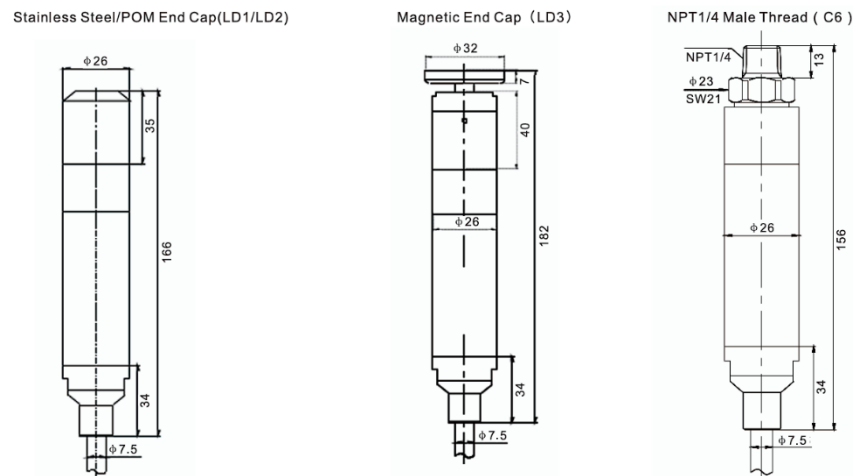
ketinggian cairan akan diterima oleh membran sensitif yang terdapat pada sensor [9]. Tekanan ini kemudian diukur oleh sensor dan dikonversikan menjadi sinyal elektrik yang kemudian dapat digunakan untuk mengetahui ketinggian cairan pada lokasi tersebut seperti pada persamaan rumus 2.1 di bawah ini:

$$P = \rho \times g \times h \quad (2.1)$$

Dimana:

- P : adalah tekanan hidrostatik
 ρ : adalah berat jenis air (1.000 kg/m³)
 g : adalah percepatan gravitasi di permukaan bumi (9,8 m/s²)
 h : adalah kedalaman air.

Jangkauan pengukuran yang dimiliki oleh sensor *submersible gauge GLT500* dapat mencapai hingga 50 meter [14] tergantung pada kondisi lingkungan dan konfigurasi yang digunakan. Sensor *submersible gauge GLT500* sering digunakan dalam pemantauan sumber daya air, seperti pengukuran tingkat air di sungai, danau, atau waduk.



Gambar 2. 2 Sensor *Submersible gauge GLT500* [14].

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 sensor *submersible gauge GLT500* memiliki bentuk yang kompatibel dengan ukuran 1 1/4 inch, sehingga memudahkannya untuk ditempatkan di tempat yang strategis. Sensor ini memiliki

dimensi yang tidak terlalu besar, namun bahan yang digunakan merupakan *stainless steel* berkualitas tinggi dan memiliki rating IP68 yang tahan percikan air dan debu. Sensor *submersible gauge GLT500* memiliki rentang pengukuran (*measuring range*) antara 0 hingga 50 meter, dengan sinyal keluaran (*output signal*) yang berkisar antara 4 hingga 20 mA. Selain itu, alat ini beroperasi dengan tegangan operasi (*operating voltage*) antara 12 hingga 30 V, dan akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) mencapai 0,25 %FS, serta memiliki *sensing rate* 100 -1000 Hz. Dengan spesifikasi ini, alat ini dirancang untuk memberikan pengukuran yang akurat dan andal dalam berbagai kondisi operasional.

2.4 Akuisisi Data Arah dan Kecepatan Angin.

Dalam penelitian ini, stasiun iklim mikro juga akan diintegrasikan dengan dua sensor untuk mengukur beberapa variabel cuaca, salah satunya yaitu sensor kecepatan angin (*wind speed SEN0483*) dan sensor arah angin (*Wind direction SEN0482*). *Wind speed SEN0483* adalah perangkat sensor yang dirancang untuk mengukur kecepatan angin dan mengubah data tersebut menjadi sinyal elektrik yang dapat dibaca atau digunakan oleh sistem monitoring atau control [15], [16], [11]. Sensor *wind speed SEN0483* harus diletakkan di tempat terbuka tanpa halangan, nantinya baling-baling akan bergerak sesuai dengan kecepatan angin yang berhembus di suatu tempat. Sensor ini sering digunakan dalam aplikasi meteorologi, pembangkit listrik tenaga angin, manajemen lalu lintas udara, dan sistem otomatisasi industri. Sensor ini memiliki rentang pengukuran (*measuring range*) sebesar 0 hingga 32,4 m/s, sedangkan kecepatan angin awal (*start-up wind speed*) berada dalam kisaran 0,2 hingga 0,4 m/s. Selain itu, akurasi pengukurannya mencapai $\pm 0,3$ m/s, dan tegangan daya (*power voltage*) yang diperlukan berkisar antara 7 hingga 24 V dengan protokol komunikasi Modbus RTU dengan *Raspberry Pi*.



Gambar 2. 3 Sensor Kecepatan Angin [16].

Selain itu, digunakan juga sensor *Wind direction SEN0482* adalah perangkat sensor yang dirancang untuk mendeteksi arah mata angin dan mengubahnya menjadi sinyal elektrik yang dapat digunakan oleh sistem pemantauan atau kontrol, dengan rentang pengukuran 0° hingga 360° [17]. Sensor ini dapat melakukan *sensing* 16 arah mata angin dan sensor ini juga bekerja pada tegangan 7 sampai 24 VDC dengan protokol komunikasi Modbus RTU dengan *Raspberry Pi*.



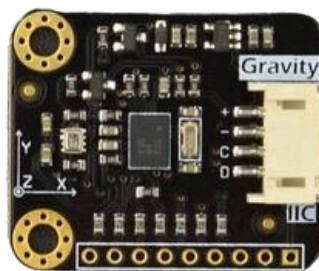
Gambar 2. 4 Sensor Arah Angin [15].

Pada penelitian ini sensor *wind speed SEN0483* dan sensor *Wind direction SEN0482* tersebut akan digunakan agar dapat mengetahui pengaruh antara kecepatan dan arah angin terhadap perubahan ketinggian gelombang air laut jika akan dilakukan analisis lebih lanjut.

2.5 Akuisisi Data Satelit navigasi EZ-0048.

Selain akuisisi data ketinggian kolom air dan iklim mikro, penelitian ini juga akan mengintegrasikan tiga sensor untuk mengakuisisi data navigasi, di antaranya sensor

barometric pressure BMP280, sensor *gyroscope SEN0386*, dan sensor satelit navigasi EZ-0048. *Barometric pressure BMP280* adalah sensor tekanan barometrik absolut yang dirancang khusus untuk aplikasi seluler, yang dapat mengukur tekanan barometrik dan suhu [18]. *Barometric pressure BMP280* mampu mengukur tekanan udara dalam kisaran 300 hingga 1100 hPa dengan akurasi kurang lebih 0,12 hPa (1m), dan suhu dalam kisaran -40 hingga 80 derajat Celsius dengan akurasi kurang lebih 0,5 derajat *Celsius*. Selain itu, *barometric pressure BMP280* juga memiliki mode pengukuran yang dapat dipilih untuk mengoptimalkan konsumsi daya dan waktu respon [19].



Gambar 2. 5 Sensor *Barometric pressure BMP280* [18].

Selain sensor *barometric pressure BMP280* digunakan juga sensor satelit navigasi EZ-0048. Satelit navigasi EZ-0048 adalah sistem navigasi berbasis satelit yang memungkinkan pengguna untuk menentukan lokasi, kecepatan, dan waktu secara presisi di mana saja di permukaan Bumi, selama terdapat sinyal satelit. Dalam penelitian buoy, satelit navigasi EZ-0048 digunakan untuk memantau dan menentukan posisi buoy secara akurat, mendukung analisis data terkait lokasi dan pergerakan buoy di perairan [20]. Sensor ini beroperasi dengan tegangan antara 3,3 V hingga 5,0 VDC dan membutuhkan arus sebesar 100 mA untuk dapat berfungsi dengan baik. Selain itu, alat ini memiliki kecepatan pengambilan data (*rate*) sebesar 1 Hz, dengan maksimum 5 Hz. Dalam hal akurasi posisi, alat ini dapat menentukan posisi dengan ketelitian kurang dari 2,5 meter CEP (*Circular Error Probable*). Sementara itu, akurasi kecepatan alat ini juga sangat baik, dengan kemampuan mengukur kecepatan hingga kurang dari 0,1 m/s. Dengan spesifikasi tersebut, alat ini sangat cocok untuk aplikasi yang memerlukan pengukuran posisi dan kecepatan dengan tingkat akurasi yang tinggi.



Gambar 2. 6 Sensor Satelit navigasi EZ-0048 [20].

Selain itu, digunakan juga sensor *gyroscope SEN0386*. sensor *gyroscope SEN0386* adalah alat yang digunakan untuk mengukur atau menjaga arah posisi suatu benda dengan memanfaatkan prinsip kestabilan putaran. Cara kerjanya menggunakan roda yang berputar di dalam alat sehingga tetap stabil meskipun alat bergerak [21]. *Gyroscope SEN0386* ini biasanya berbentuk sensor yang digunakan untuk menentukan arah gerak dengan mengandalkan roda atau cakram yang berputar cepat pada porosnya. Sensor ini juga dapat mendeteksi gerakan yang dipengaruhi gravitasi, sehingga bisa mengenali pergerakan pengguna.



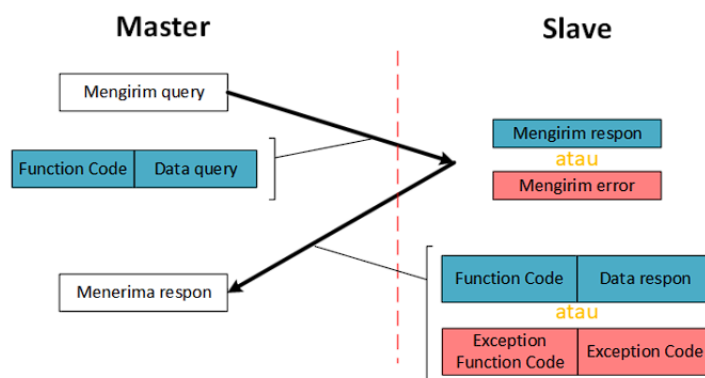
Gambar 2. 7 Sensor *Gyroscope SEN0386* [21].

Sensor *gyroscope SEN0386* beroperasi dengan kebebasan terhadap tiga sumbu. Pada Gambar 2.7 menjelaskan bahwa *gyroscope SEN0386* memiliki keluaran berupa kecepatan sudut dari arah 3 sumbu yaitu: sumbu x yang akan menjadi sudut phi (kanan dan kiri) dari sumbu y menjadi sudut theta (atas dan bawah), dan sumbu z menjadi sudut psi (depan dan belakang). Sensor ini beroperasi dengan tegangan

antara 3,3 V hingga 5 V dan konsumsi arus kurang dari 40 mA. Alat ini menawarkan berbagai opsi jangkauan pengukuran, yaitu $\pm 2/4/8/16$ g, serta pilihan kecepatan sudut (*angular velocity*) $\pm 250/500/1000/2000^\circ/\text{s}$. Selain itu, alat ini juga mampu mengukur sudut sikap (*attitude angle*) hingga $\pm 180^\circ$. Dengan fleksibilitas pengukuran tersebut, alat ini cocok digunakan dalam berbagai aplikasi yang memerlukan pengukuran percepatan, kecepatan sudut, dan orientasi dengan tingkat akurasi tinggi.

