

**SISTEM MONITORING DAN DETEKSI TSUNAMI PUMMA U-TEWS
BERBASIS TEKANAN AIR LAUT DAN IKLIM MIKRO (*PILOT
PROJECT* DI PERAIRAN PULAU SEBESI)**

(Skripsi)

Oleh

RIDHO TEGAR PRADANA

NPM.2115031053



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

**SISTEM MONITORING DAN DETEKSI TSUNAMI PUMMA U-TEWS
BERBASIS TEKANAN AIR LAUT DAN IKLIM MIKRO (*PILOT
PROJECT* DI PERAIRAN PULAU SEBESI)**

Oleh

RIDHO TEGAR PRADANA

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**

ABSTRAK

SISTEM MONITORING DAN DETEKSI TSUNAMI PUMMA U-TEWS BERBASIS TEKANAN AIR LAUT DAN IKLIM MIKRO (*PILOT PROJECT* DI PERAIRAN PULAU SEBESI)

Oleh

RIDHO TEGAR PRADANA

Letusan Gunung Anak Krakatau pada 22 Desember 2018 membangkitkan tsunami yang menerjang pantai di sekitar Pandeglang, Serang dan Lampung Selatan. Karena kejadian tersebut BNPB mengumumkan untuk membangun infrastruktur peringatan dini tsunami di Selat Sunda. IDSL dan PUMMA telah dibangun untuk peringatan dini tsunami menggunakan sensor *ultrasonic* dalam mengukur ketinggian air laut. Kelemahan perangkat yang menggunakan sensor *ultrasonic* adalah *membrane* sensor yang berkerak akibat efek penggaraman air laut yang mengakibatkan tidak akurat dalam pengukuran. Maka dikembangkan sistem monitoring deteksi tsunami PUMMA U-TEWS berbasis tekanan air laut dan iklim mikro. PUMMA U-TEWS yang dikembangkan dalam penelitian ini menggunakan sensor *submersible gauge* untuk mengukur ketinggian kolom air laut dan terdapat algoritma model deteksi tsunami yang dapat membedakan dan mendeteksi tanda – tanda tsunami atau *anomaly* dari pola pasang surut menggunakan kalman filter. Model deteksi dini tsunami yang dikembangkan harus dapat membedakan *anomaly* akibat tsunami atau *anomaly* yang diakibatkan meteorologi. PUMMA U-TEWS yang dikembangkan dalam penelitian ini sensor *submersible gauge* dalam mengukur ketinggian kolom air laut memiliki RMSE 0,0273 serta model deteksi tsunami yang dikembangkan dapat mendeteksi dini tsunami serta mengirimkan peringatan ke telegram chat jika terdeteksi tsunami. Ketahanan baterai pada perangkat PUMMA U-TEWS selama pengujian adalah 91,3 jam dan *output* daya panel surya dalam satu periode penyinaran matahari sebesar 757,8 Wh. Pengiriman data dari perangkat ke server didapatkan parameter QOS (*quality of service*) untuk nilai *throughput* sebesar 34,418 Kb/s, *packet loss* sebesar 0%, *latency* rata – rata sebesar 53,57 *milliseconds* dan *jitter* rata – rata sebesar 42,66 *milliseconds*

Kata Kunci: Gunung Anak Krakatau, Tsunami *Early Warning System*, *Internet of Things* (IoT), Tekanan Air Laut

ABSTRACT

PUMMA U-TEWS TSUNAMI MONITORING AND DETECTION SYSTEM BASED ON SEA WATER PRESSURE AND MICROCLIMATE (PILOT PROJECT IN SEBESI ISLAND WATERS)

By

RIDHO TEGAR PRADANA

The eruption of Mount Anak Krakatau on December 22, 2018 generated a tsunami that hit the coast around Pandeglang, Serang and South Lampung. Because of this event, BNPB announced to build tsunami early warning infrastructure in the Sunda Strait. IDSL and PUMMA have been built for tsunami early warning using ultrasonic sensors to measure the sea water level. The weakness of devices that use ultrasonic sensors is that the sensor membrane is crusty due to the effects of seawater salting which results in inaccurate measurements. Therefore, a tsunami detection monitoring system PUMMA U-TEWS based on sea water pressure and microclimate was developed. The PUMMA U-TEWS developed in this research uses a submersible gauge sensor to measure sea water level and a tsunami detection model algorithm that can distinguish and detect tsunami signs or anomalies from tidal patterns use kalman filter. The tsunami early detection model developed must be able to distinguish anomalies caused by tsunamis or anomalies caused by meteorology. The PUMMA U-TEWS developed in this research has a submersible gauge sensor in measuring sea water level with an RMSE of 0.0273 and the tsunami detection model developed can detect early tsunamis and send alerts to telegram chat if a tsunami is detected. The battery life of the PUMMA U-TEWS device during the test is 91.3 hours and the power output of the solar panel in one period of sunlight is 757.8 Wh. Data transmission from the device to the server obtained QOS (quality of service) parameters for throughput value of 34.418 Kb/s, packet loss of 0%, average latency of 53.57 milliseconds and average jitter of 42.66 milliseconds.

Keywords: Mount Anak Krakatau, Tsunami Early Warning System, Internet of Things (IoT), Sea Water Pressure

Judul Skripsi

**SISTEM MONITORING DAN DETEKSI
TSUNAMI PUMMA U-TEWS BERBASIS
TEKANAN AIR LAUT DAN IKLIM
MIKRO (PILOT PROJECT DI PERAIRAN
PULAU SEBESI)**

Nama Mahasiswa

Ridho Tegar Pradana

Nomor Pokok Mahasiswa

2115031053

Program Studi

Teknik Elektro

Fakultas

Teknik



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

Ketua Program Studi

Teknik Elektro

Herlinawati, S.T., M.T.

NIP. 19710314 199903 2 001

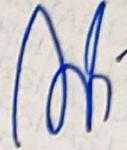
Sumadi, S.T., M.T.

NIP. 19731104 200003 1 001

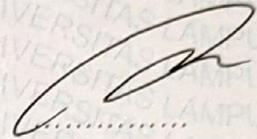
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



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



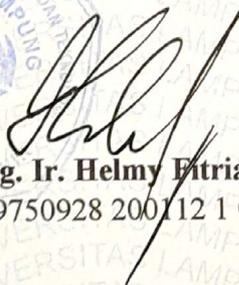
Penguji : **Ing. Melvi, S.T., M.T., Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Teknik

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

NIP. 19750928 200112 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **18 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, 22 Agustus 2025



Ridho Tegar Pradana
NPM 2115031053

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Punggur pada tanggal 25 Oktober 2002, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara, dari Bapak Warsit dan Ibu Widiati.

Pendidikan Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SDN 1 Bumi Dipasena Sentosa pada tahun 2015, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 1 Rawajitu Timur diselesaikan pada tahun 2018, dan Sekolah Menengah Kejuruan di SMK Negeri 3 Metro diselesaikan pada tahun 2021.

Tahun 2021, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi bagian dari Asisten Laboratorium Telekomunikasi dengan memberikan pembimbingan dalam mata kuliah praktikum Dasar Jaringan Telekomunikasi dan Sistem Komunikasi. Penulis juga aktif mengikuti Organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (Himatro) Universitas Lampung sebagai anggota Departemen Sosial Dan Kewirausahaan tahun 2022 hingga 2023 dan sebagai Kepala Divisi Kewirausahaan tahun 2023 hingga 2024. 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 di Desa Bumi Dipasena Agung, Studi Independen Kampus Merdeka, riset dosen Stasiun Klimatologi Mikro Berbasis IoT dan Fotogrametri *Drone* Untuk Konservasi Hutan Mangrove Petengoran: Model Pembelajaran *Case Methods* BKP-MBKM dan IKON (*Integrated Krakatau Observation Network*).

PERSEMBAHAN



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

Kepada Bapak dan Ibu

Atas semua rasa kepercayaan, pengorbanan, dukungan doa selama ini
kepada Ridho sehingga Ridho selalu kuat dan selalu dalam lindungan
Allah SWT selama menempuh perkuliahan.