2.6 Sistem Komunikasi Sensor Ketinggian Kolom Air, Kecepatan dan Arah Mata Angin.

Pada penelitian ini sensor yang digunakan yaitu sensor tekanan air *submersible gauge GLT500*, arah dan kecepatan angin menggunakan protocol Modbus. Modbus adalah protokol komunikasi jaringan berstandar internasional yang diterapkan pada industri dan bersifat open source, dapat berjalan pada berbagai media antarmuka serta sederhana dan efisien. Protokol modbus yang berjalan pada RS-485 biasa lebih dikenal dengan modbus RTU (*Remote Terminal Unit*) [22], [23]. Modul RS485 to TTL USB adalah perangkat yang digunakan untuk menghubungkan perangkat dengan antarmuka RS485 ke komputer atau sistem lain melalui port USB, dengan mengonversi sinyal RS485 (*differential signal*) menjadi sinyal TTL (*Transistor-Transistor Logic*) [24]. Modul ini memanfaatkan chip konverter seperti MAX485 untuk komunikasi RS485 dan IC seperti CH340 atau FT232 untuk mengubah data USB menjadi sinyal serial.



Gambar 2. 8 Proses Transaksi *Master* dan *Slave* pada Modbus [22].

Gambar 2.8 menunjukkan Proses Transaksi Master dan Slave pada Modbus. Perangkat yang mengirimkan perintah disebut dengan *master* dan penerima perintah disebut *slave*. *Master* bersifat aktif dengan mengirimkan permintaan atau *query* yang terdiri dari *function code* dan data. Sedangkan *slave* bersifat pasif yang hanya merespon jika ada permintaan dari *master* dengan mengirimkan pesan data *response* saat kondisi normal maupun *exception code* saat terjadi *error*.

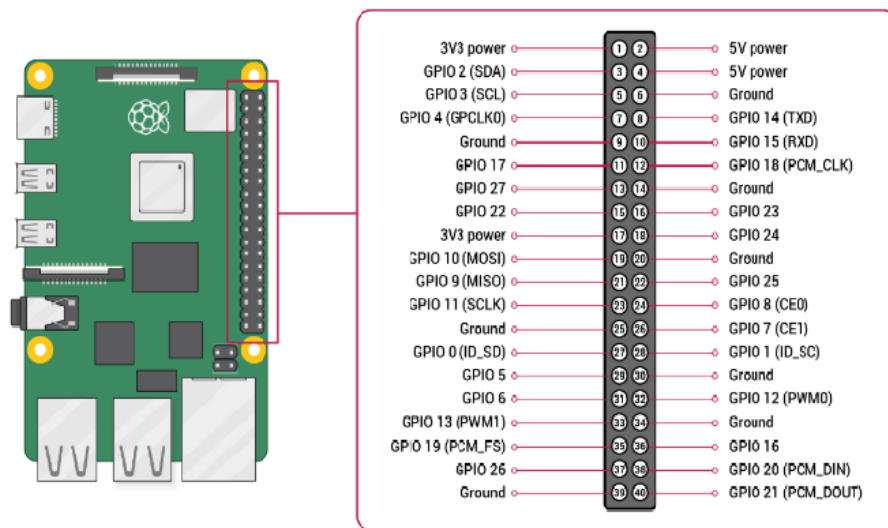
2.7 Protocol Pengiriman Data.

Dalam penelitian ini, sistem transmisi data perangkat buoy U-TEWS ke *server* menggunakan protokol *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT). MQTT sendiri adalah sebuah protokol konektivitas *machine to machine* (M2M) yang didesain mampu mengirimkan data dengan sangat ringan menggunakan arsitektur TCP/IP. MQTT bekerja dengan prinsip *publish-subscribe*, di mana perangkat penerima (*subscriber*) dapat menerima data dari perangkat pengirim (*publisher*) yang mengirimkan pesan melalui broker MQTT [25], [26]. Dalam sistem transmisi data ini, *Raspberry Pi* berperan sebagai *publisher* yang bertugas mengirimkan data hasil pemrosesan dari sensor, sementara *server* yang terhubung berfungsi sebagai *subscriber* untuk menerima data tersebut. Dengan menggunakan protokol MQTT, pengiriman data dapat dilakukan secara efisien dan tetap aman.

2.8 Controller Perangkat.

Dalam penelitian ini, *controller* yang digunakan pada perangkat buoy U-TEWS untuk memproses data input dari sensor dan pengiriman data ke server menggunakan *minicomputer Raspberry Pi*. Model *Raspberry Pi* yang digunakan adalah *Raspberry Pi 4 Model B* (Pi4B) adalah salah satu keluaran terbaru dari *Raspberry Pi* generasi keempat. Pi 4B adalah komputer yang digunakan untuk berkinerja tinggi, dengan fitur *Central Processing Unit ARM Cortex-A72 64bit quad-core* [27]. Selain itu, Pi4B memiliki *RAM* yang jauh lebih banyak dan kinerja

CPU, Graphics Processing Unit dan General Purpose Input/Output yang ditingkatkan secara signifikan, semuanya dibentuk dalam bentuk serupa seperti *Raspberry Pi 3B+* generasi sebelumnya. Dengan kelebihan-kelebihan tersebut, Pi4B menjadi pilihan yang ideal sebagai *Single Board Computer* (SBC) untuk proyek *Internet of Things*, termasuk untuk pengolahan dan pengiriman data pada perangkat buoy U-TEWS.



Gambar 2. 9 *Raspberry Pi 4 Model B* [27].

Selain itu, *Raspberry Pi* berfungsi sebagai pengontrol yang mengolah semua input yang diperoleh dari sensor melalui berbagai metode komunikasi. Setelah data input diproses, *Raspberry Pi* kemudian mengatur format pengiriman data menggunakan protokol MQTT, di mana *Raspberry Pi* bertindak sebagai *publisher* MQTT. *Raspberry Pi* juga dapat diakses dan dikendalikan secara jarak jauh melalui SSH (*Secure Shell*), memudahkan pengawasan dan pengaturan perangkat secara efisien dari lokasi yang jauh.

2.9 Pengukuran Karakteristik Sistem Catu Daya.

Daya merupakan ukuran seberapa cepat energi digunakan atau dipindahkan dalam suatu sistem. Dalam penelitian ini, akan dilakukan perhitungan daya untuk

mengetahui konsumsi energi yang digunakan pada perangkat. Perhitungan daya merujuk pada proses untuk menentukan jumlah energi yang digunakan atau dihasilkan oleh suatu perangkat atau sistem dalam periode waktu tertentu. Daya umumnya diukur dalam satuan Watt (W) dan dihitung berdasarkan hubungan antara tegangan (V), arus (I), dan resistansi (R). Secara matematis, daya dapat dituliskan dengan rumus seperti pada persamaan 2.2 di bawah ini :

$$P = V \times I \quad (2.2)$$

Dimana :

P = daya (dalam Watt)

V = tegangan (dalam volt)

I = arus (dalam ampere)

3.10 Pengukuran Keakuratan Sensor *Submersible gauge GLT500*.

Dalam penelitian ini, hasil pengukuran dan pembacaan dari sensor *submersible gauge GLT500* dievaluasi menggunakan metode RMSE (*Root Mean Square Error*). RMSE adalah sebuah metrik yang digunakan untuk membandingkan hasil pembacaan sensor dengan data aktual untuk menilai sejauh mana akurasi sensor tersebut. Adapun rumus perhitungan RMSE [28] seperti pada rumus persamaan 2.3 di bawah ini:

$$RSME = 1/n \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{Y_{actual}(i) - Y_{sensor}(i)}{n} \right)^2} \quad (2.3)$$

Dimana:

n : adalah jumlah data pengukuran

$Y_{actual}(i)$: adalah data hasil pengukuran sebenarnya

$Y_{actual}(i)$: adalah data hasil pengukuran sensor.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.

Penelitian ini dilaksanakan selama kurang lebih 6 bulan, yaitu dimulai dari bulan November 2024 - April 2025. Tahapan penelitian meliputi studi literatur dan bimbingan, penulisan laporan proposal, perancangan perangkat, pengujian sistem perangkat, perakitan perangkat, implementasi perangkat, akuisisi data hasil, dan penulisan laporan hasil. Proses penelitian ini dilakukan di beberapa tempat yaitu :

1. Laboratorium Baja Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Laboratorium Terpadu Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Kolam Renang Universitas Lampung.
4. Pulau Sebesi, Kecamatan Rajabasa, Kabupaten Lampung Selatan.

3.2 Perangkat Penelitian.

Adapun alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian tugas akhir ini meliputi berbagai perangkat keras, perangkat lunak, dan komponen elektronik, sebagai material pendukung yang dirancang dan dipilih secara khusus untuk mendukung proses perancangan, implementasi, dan pengujian sistem buoy U-TEWS. Perincian alat dan bahan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.1 di bawah ini.

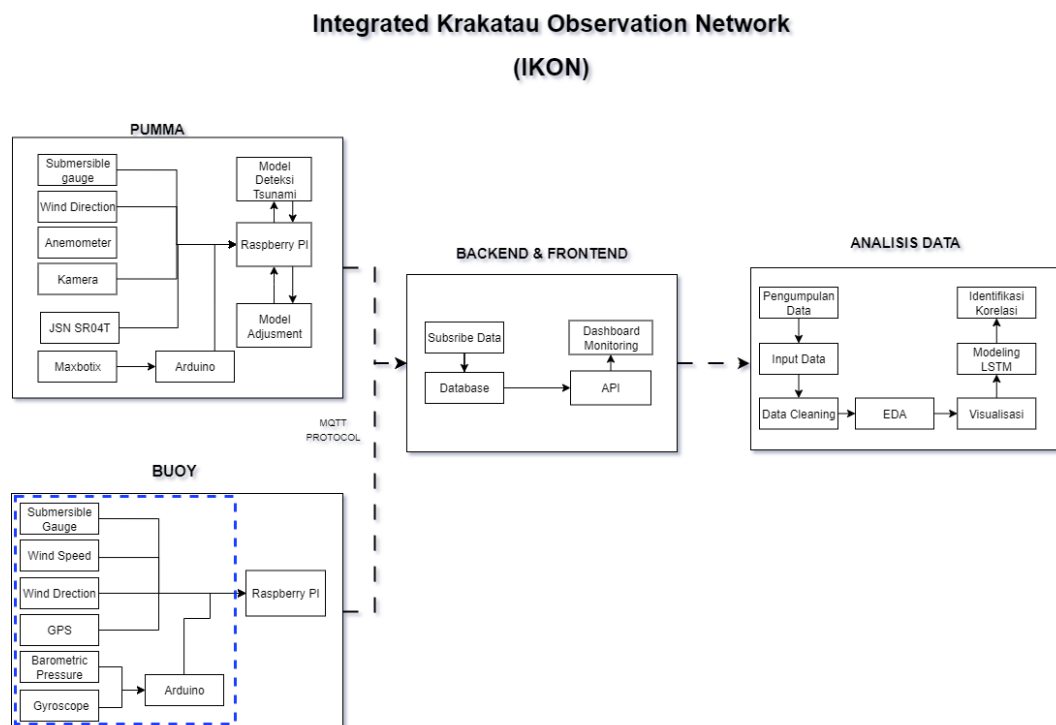
Tabel 3. 1 Komponen yang digunakan.