Kepada Dosen Pembimbing, Dosen Penguji, dan Tim PUMMA

Atas semua dukungan, semangat, motivasi, dan ilmu yang diberikan

Kepada Keluarga Excalto 2021

Terima kasih atas kekeluargaan, do'a, serta dukungan yang selalu
mengiringi hingga merasa lebih baik dari hari ke hari

MOTTO HIDUP

“Berbuat kesalahan sekali itu normal, asal jangan mengulangi kesalahan yang sama terus menerus”

(Ernest Prakarsa)

“saat semua tak jelas arahnya, kita hanya punya bersama, lewati curam terjalnya dunia”

(Hindia)

“Tanggung jawablah dengan pilihan yang sudah kamu pilih “

(Ibu Tersayang)

“Terbentur, Terbentur, Terbentuk”

(Tan Malaka)

SANWACANA

Alhamdulillah rabbil'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 "Sistem Monitoring Dan Deteksi Tsunami PUMMA U-TEWS Berbasis Tekanan Air Laut Dan Iklim Mikro (Pilot Project di Perairan Pulau Sebesi)" 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 Warsit dan Ibuku Widiati. 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 dan Ibuku

2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Bapak Noer Soedjarwanto, IR, MT, selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan arahan dan dukungan kepada penulis.
6. Bapak Sumadi, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro Universitas Lampung.
7. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
8. Segenap dosen di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama menempuh pendidikan di perkuliahan.
9. 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.
10. 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.
11. Seluruh teman-teman Telekomunikasi dan Teknologi Informasi 2021 yang telah memberikan dukungan, semangat dan motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
12. Saya ingin mengucapkan terima kasih kepada diri saya sendiri Ridho Tegar Pradana. 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

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, 22 Agustus 2025

Ridho Tegar Pradana

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Batasan Masalah.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	6
1.6. Sistematika Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1. Penelitian Sebelumnya	8
2.2. Model Deteksi Tsunami	10
2.3. Sistem Komunikasi Sensor Tekanan Air <i>Submersible Gauge</i> , Kecepatan dan Arah Angin	12
2.4. Protokol pada Sistem Transmisi Data PUMMA U-TEWS	12
2.5. Pengukuran Karakteristik Unjuk Kerja Sistem Transmisi Data	13
2.6. Akuisisi Data Arah dan Kecepatan Angin.....	13
2.7. Akuisisi Data Tekanan Air	15
2.8. <i>Controler</i> Perangkat	16
2.9. <i>Device Programing</i>	17
2.10. Pengukuran Karakteristik Catu Daya Sistem	17
2.11. Pengukuran Keakuratan Sensor <i>Submersible Gauge</i>	18
2.12. Pengukuran Parameter QOS (<i>Quality of Service</i>)	18
2.13. Parameter Pasang Surut Air Laut	19
2.14. Pengukuran Ketinggian Kolom Air Laut	20
BAB III METODE PENELITIAN	22
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	22

3.2. Perangkat Penelitian	22
3.3. Captone Project	24
3.4. Tahapan Penelitian	25
3.4.1 Studi Literatur dan Bimbingan	26
3.4.2 Perancangan Sistem	27
3.4.2.1 Rancangan <i>Wiring</i> Perangkat Pendeteksi Tsunami.....	27
3.4.2.2 Rancangan Algoritma Model Deteksi Tsunami.....	29
3.4.2.3 Rancangan Alur Kerja Perangkat.....	31
3.4.2.4 Rancangan Perhitungan Daya Perangkat	35
3.4.3 Perakitan dan Kalibrasi Perangkat.....	36
3.4.3.1 Konfigurasi Komunikasi Modbus RTU.....	36
3.4.3.2 Konfigurasi Komunikasi Kamera	38
3.4.3.3 Konfigurasi Pesan <i>Alert</i> ke Telegram	39
3.4.4 Uji Kerja Perangkat	41
3.4.4.1 Uji Komunikasi Data.....	42
3.4.4.2 Uji Sistem Daya Perangkat	43
3.4.4.3 Uji Kerja Algoritma Deteksi Tsunami di Kolam Renang UNILA	43
3.4.5 Pemasangan Perangkat	44
3.4.6 Akuisisi dan Analisa Data.....	44
3.4.7 Penyusunan Laporan.....	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1. Realisasi Perangkat PUMMA U-TEWS	45
4.1.1 Realisasi Pemasangan Perangkat	45
4.1.2 Realisasi <i>Wiring</i> Perangkat.....	47
4.1.3 Realisasi Alur Kerja Perangkat.....	51
4.1.3.1 Realisasi Alur Kerja Perangkat Berbasis Node-red	51
4.1.3.2 Realisasi Alur Kerja Perangkat Berbasis Python	54
4.1.3.3 Kesimpulan Realisasi Alur Kerja Perangkat.....	56
4.1.4 Realisasi Algoritma Model Deteksi Tsunami.....	57
4.2. Hasil Uji Kinerja Perangkat.....	59
4.2.1 Hasil Uji Komunikasi Data.....	60
4.2.1.1 Sensor Submersible Gauge	60
4.2.1.2 <i>Anemometer</i> dan <i>Wind Direction</i> Sensor	64
4.2.1.3 Kamera	67
4.2.1.4 IoT (<i>Internet of Things</i>).....	69
4.2.2 Hasil Uji Sistem Daya Perangkat.....	75

4.2.2.1 Pengujian ketahanan baterai.....	75
4.2.2.2 Pengujian Panel Surya.....	79
4.2.3 Pengujian Algoritma Model Deteksi Tsunami	82
4.3. Visualisasi Data Sensor	86
BAB V PENUTUP	89
5.1. Kesimpulan.....	89
5.2. Saran.....	89
DAFTAR PUSTAKA	91
LAMPIRAN.....	1

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 1.1 Lokasi Gunung Anak Krakatau [3]	1
Gambar 1.2 Letusan Aktif Gunung Anak Krakatau [3]	2
Gambar 1.3 Sensor <i>Ultrasonic</i> Berkerak	3
Gambar 1.4 Alat Akuisisi Data Air Laut di Dermaga Sebesi	3
Gambar 2.1 Proses Komunikasi Modbus RTU [17]	12
Gambar 2.2 Sensor <i>Wind Direction</i> [21].....	14
Gambar 2.3 Anemometer Wind Speed Sensor [21].....	14
Gambar 2.4 <i>Submersible Gauge</i>	16
Gambar 2.5 Peletakan Sensor Untuk Mengukur Tinggi Air Laut	21
Gambar 3.1 Capstone Project U-TEWS.....	24
Gambar 3.2 Blok Diagram Penelitian	26
Gambar 3.3 Rancangan <i>Schematic</i> Perangkat.....	28
Gambar 3.4 <i>Flow-Chart</i> Algoritma Deteksi Tsunami	30
Gambar 3.5 <i>Flow</i> Alur Kerja Perangkat Berbasis Node-red.....	32
Gambar 3.6 Rancangan Alur Kerja Perangkat Berbasis Python.....	34
Gambar 3.7 Hasil Scan IP Kamera	39
Gambar 3.8 Pembuatan Bot Telegram	40
Gambar 4.1 Implementasi Perangkat di Perairan Pulau Sebesi	46
Gambar 4.2 Realisasi <i>Wiring</i> Sistem Control Perangkat	48
Gambar 4.3 Realisasi <i>Wiring</i> Sistem Catu Daya Perangkat	49
Gambar 4.4 <i>As Built As Diagram</i> PUMMA U-TEWS	50
Gambar 4.5 Tampilan Sistem <i>Node-red</i>	52
Gambar 4.6 Analisis Penggunaan Sumber Daya Raspberrypi Berbasis Node-red.....	53
Gambar 4.7 Struktur <i>Script Python</i>	54
Gambar 4.8 Tampilan Analisis Penggunaan Sumber Daya Alur Kerja Berbasis Python	56
Gambar 4.9 Logika Perhitungan <i>Alert Level</i>	57
Gambar 4.10 Hasil Eksekusi Algoritma Model Deteksi Tsunami.....	58
Gambar 4.11 <i>Output</i> Program <i>Main.py</i>	58
Gambar 4.12 Pesan Alert yang Dikirim.....	59
Gambar 4.13 Hasil <i>Sensing Sensor Submersibel Gauge</i>	61
Gambar 4.14 Kalibrasi Sensor <i>Submersible Gauge</i>	61
Gambar 4.15 Tampilan Data <i>Logger</i> Sensor <i>Submersible Gauge</i>	63
Gambar 4.16 Isi Data <i>Logger</i> Sensor <i>Submersible Gauge</i>	64
Gambar 4.17 Hasil <i>Sensing</i> Kecepatan Angin	65