No.	Komponen	Kegunaan
1.	Raspberry PI model 4B dengan RAM 4 GB	Sebagai <i>Mikrocomputer</i> semua komponen.
2.	ESP32	Sebagai <i>controller</i> komponen relay.
3.	Arduino Nano	Microcontroler yang berfungsi untuk memproses pembacaan input sensor analog.
3.	<i>Submersible gauge GLT500</i>	Sebagai sensor tekanan ketinggian kolom air.
4.	<i>Buck Boost Converter</i>	Sebagai komponen untuk mengatur tegangan dan arus tertentu.
5.	Modem Huawei E5576 4G LTE	Sebagai penyedia layanan internet 4G LTE.
6.	Baterai VOZ 12V 80 Ah VRLA	Sebagai sumber daya komponen.
7.	Modul Surya 30WP <i>Monocrystalline</i>	Sebagai sumber daya pengisian baterai.
8.	<i>Solar Charge Controller</i> Epever XTRA 1210N Real MPPT 10A	Sebagai pengatur daya dari modul surya ke baterai dan beban.
9.	USB To TTL RS485 <i>Converter</i>	Sebagai komunikasi sensor ke <i>controller</i> .
10.	RS485 <i>Wind direction</i> <i>SEN0482</i>	Sebagai sensor pengukur arah mata angin.
11.	RS485 <i>Wind speed</i> <i>SEN0483</i>	Sebagai sensor pengukur kecepatan arah mata angin.
12.	<i>Barometric pressure</i> <i>BMP280</i>	Sebagai komponen sensor tekanan barometrik dalam perangkat.
13.	Satelit navigasi EZ-0048	Sebagai penyedia informasi Lokasi perangkat.
14.	<i>Gyroscope</i> <i>SEN0386</i>	Sebagai komponen sensor gyroscope SEN0386 dalam perangkat.

15.	Arduino IDE	Berfungsi untuk <i>compiler</i> kode pada algoritma system.
16.	Relay	Sebagai pemutus tegangan.

3.3 Capstone Project.

Penulis merupakan anggota tim *capstone project* IKON (*Integrated Krakatau Observation Network*) dan terlibat langsung dalam subproyek PUMMA. Proyek IKON merupakan inisiatif penelitian kebencanaan tsunami yang bertujuan mengembangkan sistem pemantauan dini tsunami berbasis IoT untuk kawasan Selat Sunda. *Project* ini merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya yang dikenal sebagai *Krakatoa Research Center* (KRC) atau dikenal *K-Project* dan melibatkan kolaborasi dengan PT Drone Nirwana Bentala serta Unila Robotika dan Automasi. Tim yang tergabung dalam capstone project ini dikenal dengan U-TEWS (*Unila-Tsunami Early Warning System*).



Gambar 3. 1 Capstone Project U-TEWS.

Gambar 3.1 menunjukkan *Capstone Project U-TEWS* yang terdiri dari *sub-project* PUMMA, buoy, *back-end & front-end*, dan *data analyst*. Sub-project PUMMA adalah alat yang digunakan untuk mengukur ketinggian kolom air dan iklim mikro secara *real-time* yang ditempatkan di pesisir pantai. Perangkat ini menggunakan sensor tekanan air untuk mengukur ketinggian permukaan laut, sementara sensor kecepatan dan arah angin berfungsi untuk memvalidasi apakah perubahan ketinggian gelombang disebabkan oleh faktor cuaca atau tsunami. Tujuan utama alat ini adalah untuk mendeteksi tanda-tanda tsunami di pesisir pantai, yang kemudian divalidasi dengan perangkat buoy yang terletak di tengah laut untuk memastikan apakah dampak tsunami tersebut mencapai pesisir.

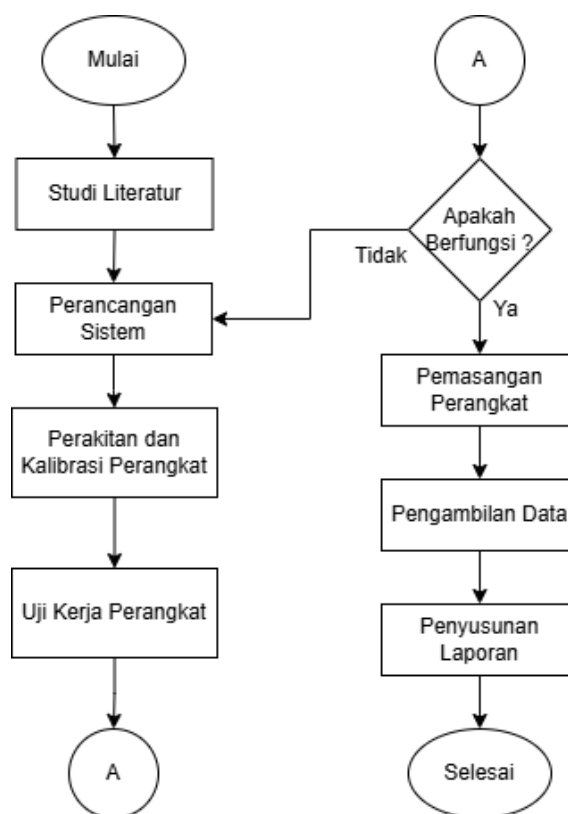
Penulis berada pada *sub-project* buoy yang merupakan alat yang digunakan untuk mengukur ketinggian kolom air secara *real-time* yang ditempatkan di Tengah laut dengan maksimal kedalaman 50 Meter. Pada penelitian ini, penulis mengerjakan bagian buoy lebih spesifiknya pada sistem deteksi dini tsunami dengan sensor *Submersible gauge GLT500* untuk mengukur ketinggian kolom air. Penulis juga mengerjakan bagian integrasi sistem pada sensor *Wind direction SEN0482*, *wind speed SEN0483*, *barometric pressure BMP280*, *gyroscope SEN0386* dan satelit navigasi EZ-0048 yang digunakan sebagai komponen pendukung untuk memvalidasi algoritma deteksi tsunami. Fokus pengerjaan penulis pada *capstone project* ini adalah merakit sistem daya dan sensor, integrasi sistem antara sensor yang digunakan dengan *microcontroller* dan *microcomputer*.

Sub-project back-end dan *front-end* memiliki peran penting dalam mengembangkan sistem integrasi data dari perangkat PUMMA dan buoy ke dalam sebuah *dashboard monitoring IoT* yang interaktif dan mudah diakses oleh masyarakat umum, peneliti, maupun pemangku kepentingan. Tujuan utama dari *sub-project* ini adalah untuk memastikan bahwa data hasil *sensing* dari perangkat-perangkat tersebut dapat ditampilkan secara *real-time* dan akurat dalam bentuk visualisasi yang informatif. Selain itu, seluruh data hasil pengukuran akan disimpan secara sistematis ke dalam *database*, guna mendukung keperluan analisis lebih lanjut, pemantauan historis, serta pengambilan keputusan berbasis data.

Sementara itu, *sub-project data analyst* berfokus pada proses pengolahan dan analisis data yang dikumpulkan oleh perangkat PUMMA dan buoy. *Sub-project* ini memiliki tujuan strategis untuk melakukan pembersihan (*cleaning*), pengelompokan (*clustering*), serta analisis statistik dan spasial terhadap data yang diperoleh, dengan pendekatan berbasis sains data dan teknologi kecerdasan buatan. Hasil dari proses ini diharapkan dapat menghasilkan informasi yang bernilai dan relevan untuk mendukung penelitian di bidang kebencanaan, khususnya dalam upaya deteksi dini tsunami.

3.4 Tahapan Penelitian.

Penelitian ini dilaksanakan dengan tahapan dan metode yang disusun secara sistematis dan terstruktur guna mendukung efektivitas proses pengembangan perangkat buoy U-TEWS. Tahapan penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3. 2 Prosedur Penelitian.

Gambar 3.2 menampilkan garis besar tahapan penelitian. Secara runtut ditunjukkan oleh setiap kotak yang terhubung satu sama lain yang menunjukkan perpindahan dari tiap tahapnya. Tiap proses memiliki tujuan dan tempat yang mungkin berbeda, namun saling berkesinambungan.

3.4.1 Studi Literatur dan Bimbingan.

Langkah awal yang dilakukan adalah melakukan studi literatur dan berdiskusi dengan dosen terkait permasalahan yang ada untuk memperoleh wawasan serta temuan sebelumnya. Pada tahap ini dilakukan mencari, mempelajari, serta memahami materi dari berbagai literatur yang berkaitan dengan masalah yang ada dan solusi peringatan dini tsunami dengan merancang perangkat yang dapat mengukur ketinggian kolom air secara *real-time*. Materi dan literatur yang dipelajari berasal dari berbagai sumber referensi dan sumber-sumber ilmiah lainnya seperti penelitian-penelitian sebelumnya, artikel yang diterbitkan di jurnal dan buku/*ebook*.

3.4.2 Perancangan Sistem.

Tahap kedua merupakan tahap perancangan sistem, yang berfokus pada pengembangan perangkat pendeteksi dini tsunami dengan kemampuan untuk mengukur ketinggian kolom air secara *real-time*. Pada tahap ini, dilakukan serangkaian proses yang mencakup perancangan perangkat keras guna memastikan sistem dapat beroperasi secara optimal dalam mendeteksi perubahan permukaan air laut. Selain itu, perancangan ini juga mempertimbangkan aspek efisiensi daya, keandalan komunikasi data, serta integrasi dengan sensor-sensor pendukung lainnya. Adapun beberapa langkah yang dilakukan dalam tahap ini meliputi:

3.4.2.1 Rancangan Konstruksi dan Struktur.

Pada penelitian ini, perangkat buoy U-TEWS dirancang dan dibangun menggunakan material utama berbahan *fiber reinforced plastic* (FRP) atau lebih dikenal sebagai *fiber glass*. Pemilihan material ini didasarkan pada pertimbangan ketahanan terhadap korosi air laut, kekuatan mekanis yang baik, serta bobot yang relatif ringan sehingga mendukung daya apung buoy dan memudahkan proses transportasi serta pemasangan di laut.

Secara umum, buoy memiliki bentuk silinder dengan diameter sekitar 80 cm dan tinggi kurang lebih 150 cm. Bentuk silinder ini dipilih untuk meminimalkan hambatan aliran air laut dan meningkatkan stabilitas buoy saat terpapar gelombang dan arus laut. Selain itu, buoy juga dilengkapi dengan pendulum tambahan setinggi 1 meter yang dipasang di bagian bawah untuk membantu menurunkan pusat gravitasi sistem sehingga tetap tegak meskipun terkena hentakan ombak. Rancangan konstruksi buoy dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3. 3 Rancangan Kontruksi Buoy U-TEWS.