Gambar 4.18 Data <i>Sensing</i> Arah Angin.....	65
Gambar 4.19 Hasil <i>Monitoring</i> MQTT.....	66
Gambar 4. 20 Data <i>Logger</i> Kecepatan dan Arah Angin	66
Gambar 4.21 <i>Ouput</i> Program <i>Capture.py</i>	67
Gambar 4.22 Hasil <i>Monitoring</i> Gambar yang Dikirim.....	68
Gambar 4. 23 Hasil Tangkapan Gambar Oleh Kamera	68
Gambar 4.24 Tampilan Monitoring Data PUMMA U-TEWS di MQTT <i>Explorer</i>	70
Gambar 4.25 Tampilan Dashboard Monitoring PUMMA U-TEWS.....	71
Gambar 4.26 <i>Capturing</i> Pengiriman Data dari Perangkat ke Server.....	71
Gambar 4.27 File Hasil <i>Capturing</i> Pengiriman Data.....	72
Gambar 4.28 Detail Jumlah Paket Hasil <i>Capturing</i>	73
Gambar 4. 29 Hasil Perhitungan Statiska Deskriptif Otomatis.....	74
Gambar 4.30 Grafik <i>Latency</i> Selama Lima Menit	74
Gambar 4.31 Grafik Pengukuran <i>Jitter</i> Selama Lima Menit	75
Gambar 4.32 Hasil Cek Kesehatan Baterai.....	76
Gambar 4.33 Grafik Konsumsi Daya Perangkat Saat Pengujian Sistem Daya.....	77
Gambar 4.34 Grafik Tegangan Baterai Saat Pengujian Ketahanan Baterai.....	78
Gambar 4.35 Grafik Rata - Rata Radiasi Matahari di Dermaga Pulau Sebesi.....	79
Gambar 4.36 Grafik <i>Ouput</i> Daya Panel Surya.....	80
Gambar 4.37 Grafik Pengujian Kinerja Algoritma Deteksi Tsunami di Kolam Renang Universitas Lampung.....	83
Gambar 4.38 Grafik Pengujian Model Algoritma Deteksi Tsunami di Perairan Pulau Sebesi	84
Gambar 4.39 Hasil Pengiriman Pesan Alert ke Grup Telegram	85
Gambar 4.40 Visualisasi Data Sensor <i>Submersible Gauge</i> Selama 14 Hari.....	86
Gambar 4. 41 Grafik Pembacaan <i>Submersible Gauge</i> Pada Buoy U-TEWS	87
Gambar 4. 42 Visualisasi Data Sensor <i>Anemometer</i> Selama 14 Hari.....	87

DAFTAR TABEL

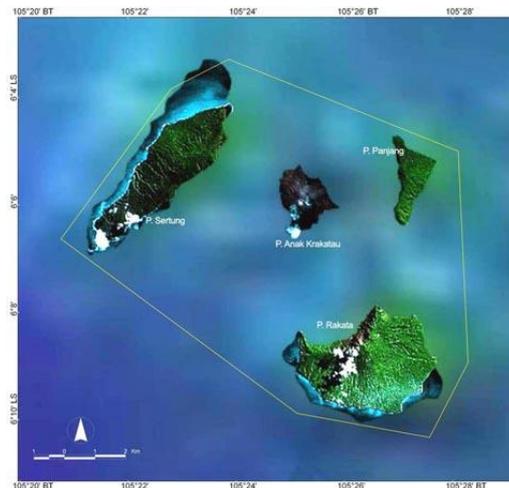
	Halaman
Tabel 3.3 Perhitungan Daya Perangkat.....	35
Tabel 3.4 Tabel Uji Komunikasi Data Perangkat	42
Tabel 3.5 Uji Sistem Daya Perangkat	43
Tabel 3.6 Uji Algoritma Deteksi Tsunami Skala Laboratorium	43
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Sensor Submersibel Gauge.....	60
Tabel 4.2 Hasil Kalibrasi Sensor <i>Submersible Gauge</i>	62
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Standar Deviasi.....	63
Tabel 4.4 Pengujian Komunikasi Data Sensor <i>Anemometer & Wind Direction</i> ...	64
Tabel 4.5 Pengujian Komunikasi Kamera	67
Tabel 4.6 Pengujian Komunikasi IoT	69
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Ketahanan Baterai.....	78
Tabel 4.8 Rekapitulasi Daya Panel Surya	80
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Panel Surya	81
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Algoritma Model Deteksi Tsunami	82

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada kawasan *ring of fire* di Asia-Pasifik [1]. Hal ini mengakibatkan Indonesia memiliki banyak gunung berapi yang aktif. Indonesia memiliki 129 gunung aktif atau sekitar 13% dari total gunung api aktif di dunia [2]. Gunung Anak Krakatau merupakan salah satu gunung api aktif di Indonesia terletak di Selat Sunda. Pada gambar 1.1 merupakan lokasi spesifik Gunung Anak Krakatau diantara Pulau Sertung, Pulau Panjang, dan Pulau Rakata yang biasa dikenal dengan Kompleks Gunung Anak Krakatau.



Gambar 1.1 Lokasi Gunung Anak Krakatau [3]

Gunung Anak Krakatau pada awal desember 2018 menunjukkan aktifitas erupsi. Letusan Gunung Anak Krakatau membangkitkan tsunami yang dapat dilihat pada gambar 1.2. Akibat dari kejadian tersebut membangkitkan tsunami pada tanggal 22 Desember 2018 pukul 21:30 WIB yang menerjang pantai di sekitar Pandeglang,

Serang dan Lampung Selatan [4]. Peristiwa ini menyebabkan kematian 437 jiwa, 16 jiwa dinyatakan hilang, lebih dari 14.000 jiwa mengalami luka – luka, serta rumah rusak sebanyak 2752 unit[5]. Penduduk di sekitar wilayah terdampak tidak menerima peringatan jika akan terjadi tsunami akibat peristiwa erupsi Gunung Anak Krakatau.



Gambar 1.2 Letusan Aktif Gunung Anak Krakatau [3]

Berdasarkan peristiwa erupsi Gunung Anak Krakatau pada 28 Desember 2018 BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana) mengumumkan untuk membangun infrastruktur peringatan dini tsunami di Selat Sunda. IDSL (*Inexpensive Device for Sea Level Measurement*) atau PUMMA (Perangkat Ukur Murah Muka Air laut) yang dikembangkan oleh JRC-EC (*Joint Reserach Centre – The European Commission*) dan peneliti dari KRC (*Krakatau Research Center*) telah mengembangkan sistem peringatan dini tsunami berbasis IoT (*Internet of Things*) menggunakan *sensor ultrasonic* untuk mengukur ketinggian muka air laut [4], [5], [6]. Namun pada perangkat yang dikembangkan ditemukan beberapa kelemahan pada sensor yang digunakan dalam pengukuran seperti *membrane sensor ultrasonic* yang berkarat akibat efek penggraman oleh air laut yang dapat menyebabkan tidak akuratnya hasil pengukuran muka air laut. Selain itu, karena prinsip kerja *sensor ultrasonic* adalah dengan menembakkan gelombang *ultrasonic* ke permukaan laut maka ini dapat memungkinkan terdapat *noise* pada saat pengukuran [7]. *Sensor ultrasonic* yang mengalami efek penggraman dapat dilihat pada gambar 1.3.



Gambar 1.3 Sensor *Ultrasonic* Berkerak
[Sumber : Dokumentasi Pribadi]

Pulau Sebesi terletak di Selat Sunda yang secara administratif terletak pada Desa Tejang, Kecamatan Rajabasa, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung merupakan lokasi yang strategis untuk mengimplementasikan perangkat deteksi tsunami berbasis sensor tekanan air jenis *submersible gauge* [8]. Keberadaan dermaga di Pulau Sebesi dengan kedalaman air yang cukup memungkinkan penempatan sensor tekanan air jenis *submersible gauge* secara optimal. Selain itu, di Dermaga Pulau Sebesi sebagian besar baru terpasang alat untuk mengukur ketinggian air laut maka terdapat kekurangan alat pengukur kecepatan dan arah angin dan bisa dilihat pada gambar 1.4 yang memperlihatkan alat untuk mengukur ketinggian muka air laut saja. Hal ini menjadi motivasi tambahan untuk mengintegrasikan sensor kecepatan dan arah angin ke dalam alat pendeteksi dini tsunami [9]. Dengan demikian, dapat diperoleh data yang lebih komprehensif mengenai kondisi lingkungan sekitar dan meningkatkan akurasi dalam deteksi tanda-tanda awal terjadinya tsunami.