Gambar 3.3 diatas merupakan rancangan konstruksi buoy U-TEWS. Berdasarkan rancangannya, buoy U-TEWS terdiri atas beberapa bagian utama yang dapat dijelaskan sesuai penomoran di bawah ini:

1. Nomor 1 merupakan bagian atas buoy yang difungsikan sebagai tempat pemasangan sensor *wind speed SEN0483*, sensor *Wind direction SEN0482*, dan lampu navigasi. Letak di puncak ini bertujuan agar sensor dapat mendeteksi arah dan kecepatan angin secara optimal, serta lampu navigasi tetap terlihat sebagai penanda visual di malam hari.
2. Nomor 2 merupakan tempat yang digunakan untuk pemasangan panel surya, sebagai sumber energi utama untuk mengisi ulang baterai. Posisi panel surya

dirancang agar dapat menerima cahaya matahari secara maksimal sepanjang hari.

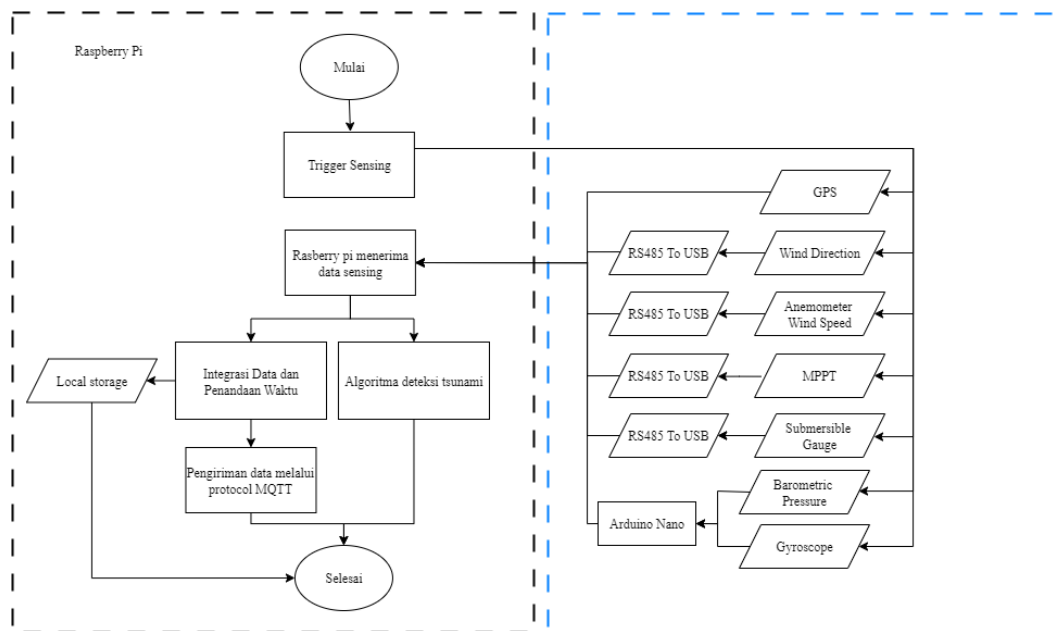
3. Nomor 3 merupakan bagian tengah atau tubuh utama buoy yang berfungsi sebagai ruang penyimpanan baterai dan panel box. Bagian ini dirancang kedap air untuk melindungi komponen elektronik penting seperti *Raspberry Pi*, modul komunikasi, dan rangkaian PCB dari cipratan air laut serta kondisi cuaca ekstrem.
4. Nomor 4 merupakan bagian bawah yang menjadi tempat pemasangan tali jangkar dan sambungan pendulum pemberat. Fungsinya adalah untuk menjaga posisi buoy tetap stabil di permukaan laut dan mengurangi perputaran berlebihan akibat arus atau gelombang.
5. Nomor 5 merupakan pendulum pemberat yang dipasang secara vertikal di bawah buoy. Pendulum ini membantu menurunkan titik gravitasi sistem, sehingga meningkatkan kestabilan buoy terhadap goyangan dan kemiringan yang ditimbulkan oleh gelombang.

Material *fiber glass* yang digunakan memiliki keunggulan tahan karat, ringan, dan mudah dirawat. Permukaan buoy juga dilapisi cat untuk mencegah tumbuhnya lumut atau organisme laut lainnya yang dapat mempengaruhi kinerja serta stabilitas buoy. Dari sisi dimensi dan berat, buoy ini memiliki total berat sekitar 120 kg, yang terdiri dari berat body buoy sekitar 50 kg, pendulum pemberat 43 kg, panel box 5 kg, dan baterai sekitar 22 kg. Dengan tinggi buoy kurang lebih 150 cm ditambah pendulum setinggi 1 meter, konstruksi ini mampu memberikan keseimbangan yang optimal. Selain itu, desain konstruksi buoy mempertimbangkan kemudahan perawatan dengan menyediakan akses bukaan (*hatch*) di bagian atas untuk memudahkan pengecekan atau penggantian perangkat elektronik di dalamnya.

3.4.2.2 Rancangan Alur Kerja Buoy.

Dalam penelitian ini, peneliti merancang sebuah diagram alur (*flowchart*) yang berfungsi sebagai panduan visual dalam memahami mekanisme kerja sistem secara keseluruhan. Diagram ini mempermudah identifikasi hubungan antar komponen, dimulai dari proses pengambilan data oleh sensor, pengolahan data lebih lanjut,

hingga tahap pengiriman data. Selain itu, diagram alur ini juga menggambarkan proses pengiriman hasil olahan data ke server untuk keperluan penyimpanan dan pemantauan secara *real-time*.



Gambar 3. 4 Alur kerja Sistem Buoy.

Alur sistem pada Gambar 3.4 menggambarkan mekanisme kerja perangkat pendeteksi tsunami berbasis *Raspberry Pi*, yang dirancang untuk mengumpulkan, memproses, dan menyimpan data dari berbagai sensor serta perangkat pendukung. Bagian alur kerja yang ditandai dengan warna biru merupakan hasil rancangan dan implementasi yang dikerjakan oleh penulis. Proses diawali dengan tahap inisialisasi pada sistem *Raspberry Pi*, yaitu yang pertama adalah *setup connection*, yang mencakup pengaturan koneksi *Network Time Protocol* (NTP) untuk sinkronisasi waktu, koneksi WiFi untuk komunikasi jaringan, serta konfigurasi alamat dan topik broker MQTT guna pengiriman data.

Setelah *setup connection* berhasil dikonfigurasi, sistem melanjutkan ke tahap kedua yaitu *setup Raspberry Pi*, di mana perangkat utama diatur untuk memulai proses pengumpulan data atau akuisisi data dari berbagai sensor. *Raspberry Pi* berperan sebagai pusat kendali yang terhubung dengan berbagai sensor melalui antarmuka RS485 to USB dan Arduino Nano.

Sensor yang digunakan dalam sistem ini mencakup sensor *submersible gauge GLT500* untuk mengukur ketinggian kolom air, sensor *Wind direction SEN0482* untuk mendeteksi arah angin, dan *wind speed SEN0483* untuk mengukur kecepatan angin. Data dari sensor *wind speed SEN0483* dan *Wind direction SEN0482* memiliki peran penting dalam sistem ini karena digunakan untuk memvalidasi adanya anomali ketinggian kolom air yang mungkin disebabkan oleh tanda-tanda tsunami atau badai angin. Dengan adanya kedua sensor ini, sistem dapat memberikan analisis lebih akurat mengenai kemungkinan kejadian alam yang berpotensi berbahaya, sehingga informasi yang dihasilkan dapat digunakan untuk mitigasi dan peringatan dini terhadap bencana.

Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) yang berfungsi mengoptimalkan efisiensi pengisian daya dari panel surya, sensor satelit navigasi EZ-0048 untuk menentukan posisi geografis buoy, sensor *barometric pressure BMP280* untuk mengukur tekanan udara dan suhu, serta sensor *gyroscope SEN0386* yang digunakan untuk mendeteksi orientasi dan pergerakan perangkat buoy.

Dalam proses akuisisi data, sistem menerapkan interval pengambilan yang berbeda-beda sesuai dengan karakteristik sensor. Data dari sensor *submersible gauge GLT500*, *wind speed SEN0483*, *Wind direction SEN0482*, *gyroscope SEN0386*, *barometric pressure BMP280*, dan satelit navigasi EZ-0048 dikumpulkan dengan interval pengambilan setiap 1 detik, sedangkan data dari MPPT diambil dengan interval 1 menit sekali. Pengambilan data dengan interval 1 detik sekali pada sensor yang digunakan bertujuan untuk memastikan deteksi perubahan kondisi ketinggian kolom air dan cuaca secara *real-time*, sehingga sistem memiliki kemampuan untuk merekam *fluktuasi* nilai secara kontinu dan memungkinkan deteksi dini terhadap perubahan yang bersifat cepat. Sementara interval yang lebih panjang untuk MPPT dilakukan guna mengoptimalkan efisiensi pemantauan daya. Setelah data dikumpulkan, sistem mencatat waktu setiap pengambilan menggunakan *timestamp* dan meneruskannya melalui protokol komunikasi MQTT. Data tersebut kemudian

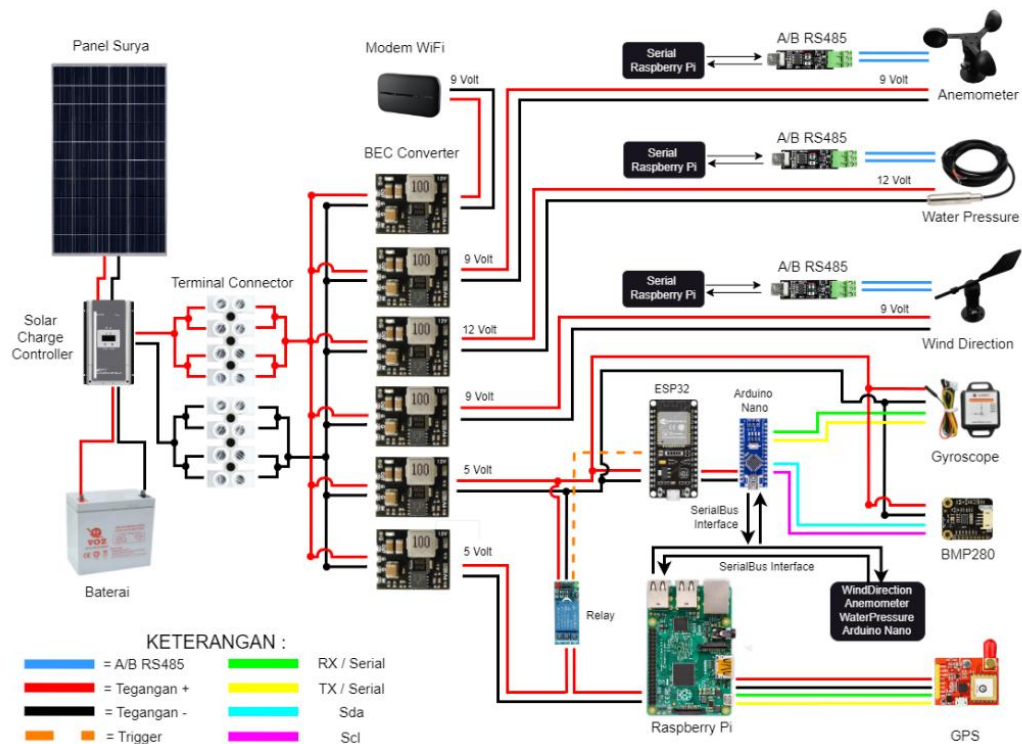
disimpan dalam *database* untuk keperluan analisis lebih lanjut atau penyimpanan jangka panjang.

3.4.2.3 Rancangan Sistem Daya Buoy.

Untuk memastikan perangkat beroperasi secara optimal, diperlukan perancangan sistem daya yang mampu menyediakan pasokan energi sesuai dengan kebutuhan setiap komponen. Pada subbab ini, dibahas mengenai perancangan wiring daya, pemilihan komponen, perhitungan kebutuhan daya, serta pengujian daya guna menghasilkan sistem yang andal dan sesuai dengan spesifikasi perangkat.

A. Rancangan *Wiring* Diagram Daya.

Rancangan *wiring* diagram merupakan representasi skematis dari koneksi listrik pada sistem yang dirancang untuk memastikan distribusi daya berjalan dengan optimal. *Wiring* diagram ini digunakan sebagai panduan dalam penyusunan jalur koneksi antara sumber daya, sensor, mikrokontroler, serta komponen pendukung lainnya. Pada tahap ini, dilakukan perancangan jalur kelistrikan dengan mempertimbangkan kebutuhan tegangan dan arus masing-masing komponen, perlindungan terhadap lonjakan daya, serta efisiensi distribusi energi. *Wiring* diagram yang dibuat juga harus memperhatikan aspek keamanan dan keandalan sistem guna mencegah gangguan atau kerusakan pada perangkat. Oleh karena itu, Peneliti merancang diagram *schematic* alat untuk mempermudah dalam mengintegrasikan semua komponen kedalam suatu papan sirkuit.



Gambar 3. 5 *Wiring Diagram* Daya Buoy.

Seperti yang terlihat pada Gambar 3.5 mengenai rancangan *wiring diagram* daya, dijelaskan bahwa perangkat menggunakan baterai 12 V 80 Ah sebagai sumber daya utama, serta memanfaatkan daya yang dihasilkan oleh modul panel surya 4 x 30 Wp yang akan disimpan ke dalam baterai melalui *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). MPPT berfungsi untuk mengontrol tegangan masuk dan keluar agar sesuai dengan kebutuhan sistem. Setelah daya tersimpan, baterai akan mengalirkannya kembali ke terminal blok, yang selanjutnya menghantarkannya ke DC to DC Converter (*BuckBoost*) untuk menyesuaikan tegangan sesuai dengan kebutuhan masing-masing komponen.

Untuk memperoleh data ketinggian muka air laut secara akurat, perangkat ini dilengkapi dengan sensor *submersible gauge GLT500*. Sensor ini digunakan untuk melakukan pengukuran ketinggian air berdasarkan nilai tekanan air laut, yang merupakan komponen penting dalam mendeteksi potensi terjadinya tsunami. Selain sensor tekanan air, perangkat juga dilengkapi dengan sensor kecepatan angin (*wind speed SEN0483*) dan sensor arah angin (*Wind direction SEN0482*). Kedua sensor

ini berfungsi untuk mengukur kondisi angin di sekitar buoy. Informasi mengenai kecepatan dan arah angin sangat berguna dalam menganalisis penyebab *fluktuasi* permukaan laut, khususnya untuk membedakan apakah kenaikan muka air disebabkan oleh angin kencang seperti badai atau oleh fenomena anomali seperti tsunami. Selanjutnya, untuk melengkapi sistem pemantauan dan meningkatkan akurasi data, digunakan pula beberapa sensor tambahan seperti sensor tekanan udara, *gyroscope SEN0386*, dan satelit navigasi EZ-0048. Sensor tekanan udara digunakan untuk memantau kondisi atmosfer yang dapat memengaruhi permukaan laut. *Gyroscope SEN0386* berfungsi untuk mendeteksi perubahan orientasi atau kemiringan perangkat, sedangkan satelit navigasi EZ-0048 digunakan untuk mencatat posisi geografis buoy secara *real-time* guna memastikan lokasi pengukuran tetap konsisten selama pemantauan.

Selain itu, komunikasi data antara sensor *submersible gauge GLT500*, sensor arah angin (*Wind direction SEN0482*), sensor kecepatan angin (*wind speed*), serta modul MPPT dengan *Raspberry Pi* dilakukan melalui protokol Modbus RS485. Untuk menghubungkan komunikasi antara RS485 dengan *Raspberry Pi*, digunakan konverter RS485 to UART yang kemudian terhubung melalui port USB *Raspberry Pi*. *Raspberry Pi* berperan sebagai unit pemroses utama yang mengolah data hasil pengukuran dari berbagai sensor, yaitu ketinggian kolom air, arah angin, kecepatan angin, satelit navigasi EZ-0048, serta tegangan dan arus dari MPPT. Selain itu, data tekanan udara, dan orientasi pergerakan buoy juga diterima melalui komunikasi serial. Seluruh data hasil *sensing* tersebut kemudian diproses oleh *Raspberry Pi* dan diformat agar sesuai untuk pengiriman ke *server*. Untuk mendukung konektivitas jaringan, digunakan modem *router* yang memungkinkan perangkat terhubung ke internet. Dengan demikian, data hasil pengukuran dapat dikirimkan secara *real-time* ke server dan ditampilkan melalui *Dashboard IoT* menggunakan protokol komunikasi MQTT.

Selain komponen utama tersebut, digunakan juga ESP32 dan relay sebagai langkah preventif untuk menjaga keandalan sistem. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi kondisi di mana *Raspberry Pi* mengalami *stuck* sehingga tidak dapat diakses secara

remote. Cara kerjanya memanfaatkan protokol MQTT, di mana ESP32 terhubung ke broker MQTT dan secara berkala memonitor kondisi sistem. Apabila terdeteksi bahwa *Raspberry Pi* tidak merespons atau membutuhkan *restart*, kita bisa mengirimkan sinyal berupa kode digital (1 atau 0) melalui MQTT Broker untuk memicu relay agar melakukan *switching* secara otomatis. Kondisi awal relay disetting sebagai *Normally Closed* (NC), sehingga perangkat tetap aktif secara default. Namun, ketika *Raspberry Pi* mengalami *stuck* ESP32 akan mengirimkan *trigger* untuk berpindah ke *Normally Open* (NO), relay akan memutus atau mengalihkan aliran daya sementara, sehingga *Raspberry Pi* dapat melakukan *restart* secara otomatis tanpa perlu intervensi manual. Mekanisme ini dirancang untuk meminimalkan kegagalan sistem dan memastikan keberlanjutan pengiriman data ke server secara real-time.

Dengan integrasi desain wiring diagram seperti ini, sistem buoy diharapkan dapat bekerja secara stabil, handal, dan tetap terhubung meskipun terjadi kendala teknis, sehingga mendukung keberhasilan misi pemantauan kondisi laut secara berkelanjutan.

B. Rancangan Kebutuhan Daya.

Dalam penelitian ini penulis membuat rancangan perhitungan daya perangkat deteksi tsunami yang dapat dilihat pada Tabel 3.3 di bawah ini. Perhitungan daya yang dibuat bertujuan untuk mengetahui total daya perangkat dan lama pemakaian baterai. Dengan komposisi komponen pada Gambar 3.4 maka didapatkan perhitungan konsumsi daya dan suplai daya sebagai berikut :

Tabel 3. 2 Estimasi Konsumsi Daya Buoy.

Komponen	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Total Daya (Watt)
Raspberry Pi	5 V	3 A	15 W
<i>Wind direction SEN0482</i>	9 V	0,015 A	0,135 W
<i>Wind speed SEN0483</i>	9 V	0,015 A	0,135 W
<i>Submersible gauge GLT500</i>	12 V	0,02 A	0,24 W
ESP32	5 V	0,5 A	2,5 W

Tenda WiFi	9 V	1 A	9 W
Arduino Nano	5 V	0,5 A	2,5 W
<i>Gyroscope SEN0386</i>	5 V	0,04 A	0,2 W
<i>Barometric pressure BMP280</i>	5 V	0,05 A	0,25 W
Satelit navigasi EZ-0048	5 V	0,1 A	0,5 W
Buck Boost Converter	12 V	1 A	12 W
SCC	31 V	0.01 A	0,31 W
Total			42,77 Watt

Dengan menggunakan rumus daya $P = V \times I$ konsumsi daya buoy dapat dihitung berdasarkan data pada Tabel di atas. Dari perhitungan tersebut, diketahui bahwa buoy mengonsumsi daya sebesar 42,77 Watt selama 1 jam. Maka dengan mengasumsikan bahwa tegangan selama sehari konstan maka total daya yang dibutuhkan oleh perangkat selama satu hari adalah 1026,48 Watt. Perhitungan ini berfungsi untuk mengevaluasi kebutuhan daya perangkat serta menentukan kapasitas sumber energi yang diperlukan agar buoy untuk dapat beroperasi secara optimal tanpa mengalami kekurangan daya.

Untuk memenuhi kebutuhan daya harian sebesar 1026,48 Watt, diperlukan modul surya dan baterai dengan spesifikasi yang sesuai. Baterai yang digunakan adalah VRLA 12V, 80Ah. Spesifikasi tersebut menunjukkan bahwa baterai dapat diisi dan menyuplai daya pada tegangan 12V serta mampu mengalirkan arus sebesar 80 A selama satu jam.

Baterai diatur dengan pengaturan DoD (*Depth of Discharge*) baterai 75%. Tujuan pengaturan DoD ini adalah supaya hanya 75% dari total kapasitas baterai yang boleh digunakan, dengan tujuan menjaga masa pakai baterai tetap panjang dan mencegah kerusakan akibat pengosongan yang terlalu dalam (*over-discharge*). Selain itu, pada sistem ini juga diterapkan *cut-off* tegangan sebesar 11,8V, yaitu batas minimum tegangan baterai sebelum pemakaian dihentikan secara otomatis. *Cut-off* ini bertujuan untuk melindungi baterai agar tidak mengalami *over-discharge* yang dapat menurunkan performa, memperpendek umur pakai, serta

mencegah kerusakan sel baterai secara permanen. Pengaturan DoD ini diatur melalui software EPEver, dengan cara mengatur *cut-off* tegangan pada nilai 11,8V.