Gambar 1.4 Alat Akuisisi Data Air Laut di Dermaga Sebesi
[Sumber : Dokumentasi Pribadi]

Berdasarkan permasalahan pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya tentang perangkat peringatan dini tsunami dengan sensor *ultrasonic* untuk mengukur ketinggian air laut maka solusi pada penelitian yang akan dilakukan adalah membangun perangkat pengukuran ketinggian kolom air laut dengan sensor tekanan air jenis *submersible gauge* untuk mengatasi permasalahan sensor *ultrasonic*. Kemudian menambahkan sensor *wind speed* dan *wind direction* untuk mengukur kecepatan dan arah angin sebagai komponen pendukung dalam membedakan apakah *anomaly* ketinggian air laut disebabkan oleh tanda-tanda tsunami atau karena badai. Oleh karena itu, fokus pada penelitian ini adalah rancang bangun sistem, pengambilan data, dan pengiriman data ke server dengan protokol MQTT agar data dapat dimonitoring secara *real-time* dan dapat memberikan peringatan apabila terdeteksi akan terjadi tsunami.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengakuisisi data ketinggian kolom air laut yang diukur dengan menggunakan sensor tekanan air jenis *submersible gauge*, serta data kecepatan dan arah angin di Perairan Pulau Sebesi?
2. Bagaimana mendapatkan karakteristik unjuk kerja yang optimal pada sistem catu daya yang berkaitan dengan fungsional dari perangkat monitoring ketinggian air laut, kecepatan dan arah angin terhadap kondisi ketinggian kolom air laut ?
3. Bagaimana mendapatkan karakteristik unjuk kerja yang optimal pada transmisi data dari perangkat ke VPS (*Virtual Private Server*) di *cloud internet*?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Membuat perangkat yang dapat mengukur ketinggian kolom air laut dengan menggunakan sensor tekanan air jenis *submersible gauge* dan mengintegrasikannya dengan perangkat stasiun iklim *mikro*.
2. Mendapatkan karakteristik unjuk kerja yang optimal pada sistem catu daya yang berkaitan dengan fungsional perangkat *monitoring* ketinggian air laut, stasiun iklim *mikro*.
3. Mendapatkan karakteristik unjuk kerja yang optimal pada sistem transmisi data dalam mengirimkan data ke VPS (*Virtual Private Server*)

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Akuisisi data ketinggian kolom air laut menggunakan sensor tekanan air jenis *submersible gauge* yang ditempatkan pada kedalaman 0 sampai 10 meter.
2. Data yang diakuisisi dari perangkat stasiun iklim *mikro* yang telah ada hanya berfokus pada data kecepatan dan arah angin serta tidak mencakup data suhu, kelembapan, tekanan udara, dan parameter iklim lainnya.
3. Penilaian karakteristik unjuk kerja yang diuji dari sistem catu daya didapatkan pada kondisi yang terkait langsung dengan fungsional perangkat serta tidak mencakup simulasi kondisi ekstrem seperti abu vulkanik, hujan badai, serta pengaruh suhu di lingkungan sekitar perangkat.
4. Penilaian karakteristik unjuk kerja algoritma deteksi tsunami dilakukan melalui simulasi di lingkungan yang relevan dengan fokus utama pada evaluasi kemampuan algoritma dalam mendeteksi penurunan ketinggian air yang abnormal dan menyimpang dari pola pasang surut normal.
5. Penilaian karakteristik unjuk kerja dari sistem transmisi pengiriman data ke VPS (*Virtual Private Server*) melalui protokol MQTT dan tidak menguji sistem komunikasi dalam kondisi jaringan tidak stabil.
6. Implementasi *pilot project* dilakukan di Perairan Pulau Sebesi, Kec. Rajabasa, Kab. Lampung Selatan.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapatkan dari 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, data yang dihasilkan juga dapat diolah untuk kebutuhan penelitian kebencanaan dimasa depan.
2. Bagi masyarakat, mendapat informasi terkait dengan Ketinggian kolom air laut yang berpotensi bencana sehingga langkah- langkah mitigasi dapat dilakukan sedini mungkin.
3. Bagi pemerintah, dapat memperkuat sistem peringatan dini bencana *hydrometereologi* dan basis data untuk pengambilan keputusan.

1.6. Sistematika Penelitian

I. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, tujuan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika Penelitian 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, *capstone project* serta diagram penelitian yang akan digunakan dalam pengerjaan penelitian.

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 penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Bab ini berisikan referensi dari Penelitian dan pelaksanaan proyek.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Penelitian skripsi ini dibuat dengan memperhatikan analisa dan hasil dari penelitian sebelumnya yang sejenis dalam beberapa tahun terakhir. Sapsal *et al.* [10] melakukan penelitian yang menghasilkan sebuah perangkat untuk mengukur kedalaman sumur bor dengan menggunakan sensor tekanan HDL 300 yang dikontrol dengan arduino uno. Prinsip kerja alat ini adalah memanfaatkan perbedaan tekanan dari ketinggian air dimana semakin tinggi air maka nilai tekanan semakin besar. Perbedaan penelitian tersebut dengan penelitian yang dilakukan terletak dalam sensor tekanan dan *controller* yang digunakan. Pada penelitian yang akan dilakukan akan menggunakan sensor tekanan air jenis *Submersible gauge* untuk mengukur ketinggian air laut yang dikontrol dengan Raspberry pi untuk diproses dan dikirimkan ke server dengan protokol MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*).

Selain itu sistem pendeteksi tsunami yang mengukur ketinggian air laut dengan sensor *submersible pressure* juga telah dibangun oleh Saputra *et al.* [11]. Pada penelitian tersebut dihasilkan perangkat pendeteksi tsunami dengan sensor *submersible pressure* untuk mengukur ketinggian muka air laut yang diproses dengan Raspberry pi dan layar LCD sebagai perangkat monitoring. Selain itu, perangkat tersebut akan mengirimkan pesan peringatan *via sms* jika perangkat mendeteksi tsunami. Perbedaan penelitian tersebut dengan penelitian yang akan dilakukan terletak pada *platform monitoring* dan protokol transmisi data. Pada

penelitian yang dilakukan menggunakan *dashboard monitoring real-time* dan protocol transmisi data ke server dengan MQTT.

Dalam penelitian yang lain Annunziato *et al.* mengembangkan algoritma verifikasi tsunami yang diterapkan pada IDSL[12]. Algoritma ini dibentuk untuk membedakan dan mengidentifikasi sinyal tsunami dari semua sinyal *noise* yang bukan tanda-tanda tsunami. Perbedaan penelitian tersebut dengan penelitian yang akan dilakukan terletak pada implementasi algoritma pada sensor yang digunakan. Pada penelitian tersebut algoritma diimplementasikan pada sensor *ultrasonic* MB7066 yang mengukur perubahan ketinggian dari permukaan air laut ke sensor, sedangkan pada penelitian ini pengukuran ketinggian kolom air laut adalah hasil konversi dari tekanan air yang dibaca oleh sensor tekanan air jenis *submersible gauge*.

Selain itu sistem pendeteksi banjir dan badai angin serta monitoring cuaca berbasis *internet of things* juga telah dikembangkan oleh Pradirta *et al.* [13]. Pada penelitian tersebut dihasilkan alat yang dapat mengukur ketinggian air, hujan, dan kecepatan angin yang dikontrol oleh Arduino Uno yang terhubung dengan *dashboard monitoring* dengan komunikasi data menggunakan *bluetooth*. Sistem peringatan juga terdapat pada alat ini berupa *buzzer* yang akan aktif apabila nilai ketinggian air dan kecepatan air diatas ambang batas wajar. Perbedaan utama antara penelitian Pradirta *et al.* dengan penelitian ini adalah pada jenis sensor dan *controller* yang digunakan. Penelitian ini akan menggunakan sensor *Anemometer Wind Speed Sensor* SEN0170 dan *Wind Vane Direction Sensor* SEN0482 yang dikontrol oleh Raspberry pi untuk diproses dan dikirim ke *server* dengan protokol MQTT.

Dalam penelitian lain yang membahas mengenai sistem peringatan dini tsunami yang ditulis oleh Kurniawan *et al.* dijelaskan bahwa sistem peringatan tsunami di Zona *Megatrust* Selat Sunda sangat penting guna mewujudkan ketahanan nasional [14]. Pada penelitian tersebut sistem peringatan dini dibangun dan diintegrasikan pada sistem InaTEWS (Indonesia *Tsunami Early Warning Sistem*). *Buoy* dan *Tide gauge* saling terintegrasi dalam memonitoring ketinggian air di tengah laut dan di pesisir pantai untuk mendeteksi tsunami. Untuk itu, pada penelitian yang akan dilakukan perangkat *monitoring* dan deteksi tsunami PUMMA U-TEWS berbasis

tekanan air laut dan iklim *mikro* akan difungsikan sebagai alat untuk mengukur Ketinggian kolom air laut di pesisir pantai. Sedangkan perangkat *monitoring* dan deteksi tsunami di tengah laut akan digunakan buoy U-TEWS yang tergabung dalam *capstone project* peneliti yang akan dijelaskan lebih detail pada bab tiga.

2.2. Model Deteksi Tsunami

Agar perangkat dapat memberikan peringatan tsunami maka diperlukan sebuah model untuk menganalisis ketinggian kolom air laut yang terukur secara cepat dan tepat. Pembentukan model deteksi tsunami harus mempertimbangkan spesifikasi kinerja alat. Model yang dibangun disarankan tidak terlalu canggih karena akan diterapkan pada instrument berbiaya rendah yang dalam hal ini tidak mempunyai kemampuan komputasi yang besar [15].

Tsunami ditandai oleh penyimpangan yang signifikan dari pasang surut yang diharapkan pada waktu tertentu, terutama dalam hal karakteristik waktu. Oleh karena itu, dengan pemahaman yang baik tentang pola pasang surut di lokasi pemasangan perangkat sistem dapat mengaktifkan peringatan terkait pengamatan tsunami jika ada *anomaly* [12]. *Anomaly* dapat berasal dari faktor meteorologi seperti gelombang badai dan kesalahan pembacaan sensor. Maka model deteksi tsunami yang dibangun harus bisa membedakan antara tanda-tanda tsunami atau *anomaly*. Pembentukan model deteksi tsunami menggunakan *kalman filter* untuk membedakan *anomaly* yang disebabkan oleh *noise* pembacaan sensor sehingga model dapat mendeteksi tsunami dengan cukup akurat.