Sedangkan untuk panel surya yang akan digunakan adalah jenis *Monocrystalline* sebanyak 4 buah dengan masing masing modul surya memiliki daya sebesar 30 WP. Namun, untuk memahami hubungan antara kapasitas baterai dan kebutuhan beban, perlu dilakukan perhitungan daya yang dapat disuplai oleh baterai menggunakan rumus berikut :

$$\begin{aligned}\text{Energi Batt} &= V \times I \\ &= 12 \text{ V} \times 80 \text{ Ah} \times 0,75 \\ &= 720 \text{ Watt}\end{aligned}\tag{3.1}$$

$$\begin{aligned}\text{Lama Pemakaian Baterai} &= \text{Energi Batt} / \text{Daya Beban} \\ &= 720 \text{ Watt} / 1026,48 \text{ Watt} \\ &= 0,70 \text{ Hari}\end{aligned}\tag{3.2}$$

$$\begin{aligned}\text{Daya Total Panel Surya} &= \text{Daya Panel} \times \text{Efektif Matahari} \\ &= 120 \text{ Wp} \times 5 \text{ Jam} \\ &= 600 \text{ Watt}\end{aligned}\tag{3.3}$$

Dengan asumsi bahwa daya beban yang dibutuhkan perangkat konstan selama 24 jam, maka dengan baterai yang digunakan yaitu 12V 80Ah dan beban 1026,48 Wh perangkat dapat bertahan selama 0,70 hari atau kurang lebih 16,83 jam tanpa *charging* dari modul surya. Panel surya sendiri dirancang memiliki total kapasitas puncak sebesar 120 Wp, sehingga dengan perkiraan durasi penyinaran efektif rata-rata 5 jam per hari, panel surya dapat menghasilkan energi harian sebesar sekitar 600 Wh. Energi yang dihasilkan panel surya ini berfungsi untuk mengisi ulang baterai sekaligus secara langsung menyuplai sebagian kebutuhan daya perangkat selama periode penyinaran matahari. Berdasarkan nilai kebutuhan beban dan kapasitas komponen sumber daya yang telah ditentukan, penulis dapat menetapkan

target capaian keberhasilan dalam perancangan sistem daya sebagaimana ditampilkan pada Tabel berikut ini:

Tabel 3. 3 Target Capaian Rancangan Daya.

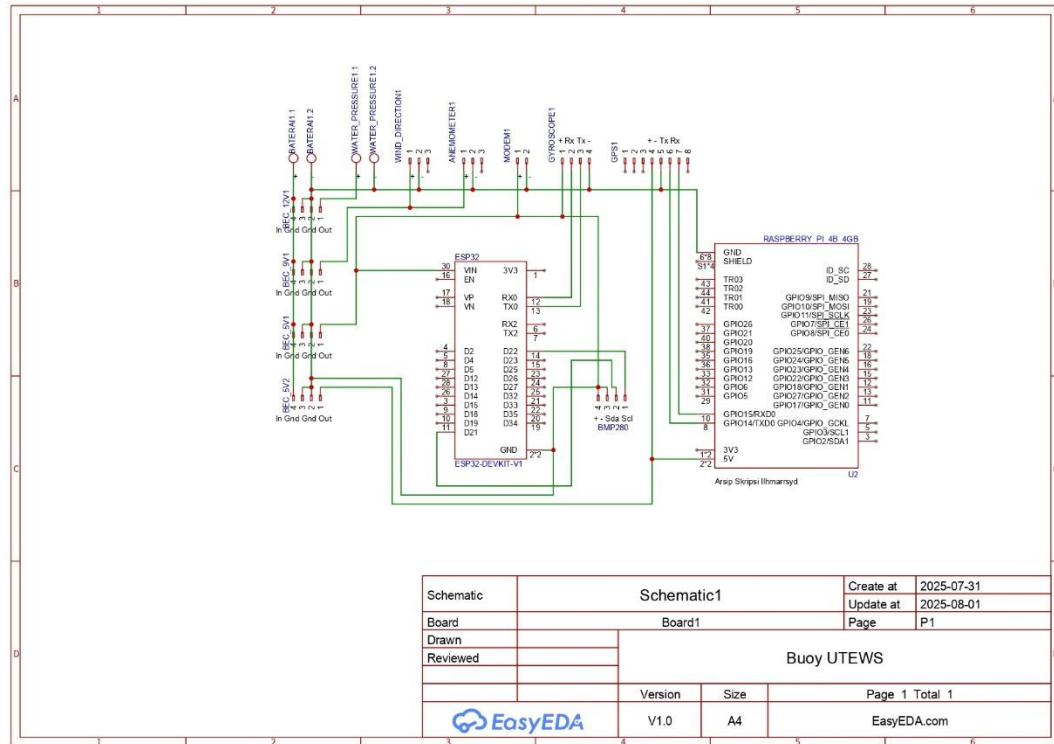
No	Fokus Komponen	Target
1.	Baterai	Dapat menyuplai beban selama 1 hari dengan kondisi tanpa <i>charging</i> dari panel surya
2.	Panel Surya	Daya yang dihasilkan dapat memenuhi kebutuhan konsumsi daya perangkat selama 1 hari.

3.4.2.4 Rancangan Papan Circuit Board.

Perancangan rangkaian *schematic* alat bertujuan untuk mempermudah proses pembuatan rangkaian komponen yang akan digunakan sebelum implementasi komponen sebenarnya pada perangkat. Dalam proses ini, penting untuk memperhatikan aspek integrasi dan kemudahan instalasi. Jika rangkaian tidak dirancang dengan baik sebagai satu papan sirkuit yang terintegrasi, hal tersebut dapat menyulitkan instalasi perangkat, meningkatkan waktu perakitan, dan menyulitkan pengoperasiannya. Selain itu, potensi korosi dan kesalahan koneksi antar perangkat dapat menjadi masalah serius. Untuk mengatasi tantangan tersebut, berikut adalah beberapa strategi yang dapat diterapkan dalam perancangan papan sirkuit:

1. Desain Terpadu, memastikan komponen-komponen utama terintegrasi dengan baik untuk mengurangi jumlah koneksi manual yang diperlukan.
2. *Plug and Play*, menggunakan pendekatan plug and play agar komponen dapat dipasang dan dilepas dengan mudah tanpa memerlukan keahlian teknis khusus.
3. Labeling yang Jelas, memberikan label yang jelas pada setiap komponen dan jalur sirkuit untuk memudahkan identifikasi dan menghindari kesalahan koneksi.
4. Penggunaan bahan PCB Berkualitas Tinggi, menggunakanunakan PCB berkualitas tinggi, seperti jenis FR-4 dengan laminasi yang baik, untuk memberikan perlindungan terhadap kelembaban dan korosi.

Dengan memperhatikan aspek-aspek tersebut, proses instalasi dan pengoperasian perangkat diharapkan menjadi lebih mudah, efisien, dan andal.

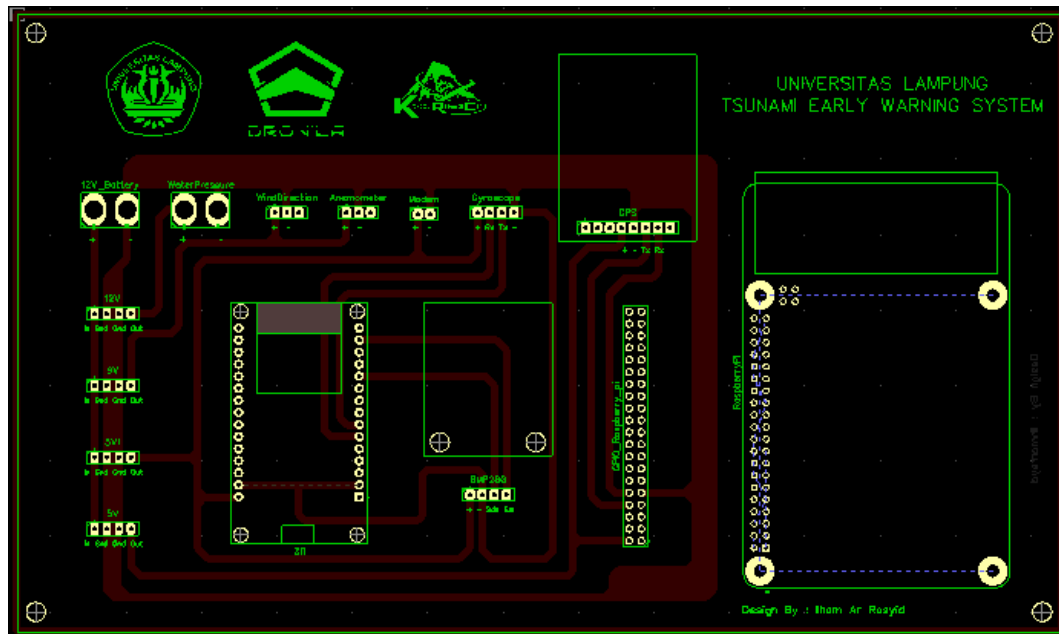


Gambar 3. 6 Skematik Rangkaian Buoy.

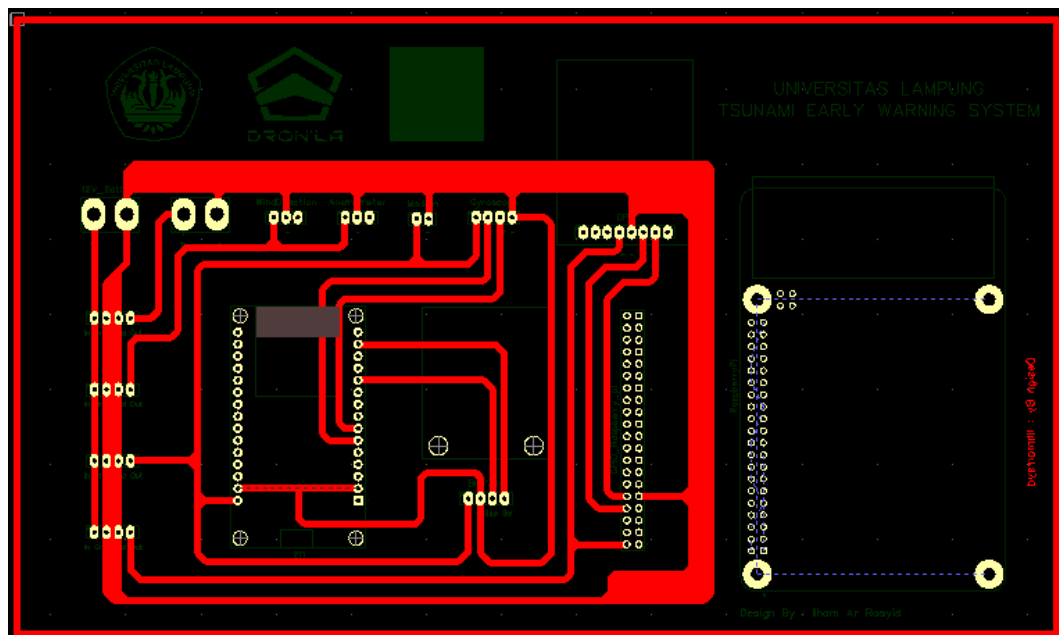
Gambar 3.6 di atas merupakan skematik wiring sistem yang menghubungkan beberapa sensor dan modul dengan mikrokontroler ESP32 serta minikomputer Raspberry Pi 4B. Sistem ini mencakup berbagai sensor seperti *submersible gauge GLT500*, *wind speed SEN0483*, *Wind direction SEN0482*, *gyroscope SEN0386*, *barometric pressure BMP280* dan satelit navigasi EZ-0048, yang terhubung melalui jalur komunikasi serta suplai daya dari berbagai sumber tegangan (12V, 9V, dan 5V).

ESP32 bertindak sebagai pengendali utama untuk beberapa sensor, dengan komunikasi serial dan I2C digunakan untuk pertukaran data. Modul *barometric pressure BMP280* juga terhubung ke ESP32 melalui jalur I2C untuk pengukuran tekanan dan suhu. Sementara itu, *Raspberry Pi 4B* berfungsi sebagai pusat pemrosesan utama yang mengelola komunikasi data dengan perangkat lainnya. Koneksi daya dirancang dengan beberapa regulator tegangan (*Buck Boost Converter*) untuk memastikan setiap komponen menerima suplai listrik yang sesuai. Selain itu, jalur komunikasi serial (*Transmitter/Receiver*) digunakan untuk

pertukaran data antara perangkat, seperti satelit navigasi EZ-0048. Dengan rancangan ini, sistem dapat beroperasi secara efisien dalam mengumpulkan dan mengolah data.



Gambar 3. 7 Tata Letak PCB.



Gambar 3. 8 Layout PCB.

Rancangan papan sirkuit dengan dimensi 220 mm x 120 mm dirancang dengan tujuan utama untuk memudahkan proses produksi perangkat buoy. Dimensi yang telah ditentukan memperlihatkan perhatian terhadap efisiensi dan kemudahan perakitan alat. Rancangan ini masih dalam bentuk *prototype* dengan fokus pada kemudahan pemasangan komponen (*plug and play*), sehingga mempercepat proses perakitan.

3.4.3 Perakitan dan Kalibrasi Perangkat.

Tahap ketiga dalam proses pengembangan sistem pendeteksi dini tsunami adalah perakitan dan kalibrasi perangkat. Tahap ini sangat penting karena memastikan bahwa seluruh komponen perangkat keras telah terpasang dengan benar dan sistem dapat bekerja sesuai dengan fungsinya. Dalam pelaksanaannya, penulis dibantu oleh tim yang tergabung dalam *Unila-Tsunami Early Warning System* (U-TEWS) untuk memastikan perakitan dan kalibrasi berjalan dengan baik serta sesuai dengan standar teknis yang telah ditetapkan.

3.4.4 Uji Kerja Perangkat.

Setelah perangkat selesai dirakit maka selanjutnya adalah tahap uji kerja perangkat skala lab untuk menilai kinerja perangkat yang sudah dirakit sebelum di implementasikan di lapangan. Proses pengujian ini sangat penting karena perangkat harus mampu mendapatkan data yang valid agar data dapat digunakan sebagai data hasil penelitian. Pada pengujian perangkat ini penulis membuat beberapa parameter yang harus tercapai untuk menilai apakah perangkat yang di bangun sudah siap beroperasi di lapangan atau tidak. Hal yang dilakukan meliputi :

3.4.4.1 Uji Fungsionalitas Perangkat.

Setelah melakukan perancangan dan perakitan perangkat maka akan dilakukan uji fungsionalitas. Pada pengujian fungsionalitas ini, fokus utamanya adalah memastikan bahwa perangkat atau sistem beroperasi sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan, serta dapat menjalankan tugas dan fungsinya dengan baik dan tepat dalam kondisi yang diinginkan. Uji fungsionalitas bertujuan untuk memverifikasi bahwa semua komponen sensor bekerja dengan baik, tanpa adanya

gangguan atau kesalahan, sehingga sistem dapat memberikan data yang akurat dan handal. Pada Tabel 3.4 di bawah ini dijelaskan target capaian yang diinginkan, dan indikator keberhasilan dari pengujian fungsionalitas perangkat.

Tabel 3. 4 Target Capaian Uji Fungsionalitas Perangkat.

Fokus Komponen	Target Capaian	Indikator Keberhasilan
Sensor <i>Submersible gauge GLT500</i>	Sensor dapat berkomunikasi dengan <i>Raspberry Pi</i> menggunakan modbus RS485.	Sensor <i>submersible gauge GLT500</i> terintegrasi dengan RS485 dan menampilkan data ketinggian air yang terukur.
Sensor <i>Wind speed SEN0483</i>	Sensor dapat berkomunikasi dengan <i>Raspberry Pi</i> menggunakan modbus RS485	Sensor <i>wind speed SEN0483</i> terintegrasi dengan RS485 dan menampilkan data kecepatan angin.
Sensor <i>Wind direction SEN0482</i>	Sensor dapat berkomunikasi dengan <i>Raspberry Pi</i> menggunakan modbus RS485.	Sensor <i>Wind direction SEN0482</i> terintegrasi dengan RS485 dan menampilkan data arah angin.
<i>Barometric pressure BMP280</i>	Sensor dapat terhubung ke arduino nano dan terintegrasi dengan <i>Raspberry Pi</i> dengan komunikasi serial.	Terdapat data suhu, tekanan, dan <i>altitude</i> di <i>Raspberry Pi</i> .
<i>Gyroscope SEN0386</i>	Sensor dapat terhubung ke arduino nano dan terintegrasi dengan <i>Raspberry Pi</i> dengan komunikasi serial.	Terdapat Data pergerakan atau rotasi buoy terdeteksi dengan benar dan sesuai dengan pergerakan yang teramati.
Satelit navigasi EZ-0048	Sensor dapat terintegrasi dengan <i>Raspberry Pi</i> dengan komunikasi UART.	Data koordinat <i>latitude</i> dan <i>longitude</i> yang terdeteksi sesuai dengan posisi fisik buoy.

3.4.4.2 Uji Sistem Daya Perangkat.

Pengujian sistem daya merupakan tahap penting dalam proses verifikasi untuk memastikan bahwa target perencanaan daya yang telah dihitung sesuai dengan kondisi operasional sebenarnya di lingkungan nyata. Pengujian ini difokuskan pada dua aspek utama, yaitu evaluasi ketahanan baterai dan kinerja panel surya, guna memperoleh data yang akurat terkait performa sistem daya secara keseluruhan. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk menentukan seberapa lama baterai mampu menyuplai daya tanpa pengisian ulang dari panel surya, sehingga dapat diketahui ketahanan sistem daya dalam kondisi minim cahaya matahari atau ketika panel surya tidak berfungsi optimal.

Selain itu, pengujian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas panel surya dalam memenuhi kebutuhan daya perangkat selama periode operasional 24 jam. Dengan demikian, hasil dari pengujian ini dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan strategi pengelolaan daya yang optimal serta memastikan keberlanjutan operasional perangkat dalam jangka panjang.

Berdasarkan perhitungan awal, perangkat buoy diperkirakan mengonsumsi daya sebesar 42,77 Watt / jam. Sehingga, total kebutuhan daya perangkat selama satu hari penuh adalah sebesar 1026,48 Wh. Sistem daya ini dirancang menggunakan satu unit baterai berkapasitas 12V 80 Ah, dengan total energi yang dapat digunakan sebesar 720 Wh dengan *Depth of Discharge* (DoD) sebesar 75%. Sedangkan untuk suplai energi, digunakan empat buah panel surya yang masing masing berkapasitas 30 Wp, sehingga total kapasitas puncak sistem panel surya menjadi 120 Wp. Dengan rata rata 5 jam penyinaran efektif per hari, total energi yang dihasilkan panel surya sebesar 600 Wh / hari. Berdasarkan estimasi ini, target capaian sistem daya dapat dirumuskan secara kuantitatif sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.5. Pada Tabel 3.5 di bawah ini dijelaskan target capaian yang diinginkan, dan indikator keberhasilan dari pengujian sistem daya perangkat.

Tabel 3. 5 Target Capaian Uji Sistem Daya Perangkat.

Fokus Komponen	Target Capaian
Baterai	Dapat menyuplai beban selama 1 hari dengan kondisi tanpa <i>charging</i> dari panel surya
Panel Surya	Daya yang dihasilkan dapat memenuhi kebutuhan konsumsi daya perangkat selama 1 periode penyinaran matahari.

3.4.5 Pemasangan Perangkat.

Setelah perangkat selesai menjalani uji fungsionalitas skala laboratorium, tahap selanjutnya adalah pemasangan perangkat di lokasi yang telah ditentukan, yaitu Kawasan Laut Krakatau, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada pertimbangan strategis, mengingat Pulau Sebesi berada di kawasan yang rawan terhadap potensi bencana tsunami, sehingga pemasangan perangkat di wilayah ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas sistem peringatan dini. Pemasangan perangkat ini dilakukan oleh penulis dibantu oleh tim yang tergabung dalam U-TEWS (*Unila- Tsunami Early Warning System*).

3.4.6 Pengambilan Data.

Tahap keenam adalah pengambilan data, proses akuisisi data dilakukan secara periodik selama 7 hari selama penelitian berlangsung, dengan tetap mempertimbangkan kondisi lingkungan sekitar perangkat agar data yang diperoleh tetap akurat dan reliabel. Data yang terkumpul selanjutnya dianalisis dan divisualisasikan guna mempermudah interpretasi serta memahami pola atau tren yang terjadi selama periode pengambilan data.

3.4.7 Penyusunan Laporan.

Tahap ketujuh adalah penyusunan laporan penelitian yang menyajikan secara sistematis seluruh proses penelitian. Mulai dari studi literatur, perancangan sistem, perakitan perangkat, pengujian, hingga analisis data. Laporan ini berfungsi sebagai dokumentasi hasil penelitian dan juga sebagai sarana untuk menyebarluaskan temuan-temuan yang diperoleh.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.

Berdasarkan hasil penelitian “Pengembangan Perangkat Buoy U-TEWS Pada Laut Dangkal Untuk Sistem Peringatan Dini Tsunami (*Pilot Project* Di Kawasan Laut Krakatau)” maka kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa sistem perangkat pendeteksi tsunami yang telah dirancang dan dibangun dapat berfungsi dengan baik serta mampu menampilkan data ketinggian kolom air, arah dan kecepatan angin, serta data navigasi pada buoy U-TEWS. Namun, data arah angin yang dihasilkan tidak valid karena arah angin yang tercatat mengikuti kondisi orientasi buoy yang tidak tetap.
2. Berdasarkan hasil pengujian sistem daya buoy U-TEWS, dapat disimpulkan bahwa baterai mampu bertahan selama kurang lebih 4 hari atau sekitar 96 jam tanpa *charging*, sedangkan panel surya dapat berfungsi selama 10 jam masa penyinaran dan menghasilkan total daya sebesar 272,31 watt. Panel surya dapat mensuplai perangkat selama 10 jam pada siang hari serta daya *charging* baterai yang dihasilkan sebesar 148,13 watt.
3. Berdasarkan hasil pengujian perangkat, dapat disimpulkan bahwa perancangan *printed circuit board* (PCB) terbukti efektif dalam mendukung kinerja sistem perangkat pendeteksi tsunami secara keseluruhan serta mempermudah proses perakitan dan pemeliharaan.