Tujuan utama dari deteksi tsunami pada pengukuran ketinggian kolom air laut secara terus menerus adalah untuk membedakan antara tanda-tanda tsunami dengan *anomaly*. Hal ini dapat direalisasikan dengan melakukan estimasi pada akuisisi data baru terhadap perbedaan absolut antara LTF (*long-term forecast*) dan STF (*short-term forecast*) [16]. LTF merupakan estimasi nilai saat ini yang didapatkan dengan menghitung *polynomial orde* dua kuadrat terkecil dengan periode waktu yang lama (1-2 jam). STF merupakan estimasi dengan periode waktu yang lebih pendek (5-15 menit). Maka dari itu didapatkan persamaan [12]:

$$A_s(t) = |STF_{(t)} - LTF_{(t)}| \quad (2.1)$$

Pada persamaan 2.1 nilai $A_s(t)$ merupakan nilai absolut *alert signal* yang diperoleh dengan menghitung selisih antara STF dan LTF yang dihitung pada waktu tertentu. Maka dari itu perbedaan STF dan LTF cenderung mengidentifikasi perubahan ketinggian kolom air laut akibat tsunami. Nilai STF dan LTF diestimasi dengan dua waktu yang berbeda biasanya 5 menit dan 1 jam [12].

$$V_s(t) = rms(A_s(t)) * f_{rms} + C \quad (2.2)$$

Pada persamaan 2.2 nilai $V_s(t)$ merupakan nilai *threshold* (ambang batas) yang didapatkan dengan menghitung RMS (*Root Mean Square*) dari *alert signal* dalam periode waktu tertentu dan dikalikan dengan konstanta f_{rms} dan ditambahkan dengan konstanta C untuk memastikan perubahan ketinggian kolom air laut yang sangat halus tidak menyebabkan peringatan tsunami akibat *anomaly*. Nilai f_{rms} dan C untuk permulaan dapat ditetapkan pada 4 dan 0,1 m [12].

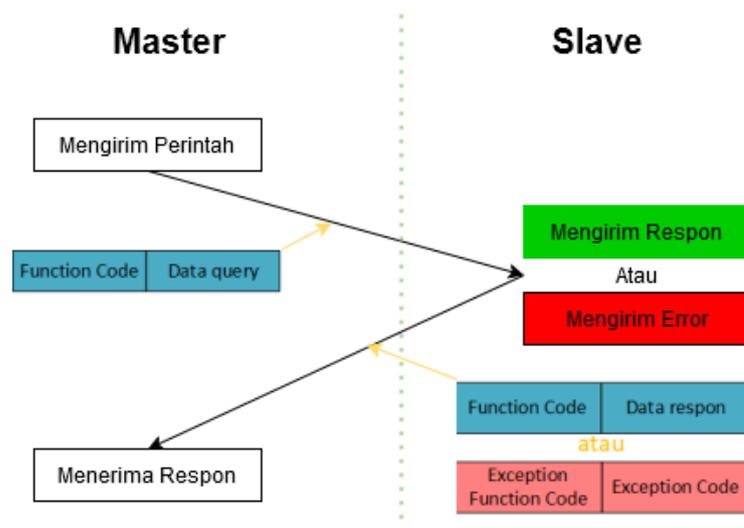
Berdasarkan persamaan 2.1 dan 2.2 maka didapatkan logika peringatan tsunami [12] :

$$\begin{aligned} \text{If } A_s(t) > V_s(t) \text{ and } A_s(t) > A_{min} \text{ then } AL(t) &= AL(t) + 1 \\ \text{else } AL(t) &= AL(t) - 1 \end{aligned} \quad (2.3)$$

Persamaan 2.3 merupakan logika peringatan tanda - tanda tsunami akibat surut atau pasang yang jauh dari pola pasang surut yang disebut AL (*Alert Level*). AL akan meningkat menjadi 1 apabila logika pada persamaan 2.3 terpenuhi pada setiap interval waktu akuisisi dengan nilai maksimum adalah 10. Serta AL akan menurun 1 level jika logika tidak terpenuhi. Pada persamaan 2.3 nilai A_{min} harus mewakili nilai *amplitude minimum* yang harus dilampaui untuk memberi peringatan. Nilai AL pada model deteksi tsunami disini sebagai parameter utama dalam mendeteksi tsunami dan membedakan apakah tsunami yang dideteksi diakibatkan oleh tanda-tanda tsunami atau hanya *anomaly*.

2.3. Sistem Komunikasi Sensor Tekanan Air *Submersible Gauge*, Kecepatan dan Arah Angin

Sensor *submersible gauge*, kecepatan dan arah angin yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan protokol Modbus. Modbus merupakan protokol komunikasi internasional yang biasa digunakan dalam automasi industri dan saat ini banyak diimplementasikan dalam IoT. Protokol modbus yang berjalan pada RS-485 biasa lebih dikenal dengan modbus RTU (*Remote Terminal Unit*)[17]. Pada modbus RTU biasa dikenal dengan komunikasi *master/slave*. *Master* bekerja dengan mengirimkan permintaan membaca atau menulis ke *slave*. *Master* disini lebih dikenal sebagai si pemberi perintah. Dalam penelitian ini yang menjadi *master* adalah Raspberry pi. Sedangkan *slave* memiliki tugas untuk melayani permintaan dari *master* dengan mengirimkan *data response* maupun *exception error*.



Gambar 2.1 Proses Komunikasi Modbus RTU [17]

2.4. Protokol pada Sistem Transmisi Data PUMMA U-TEWS

Dalam penelitian ini, sistem transmisi data perangkat PUMMA U-TEWS ke server menggunakan protokol MQTT. MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) merupakan protokol standar yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem berbasis IoT (*Internet of Things*). Protokol ini sangat ideal untuk perangkat IoT karena bersifat ringan, mudah diimplementasikan, dan efisien dalam penggunaan energi. Saat ini, MQTT telah diterapkan secara luas di berbagai industri, termasuk otomotif, manufaktur, telekomunikasi, serta minyak dan gas.

Cara kerja MQTT didasarkan pada metode *publish/subscribe*, di mana sebuah perangkat mengirimkan pesan (*publish*), sementara perangkat lain yang bertindak sebagai penerima (*subscribe*) menerima pesan tersebut sesuai dengan topik yang relevan [18]. Proses pengiriman dan penerimaan pesan ini dikelola oleh komponen yang disebut MQTT Broker. Pada penelitian ini protokol MQTT akan digunakan sebagai protokol pengiriman data antara *publish* (perangkat) dengan *subscriber* (VPS) dan akan dilakukan pengukuran *latency* pada protokol yang digunakan.

2.5. Pengukuran Karakteristik Unjuk Kerja Sistem Transmisi Data

Untuk mengetahui karakteristik unjuk kerja transmisi data pada perangkat PUMMA U-TEWS ke server, maka dalam penelitian ini akan dilakukan pengukuran *latency* pengiriman data dengan menggunakan *protocol analyzer* Wireshark. *Wireshark* merupakan perangkat lunak analisis jaringan berbasis *open-source* yang berfungsi untuk menangkap dan menganalisis paket data yang dikirimkan atau diterima melalui jaringan komputer. Perangkat lunak ini mendukung analisis berbagai jenis protokol jaringan seperti MQTT, TCP, UDP, HTTP, DNS, dan lainnya [19].

Wireshark memungkinkan pengguna untuk memantau seluruh paket data yang melintasi jaringan, termasuk paket yang dihasilkan oleh aplikasi pada komputer pengguna maupun perangkat lain dalam jaringan. Perangkat lunak ini juga menyediakan informasi rinci terkait paket data, seperti alamat sumber, tujuan, jenis protokol, isi data (*payload*), dan *time-respon paket*.

2.6. Akuisisi Data Arah dan Kecepatan Angin

Stasiun iklim *mikro* yang diimplementasikan terdiri dari beberapa sensor untuk mengukur beberapa variable cuaca, salah satunya adalah sensor kecepatan (*anemometer sensor*) dan arah angin (*wind direction sensor*). *Wind direction* adalah perangkat sensor yang dirancang untuk mendeteksi arah angin dan mengubahnya menjadi sinyal elektrik yang dapat digunakan oleh sistem pemantauan atau kontrol, dengan rentang pengukuran 0° hingga 360°.