5.2 Saran.

Berdasarkan hasil penelitian “Pengembangan Perangkat Buoy U-TEWS Pada Laut Dangkal Untuk Sistem Peringatan Dini Tsunami (*Pilot Project* Di Kawasan Laut Krakatau)” maka saran yang dapat diberikan penulis adalah sebagai berikut:

1. Penyempurnaan diperlukan pada papan PCB (*Printed Circuit Board*) yang telah dirancang, antara lain dengan menyatukan seluruh komponen dalam satu papan, termasuk modul *buck-boost* serta konektor untuk sensor *submersible gauge GLT500*, *wind speed*, dan *Wind direction SEN0482*. Selain itu, melakukan penggantian modul *buck-boost* dengan micro BEC juga disarankan guna menghindari terjadinya tegangan lebih (*over voltage*) atau tegangan turun (*under voltage*), serta untuk memudahkan integrasi seluruh komponen ke dalam satu papan PCB.
2. Perlu dipertimbangkan penggunaan modul LoRa atau *Booster* untuk pengiriman data pada perangkat buoy U-TEWS apabila nantinya akan diimplementasikan di perairan Pulau Krakatau, mengingat keterbatasan akses internet di wilayah tersebut. Hal ini disebabkan karena penelitian yang dilakukan saat ini hanya diimplementasikan di sekitar Pulau Sebesi, yang masih memiliki akses internet yang memadai.
3. Disarankan untuk menambahkan sensor kompas digital sebagai penunjang fungsi sensor *Wind direction SEN0482*. Penambahan sensor kompas digital ini bertujuan untuk memvalidasi arah angin yang terdeteksi, sehingga data arah angin yang dihasilkan tetap akurat dan sesuai dengan arah mata angin absolut meskipun buoy mengalami perputaran akibat pengaruh gelombang dan arus laut. Dengan demikian, data yang dikumpulkan dapat digunakan secara lebih valid sebagai dasar analisis kondisi laut di lokasi pengamatan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Gunung Anak Krakatau*. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online Video]. Available: <https://Earth.Google.Com/Web/>
- [2] I. W. I. Saputra, A. Armijon, And R. Fadly, “Analisis Perubahan Topografi Gunung Anak Krakatau Pasca Erupsi Tanggal 22 Desember 2018 Menggunakan Data Foto Udara Dan Demnas,” *Datum: Journal Of Geodesy And Geomatics*, Vol. 1, No. 02, Pp. 43–55, Jan. 2022, Doi: 10.23960/Datum.V1i02.2092.
- [3] R. Natadikara Et Al., “Monitoring Deformation Of Anak Krakatoa Volcano Using Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (Dinsar) Method,” *Machine Learning And Information Processing: Proceedings Of Icmlip 2023*, Vol. 2981, P. 030018, 2023, Doi: 10.1063/5.0181540.
- [4] S. Husrin, A. Annunziato, G. S. Prasetya, And R. Hidayat, “Idsl For Tsunami Early Warning System In Indonesia,” *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*, Vol. 1117, No. 1, P. 012028, Dec. 2022, Doi: 10.1088/1755-1315/1117/1/012028.
- [5] N. R. Prasetiawan Et Al., “Pumma (Perangkat Ukur Murah Untuk Muka Air) Performance For Water Level Monitoring Of Mangrove Ecosystem In Pangandaran,” *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*, Vol. 925, No. 1, P. 012060, Nov. 2021, Doi: 10.1088/1755-1315/925/1/012060.
- [6] M. Irfan, Y. Haryadi, D. Haryanto, And A. Rusdiansyah, “Tinjauan Teknis Penempatan Sistem Mooring Buoy Dan Obu Ina-Tews Di Dasar Laut,” *Oceanika*, Vol. 2, No. 1, Pp. 1–16, Sep. 2021, Doi: 10.29122/Oceanika.V2i1.4952.
- [7] A. F. Akbar, W. Cahyadi, And W. Muldayani, “Prototype Sistem Peringatan Dini Berbasis Iot (Internet Of Things) Untuk Mitigasi Bencana Tsunami Di Pantai Pancer, Puger,” *Jurnal Arus Elektro Indonesia*, Vol. 9, No. 1, P. 11, May 2023, Doi: 10.19184/Jaei.V9i1.30044.
- [8] K. A. Alam, A. Widodo, And J. P. G. N. Rochman, “Rancang Bangun Prototype Instrumen Pendeteksi Dini Tsunami Akibat Gempabumi Dengan

- Memanfaatkan Prinsip Refleksi Gelombang,” *Jurnal Geosaintek*, Vol. 6, No. 1, P. 11, Apr. 2020, Doi: 10.12962/J25023659.V6i1.5644.
- [9] A. Saputro, R. Triarmadja, And H. Priyosulistyo, “Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Tsunami (Studi Kasus Selat Sunda),” Vol. 18, No. 1, 2022, Doi: 10.21831/Inersia.V18i1.
- [10] I. B. M. L. Pradirta, I. N. Piarsa, And I. P. A. Dharmaadi, “Sistem Pendeteksi Banjir Dan Badai Angin Serta Monitoring Cuaca Berbasis Internet Of Things,” *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, Vol. 9, No. 5, Pp. 1037–1046, Oct. 2022, Doi: 10.25126/Jtiik.2022955983.
- [11] Y. Zhang, H. Shang, X. Zhang, And W. Ren, “Development And Sea Test Results Of A Deep-Sea Tsunami Warning Buoy System,” *Marine Technology Society Journal*, Vol. 53, No. 3, Pp. 6–15, May 2019, Doi: 10.4031/Mtsj.53.3.5.
- [12] S. Mitra Utama, “Rancang Bangun Sistem Buoy Menggunakan Sistem Komunikasi Long Range Untuk Pengamatan Wilayah Pesisir,” *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, Vol. 3, No. 1, Pp. 19–25, Jan. 2019, Doi: 10.24198/Jiif.V3i1.20623.
- [13] B. Indarto, “Pengukuran Ketinggian Permukaan Air Sungai Menggunakan Prinsip Tekanan Berbasis Mikrokontroler Atmega328,” *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, Vol. 11, No. 3, P. 120, Oct. 2015, Doi: 10.12962/J24604682.V11i3.1072.
- [14] “Description Technical Specifications Gamicos.” [Online]. Available: Www.Gamicos.Com
- [15] A. Gunadhi, R. Sitepu, Z. Bilal, P. Angka, And L. Agustine, “Perangkat Navigasi Arah Angin, Arah Kapal, Dan Kecepatan Angin Untuk Nelayan Tradisional,” *Jurnal Ampere*, Vol. 4, No. 2, P. 307, Jan. 2020, Doi: 10.31851/Ampere.V4i2.3449.
- [16] M. Fernando, L. Jasa, And R. S. Hartati, “Monitoring System Kecepatan Dan Arah Angin Berbasis Internet Of Things (Iot) Menggunakan Raspberry Pi 3,” *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, Vol. 21, No. 1, P. 135, Jul. 2022, Doi: 10.24843/Mite.2022.V21i01.P18.
- [17] H. Yuliandoko, V. Arief Wardhany, Subono, S. Hadi Pramono, And P. Siwindarto, “Design Of Windstorm Disaster Early Warning System Based On Iot And Hall Effect Sensor In The Critical Area Location,” *Proceedings Of The 4th International Conference On Applied Science And Technology On Engineering Science*, Pp. 1217–1224, 2021, Doi: 10.5220/0010962600003260.

- [18] M. Khaery, A. H. Pratama, P. Wipradnyana, And A. A. N. Gunawan, "Design Of Air Pressure Measuring Devices Using A Barometric pressure BMP280 280 (Bmp280) Sensor Based On Arduino Uno," *Buletin Fisika*, Vol. 21, No. 1, P. 14, Feb. 2020, Doi: 10.24843/Bf.2020.V21.I01.P03.
- [19] A. Laksono And I. G. A. Widagda, "Calibration Of The Bmp280 And Esp-12s Based Wireless Atmospheric Pressure Measure Equipment Using A Pressure Chamber," *Buletin Fisika*, Vol. 23, No. 1, P. 1, Mar. 2021, Doi: 10.24843/Bf.2022.V23.I01.P01.
- [20] N. Sa'adah, A. D. Ramadhani, And D. P. Riananda, "Tracking Position On Gps Smart Buoy System Using Lora Communication," In *2023 6th International Conference On Vocational Education And Electrical Engineering: Integrating Scalable Digital Connectivity, Intelligence Systems, And Green Technology For Education And Sustainable Community Development, Icvee 2023 - Proceeding*, Institute Of Electrical And Electronics Engineers Inc., 2023, Pp. 304–309. Doi: 10.1109/Icvee59738.2023.10348269.
- [21] P. Budianto And W. Andhyka Kusuma, "Monitoring Jatuh Dengan Menggunakan Sensor Accelerometer Dan Gyroscope SEN0386," *Repositor*, Vol. 3, No. 1, Pp. 51–64, 2021, Doi: <https://doi.org/10.22219/Repositor.V3i1.31010>.
- [22] T. Tosin, "Perancangan Dan Implementasi Komunikasi Rs-485 Menggunakan Protokol Modbus Rtu Dan Modbus Tcp Pada Sistem Pick-By-Light," *Komputika : Jurnal Sistem Komputer*, Vol. 10, No. 1, Pp. 85–91, Mar. 2021, Doi: 10.34010/Komputika.V10i1.3557.
- [23] A. T. Prakasa, Liyantonno, And S. Widodo, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Dan Stasiun Cuaca Berbasis Sensor Industrial Dengan Protokol Modbus Rs485," *Jurnal Keteknikan Pertanian*, Vol. 13, No. 1, Pp. 98–114, Feb. 2025, Doi: 10.19028/Jtep.013.1.98-114.
- [24] Y. Cheng-Ying And C. Yong, "Research On Multi-Master Communication System Based On Rs485 Bus," *Journal Of Physics: Conference Series*, Vol. 1237, No. 4, P. 042078, Jun. 2019, Doi: 10.1088/1742-6596/1237/4/042078.
- [25] M. Saiqul Umam, S. Adi Wibowo, And Y. Agus Pranoto, "Implementasi Protokol Mqtt Pada Aplikasi Smart Garden Berbasis Iot (Internet Of Things)," *Jati (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, Vol. 7, No. 1, Pp. 899–906, Jun. 2023, Doi: 10.36040/Jati.V7i1.6131.
- [26] I. B. I. Purnama, I. W. Raka Ardana, I. G. Made Putra Suardana, I. D. Gede Dodi Pranata, And I. G. Alit Wiraguna Jaya, "Prototipe Sistem Parkir Berbasis Internet Of Things Dengan Live Dabsboard Mqtt Server,"

- Techno.Com, Vol. 21, No. 3, Pp. 621–632, Aug. 2022, Doi: 10.33633/Tc.V21i3.6355.
- [27] J. W. Jolles, “Broad-Scale Applications Of The Raspberry Pi: A Review And Guide For Biologists,” Sep. 01, 2021, *British Ecological Society*. Doi: 10.1111/2041-210x.13652.
- [28] L. F. Ichsari et al., “Studi Komparasi Hasil Pengolahan Pasang Surut Dengan 3 Metode (Admiralty, Least Square Dan Fast Fourier Transform) Di Pelabuhan Malahayati, Banda Aceh,” *Indonesian Journal of Oceanography*, vol. 2, no. 2, pp. 121–128, Jun. 2020, doi: 10.14710/ijoce.v2i2.7985.