Gambar 2.2 Sensor *Wind Direction* [21]

Pada penelitian yang akan dilakukan sensor *wind direction* akan digunakan untuk mengukur arah angin pada pesisir pantai tempat alat deteksi tsunami dipasang yang dapat dilihat pada Gambar 2.2. Dengan data arah angin yang *disensing* dengan sensor ini dan juga didukung oleh sensor kecepatan angin diharapkan dapat memberikan data yang dapat diolah untuk mengetahui pengaruh angin pada gelombang laut. Sensor ini dapat melakukan *sensing* 16 arah mata angin. Sensor ini bekerja pada tegangan 7 sampai 24 VDC dengan protokol komunikasi Modbus RTU dengan Raspberry pi. Untuk *sensing rate* sensor pada penelitian sebesar 1 Hz.



Gambar 2. 3 Anemometer Wind Speed Sensor [21]

Anemometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin yang memanfaatkan sensor *optocoupler* [20]. Penempatan sensor ini disarankan diletakkan pada tempat yang terbuka dan bebas dari berbagai penghalang [21]. Baling – baling akan berputar sesuai dengan kecepatan angin yang berhembus, oleh karena itu harus diletakkan pada tempat terbuka. Pemasangan *anemometer* di pinggir pantai dapat membantu masyarakat di sekitar pantai untuk memutuskan pergi melaut atau tidak. Karena kecepatan angin mempengaruhi ketinggian gelombang laut. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan sensor *anemometer* yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Pada penelitian ini sensor akan digunakan untuk mengukur kecepatan angin pada dermaga pulau sebesi dengan *sensing rate* 1 Hz. Selain dapat mengetahui kecepatan arah angin yang terukur data yang *disensing* diharapkan dapat mengetahui pengaruh kecepatan angin terhadap gelombang laut jika dilakukan analisis lebih lanjut. Sensor memerlukan tegangan 9 sampai 24 VDC untuk dapat bekerja dan menggunakan komunikasi analog dengan *microcontroller* untuk melakukan *sensing*. Sensor memiliki kemampuan *sensing* kecepatan angin dari 0 m/s sampai 32 m/s.

2.7. Akuisisi Data Tekanan Air

Akuisisi data tekanan air laut pada perangkat PUMMA U-TEWS menggunakan sensor *submersible gauge* dimana merupakan sensor yang dapat mengukur tekanan *hidrostatik* pada kedalaman tertentu. Sensor ini menggunakan *chip* penginderaan tekanan dengan kinerja yang tinggi dan *chip* pemrosesan yang cepat. Hasil pembacaan tekanan ini kemudian di ubah menjadi *output analog* dan dikonversi ke komunikasi modbus RTU. Prinsip kerja dari sensor ini adalah menggunakan prinsip tekanan dalam zat cair [7]. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan *submersible gauge* yang dapat dilihat pada Gambar 2.4.

Sensor ini bekerja pada tegangan 12 sampai 30 VDC serta berkomunikasi menggunakan protokol modbus RTU dengan Raspberry pi. *Range* pengukuran sensor ini dari 0 hingga 50 meter akan tetapi pada penelitian ini sensor hanya akan melakukan *sensing* pada kedalaman 0 hingga 10 meter sesuai dengan kondisi implementasi alat. %FS (*Percent of Full Scale*) pada sensor ini sebesar 0,25 %FS yang artinya bahwa kesalahan yang mungkin terjadi (misalnya karena pengaruh suhu atau faktor lainnya) adalah $\pm 0,25\%$ dari skala penuh sensor. Untuk *sensing rate* sensor pada perangkat penelitian sebesar 1 Hz.



Gambar 2. 4 *Submersible Gauge*

2.8. *Controler Perangkat*

Dalam penelitian ini *controller* yang digunakan pada perangkat PUMMA U-TEWS untuk memproses data input dari sensor dan pengiriman data ke server menggunakan Raspberry pi. Raspberry pi merupakan *minicomputer* berbiaya rendah yang dikembangkan oleh Raspberry pi *Foundation*. Hingga saat ini Raspberry pi memiliki tiga model yang beredar di pasaran yaitu model A, B, dan *zero*. Pada semua model Raspberry pi memiliki pin yang dapat digunakan untuk komunikasi berbagai macam perangkat elektronik [22].

Pada penelitian ini Raspberry pi digunakan sebagai *controller* yang mengolah semua *input yang disensing* dengan berbagai macam cara komunikasi dengan sensor. Setelah semua data input diolah selanjutnya data diatur format pengirimannya dengan protokol MQTT Dimana dalam hal ini Raspberry pi sebagai *publish MQTT*. Pada Raspberry pi juga sebagai perangkat yang dapat *diremote* jarak jauh dengan SSH (*Secure Shell*). Dengan adanya kemampuan perangkat dapat *diremote* jarak jauh diharapkan dapat mempermudah proses *maintance* alat apabila terdapat kesalahan pada alat. Raspberry pi supaya bisa *diremote* jarak jauh dan mengirimkan data dengan protokol MQTT maka harus terhubung dengan jaringan internet. Untuk itu digunakan *router* sebagai *gateway* agar perangkat dapat terhubung dengan internet.

2.9. Device Programing

Device Programing yang digunakan pada perangkat PUMMA U-TEWS untuk mengeksekusi semua *code* yang berkaitan dengan pengolahan *input* sensor dan kamera, program deteksi tsunami dan pengiriman *alert*, pengolahan data untuk dikirim ke server dengan protokol MQTT, dan program untuk menyimpan semua data kedalam database lokal Raspberry pi menggunakan *Node-red* dan python. Penggunaan *device programing* ini nantinya akan dievaluasi manakah yang memiliki efisiensi kinerja yang baik.

Node-red adalah sebuah platform yang mendukung konsep pemrograman berbasis alur (*flow programming*)[23]. Aplikasi ini dikembangkan oleh IBM dan saat ini menjadi bagian dari OpenJS *Foundation*. *Node-red* memungkinkan pembuatan aplikasi IoT (*Internet of Things*) melalui pendekatan pemrograman berbasis alur, di mana pengguna dapat merancang aplikasi sebagai "*flow*". *Flow* tersebut terdiri dari *node-node* yang saling terhubung dengan masing-masing *node* menjalankan fungsi tertentu[24]. Selain untuk aplikasi IoT, *Node-red* juga memiliki fleksibilitas untuk digunakan dalam berbagai jenis aplikasi lainnya.

Python adalah bahasa pemrograman tingkat tinggi yang dirancang untuk kemudahan pengembangan dan efisiensi aplikasi. Python mendukung berbagai paradigma pemrograman, seperti berorientasi objek, prosedural, dan fungsional, serta memiliki pustaka yang relevan, termasuk *NumPy* untuk analisis data numerik, *Paho-MQTT* untuk komunikasi MQTT, dan *RPi.GPIO* untuk pengendalian perangkat keras Raspberry pi[25]. Dengan sintaksis sederhana, ketersediaan pustaka ekstensif, dan kemampuan *multi-platform*, python menawarkan solusi yang lebih fleksibel dan tangguh untuk mengelola pengiriman data dan pemrosesan yang membutuhkan toleransi terhadap jaringan yang tidak stabil.

2.10. Pengukuran Karakteristik Catu Daya Sistem

Daya listrik merupakan besaran fisika *fundamental* dalam bidang kelistrikan. Rumus daya listrik memiliki aplikasi yang luas dalam berbagai bidang, mulai dari industri, rumah tangga, hingga elektronika. Dalam bidang elektronika rumus daya

listrik digunakan untuk menghitung konsumsi daya perangkat dan menentukan komponen. Rumus perhitungan daya Listrik adalah sebagai berikut [13]:

$$P = V \times I \quad (2.4)$$

Keterangan :

- P adalah Daya yang dikonsumsi
- V adalah Nilai Tegangan
- I adalah Nilai Arus

2.11. Pengukuran Keakuratan Sensor *Submersible Gauge*

Pada penelitian yang dilakukan pengukuran Tingkat akurasi dari sensor *submersible gauge* menggunakan RMSE (*Root Mean Square Error*). RMSE merupakan metrik pengukuran yang membandingkan nilai pembacaan sensor dengan nilai actual untuk mengukur seberapa baik suatu pembacaan sensor. Rumus untuk menghitung RMSE adalah sebagai berikut [7]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{aktual,i} - y_{sensor,i})^2} \quad (2.5)$$

Keterangan :

- n adalah jumlah data pengukuran
- $y_{aktual,i}$ adalah data hasil pengukuran sebenarnya
- $y_{sensor,i}$ adalah data hasil pengukuran sensor

2.12. Pengukuran Parameter QOS (*Quality of Service*)

QOS merupakan kemampuan jaringan untuk mendukung tingkat jaminan tertentu terhadap suatu layanan (*service*) dalam rangka meningkatkan kinerja dan keandalan pengiriman data [26]. Adapun dalam pengukuran QOS perlu mengukur beberapa parameter seperti *throughput*, *latency*, *jitter*, dan *packet loss* untuk menilai kualitas suatu jaringan.

Latency merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengirim data dari satu titik ke titik lain dalam suatu sistem atau jaringan [26]. *Latency* sering kali menjadi metrik penting dalam menilai kinerja jaringan, terutama pada aplikasi yang sensitif terhadap waktu. Adapun rumus untuk menghitung rata – rata *latency* sebagai berikut [27]:

$$\text{Rata – Rata } Latency = \frac{\text{Total Delay}}{\text{Total Data yang diterima}} \quad (2.6)$$

Jitter merupakan variasi dalam *delay* antar paket yang diterima. *Jitter* yang tinggi dapat menyebabkan gangguan pada layanan transmisi data. Adapun rumus untuk menghitung *jitter* adalah sebagai berikut [27].

$$\text{Total Variasi } Latency = Latency - (\text{Rata – Rata } Latency) \quad (2.7)$$

$$\text{Rata-Rata } Jitter = \frac{\text{Total Variasi } Latency}{\text{Total Data yang diterima}} \quad (2.8)$$

Throughput merupakan jumlah data yang berhasil dikirimkan melalui jaringan dalam waktu tertentu. *Throughput* dirumuskan dalam perhitungan sebagai berikut [27]:

$$Throughput = \frac{\text{Jumlah Data yang dikirim}}{\text{Waktu Pengiriman}} \quad (2.9)$$

Packet Loss merupakan suatu parameter yang menggambarkan suatu kondisi yang menunjukkan jumlah total paket yang hilang selama pengiriman [26]. *Packet loss* biasanya diukur sebagai persentase dari total paket yang dikirim. Semakin tinggi persentase *packet loss*, semakin buruk kinerja jaringan tersebut, karena data yang hilang harus dikirim ulang, yang dapat menambah keterlambatan atau memperburuk kualitas koneksi. Adapun rumus untuk menghitung *packet loss* adalah sebagai berikut [27]:

$$Throughput = \frac{\text{Data dikirim} - \text{data diterima}}{\text{Data dikirim}} \times 100 \quad (2.10)$$

2.13. Parameter Pasang Surut Air Laut

Pasang surut merupakan sebuah fenomena kenaikan atau penurunan ketinggian air laut yang disebabkan oleh gaya gravitasi bulan dan matahari terhadap bumi. Dalam ilmu *oseanografi* analisis pasang surut sering disebut sebagai *chart datum* yang

terdiri dari parameter HAT (*Highest Astronomical Tide*), LAT (*Lowest Astronomical Tide*), MHWS (*Mean High Water Springs*), MLWS (*Mean Low Water Springs*), dan MSL (*Mean Sea Level*) [28].

HAT adalah ketinggian air laut maksimum dalam periode pasang surut tertentu. LAT merupakan ketinggian air laut minimum dalam periode tertentu. MHWS merupakan rata – rata ketinggian pasang tertinggi selama periode purnama. MLWS merupakan rata – rata ketinggian surut terendah selama periode purnama. MSL adalah rata – rata ketinggian air laut. Pengukuran *chart datum* untuk mencapai akurasi yang tinggi memerlukan analisis data pasang surut harmonik tahunan [29]. Dikarenakan perangkat deteksi tsunami yang dipasang belum adanya data pasang surut harmonik maka dapat digunakan pendekatan *semi-empiris* untuk mendapatkan *chart datum* dengan rumus sebagai berikut [29]:

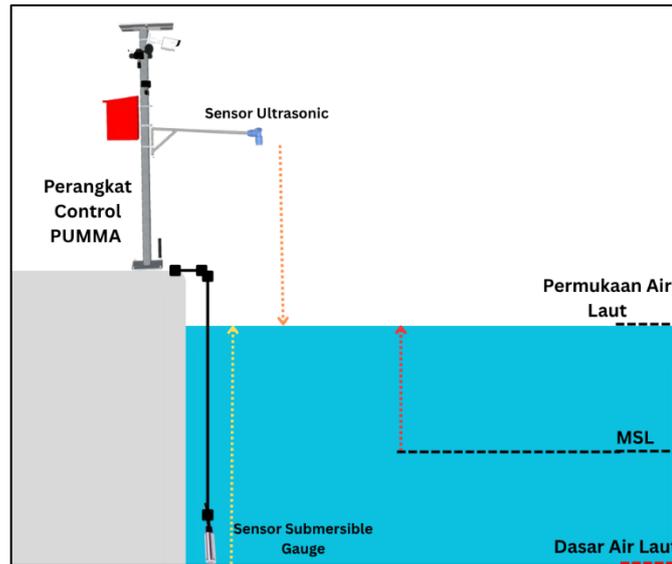
$$\text{MSL} = \frac{\text{HAT} + \text{LAT}}{2} \quad (2.11)$$

$$\text{MHWS} = \text{MSL} - (\text{HAT} - \text{MSL}) \times 0,5 \quad (2.12)$$

$$\text{MLWS} = \text{MSL} - (\text{MSL} - \text{LAT}) \times 0,5 \quad (2.13)$$

2.14. Pengukuran Ketinggian Kolom Air Laut

Pengukuran tinggi kolom air pada perangkat PUMMA U-TEWS dilakukan dengan cara meletakkan sensor *submersible gauge* hingga mencapai dasar laut atau pantai. Peletakan sensor hingga mencapai dasar laut berdasarkan pada prinsip kerja dari sensor *submersible gauge* itu sendiri yang dimana nilai tekanan air akan meningkat seiring bertambahnya kedalaman dalam fluida [30]. Adapun peletakan sensor dengan perangkat dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Peletakan Sensor Untuk Mengukur Tinggi Air Laut

Gambar 2.5 menjelaskan mengenai cara mengukur ketinggian kolom air laut pada sensor *submersible gauge* dan ketinggian gelombang air laut dengan sensor *ultrasonic*. Ketinggian kolom air diukur oleh sensor *submersible gauge* dari dasar air laut hingga permukaan air laut (garis kuning) yang dimana ini sesuai dengan prinsip kerja sensor itu sendiri. Sedangkan untuk mengukur ketinggian gelombang air laut menggunakan sensor *ultrasonic* yang bekerja berdasarkan prinsip menembakkan gelombang *ultrasonic* ke suatu media dan mengukur kembali seberapa lama waktu gelombang kembali diterima untuk dikonversi ke jarak [31]. Dengan mengurangi jarak posisi sensor hingga dasar laut dengan jarak posisi sensor hingga permukaan air laut kemudian dikurangkan dengan nilai MSL maka didapatkan nilai ketinggian gelombang air laut (garis merah).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama enam bulan yang dimulai bulan November 2024 hingga bulan April 2025 serta diawali dari studi literatur dan bimbingan, penyusunan laporan proposal, perancangan perangkat, perakitan, pengujian sistem perangkat, akuisisi data hasil, dan penyusunan laporan hasil.

Proses penelitian ini dilakukan di beberapa tempat yaitu Laboratorium Terpadu Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Kolam Renang Universitas Lampung, dan Perairan Pulau Sebesi, Kec. Rajabasa, Kab. Lampung Selatan. Implementasi perangkat akan dilakukan di Perairan Pulau Sebesi.

3.2. Perangkat Penelitian

Dalam rangka pengerjaan penelitian tugas akhir ini, terdapat beberapa komponen dan perangkat lunak yang digunakan. Daftar komponen disebutkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Tabel Komponen dan Perangkat Lunak

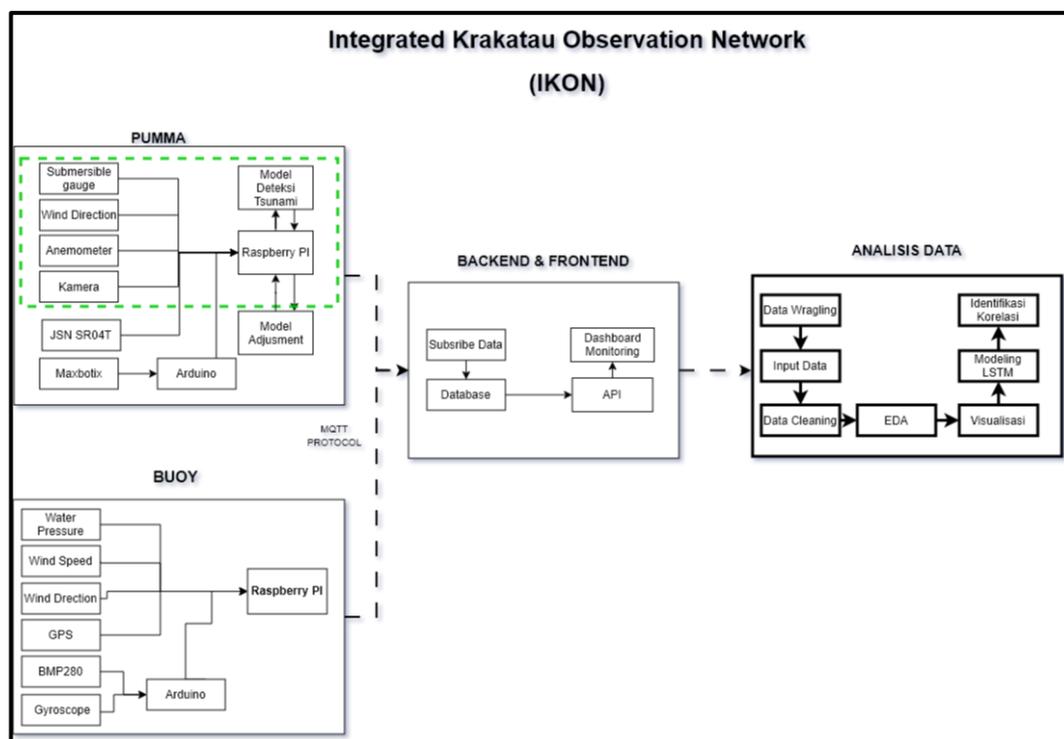
No	Nama Komponen dan Perangkat Lunak	Keterangan Penggunaan
1	Raspberry pi 4 Model B	<i>Minicomputer</i> yang berfungsi sebagai pusat kontrol komunikasi data dan <i>monitoring</i> perangkat jarak jauh.
2	IP Camera	Berfungsi untuk mengambil gambar pada lokasi dipasangnya alat dan validasi hasil pembacaan <i>submersible gauge</i>

3	Router	Sebagai media perantara agar alat terkoneksi dengan internet dan dapat mengirimkan data melalui <i>MQTT protokol</i> dan <i>remote</i> jarak jauh.
4	<i>Submersible gauge</i>	Berfungsi untuk mengukur ketinggian kolom air laut berdasarkan tekanan air laut
5	<i>Anemometer Sensor</i>	Berfungsi untuk mengukur kecepatan angin.
6	<i>Wind Vane Direction Sensor</i>	Berfungsi untuk mengukur arah angin.
7	DC To DC Converter- Voltage Regulator Buck	Berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan sesuai kebutuhan.
8	USB to TTL RS485 Converter	Berfungsi untuk <i>convert</i> komunikasi data RS485 ke USB TTL.
9	MPPT	Berfungsi untuk <i>control charging</i> baterai dan operator daya dari baterai dan beban daya.
10	Solar panel 100 WP <i>polycrystalline</i>	Berfungsi untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik untuk <i>charging</i> baterai.
11	Aki Baterai VOZ 12V 100 Ah VRLA	Berfungsi sebagai sumber daya utama <i>device</i>
12	<i>Node-red</i>	<i>Device programing</i> berbasis <i>flow code</i> untuk mengintegrasikan system dan algoritma.
13	<i>Wireshark</i>	Aplikasi yang digunakan untuk memantau jaringan sebagai bahan analisis data
14	<i>Python 3.11</i>	Software pemrograman tingkat lanjut yang digunakan sebagai pemrosesan dalam perangkat

Dapat dilihat pada Tabel 3.1 bahwa terdapat 14 komponen utama yang digunakan yang terbagi kedalam jenis perangkat keras dan perangkat lunak. Komponen tersebut akan berperan mulai dari proses *sensing* hingga proses pengiriman data pada *server*.

3.3. Capstone Project

Pada sub-bab *capstone project* menjelaskan mengenai keterhubungan antara beberapa *sub-project* yang membentuk satu kesatuan ekosistem mitigasi bencana lebih spesifiknya bencana tsunami di laut dalam *capstone project* IKON (*Integrated Krakatau Observation Network*).



Gambar 3.1 Capstone Project U-TEWS

Gambar 3.1 merupakan *capstone project* peneliti. Peneliti merupakan anggota tim *capstone project* IKON dan terlibat langsung dalam *subproject* PUMMA. Penelitian IKON merupakan inisiatif penelitian kebencanaan tsunami yang bertujuan mengembangkan sistem pemantauan dini tsunami berbasis IoT untuk kawasan Selat Sunda. Proyek ini merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya yang dikenal sebagai KRC (*Krakatoa Research Center*) atau dikenal *K-Project* dan melibatkan kolaborasi dengan PT Drone Nirwana Bentala (DRONILA) serta Unila Robotika dan Automasi (URO). Tim yang tergabung dalam *capstone project* ini dikenal dengan U-TEWS (*Unila- Tsunami Early Warning Sistem*).

Sub-project buoy merupakan alat yang diletakkan di perairan dangkal hingga perairan dalam yang dapat mendeteksi tsunami dengan mengukur kedalaman air

laut dengan sensor tekanan air secara *real-time*. Tujuan alat ini adalah untuk mendeteksi tanda – tanda tsunami di tengah laut dan kemudian divalidasi dengan perangkat PUMMA apakah dampak tsunami tersebut sampai ke pesisir pantai atau tidak.

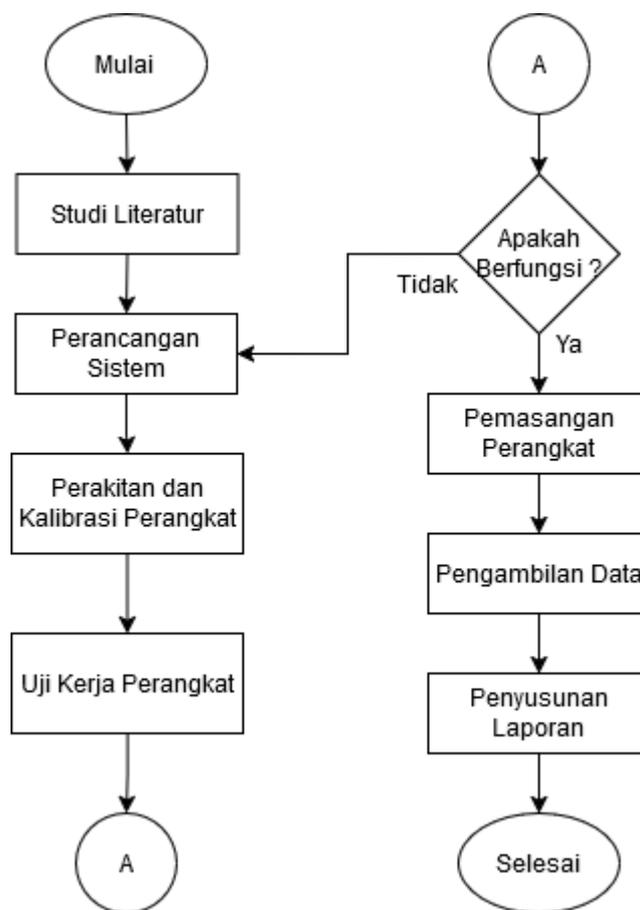
Sub-project back-end & front-end mempunyai tujuan untuk mengintegrasikan hasil *sensing* perangkat PUMMA dan BUOY ke *dashboard monitoring* IoT agar dapat diakses oleh masyarakat umum dan kemudian menyimpan semua data hasil *sensing* kedalam database. *Sub-project* analisis data mempunyai tujuan untuk menganalisis lebih lanjut data yang dikumpulkan oleh perangkat PUMMA dan BUOY untuk kebutuhan penelitian kebencanaan.

Pada project PUMMA merupakan alat yang digunakan untuk mengukur ketinggian kolom air laut secara *real-time* yang ditempatkan di pesisir pantai. Pada penelitian ini peneliti mengerjakan bagian PUMMA lebih spesifiknya pada perangkat yang dapat mengukur ketinggian kolom air laut dengan menggunakan sensor tekanan air jenis *submersible gauge* dan mengintegrasikannya dengan perangkat stasiun iklim *mikro*. Kemudian membangun algoritma deteksi tsunami yang ditanamkan pada Raspberry pi dan dapat mengirimkan notifikasi *alert* apabila terdeteksi tanda - tanda tsunami ke telegram bot. Peneliti juga mengerjakan bagian integrasi sistem stasiun iklim *mikro* yang berfokus pada sensor *wind direction* dan *anemometer (wind speed)* yang digunakan sebagai komponen pendukung untuk memvalidasi algoritma deteksi tsunami. Fokus pengerjaan peneliti pada *capstone project* ini adalah merakit sistem daya dan sensor, integrasi sistem antara sensor yang digunakan dengan Raspberry pi, membangun algoritma deteksi dini tsunami serta mengatur proses pengiriman data sampai berhasil diterima di server (*back-end*) dengan protokol MQTT.

3.4. Tahapan Penelitian

Tahapan dan metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan tahapan yang terstruktur dengan baik. Langkah-langkah ini dirancang tidak hanya untuk meningkatkan efektivitas dalam pembuatan perangkat, tetapi juga untuk

memastikan efisiensi dalam pemanfaatan sumber daya dan waktu. Pada Gambar 3.2 merupakan diagram alur penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 3.2 Blok Diagram 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 laut 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/e-book. Studi literatur yang dipelajari meliputi :

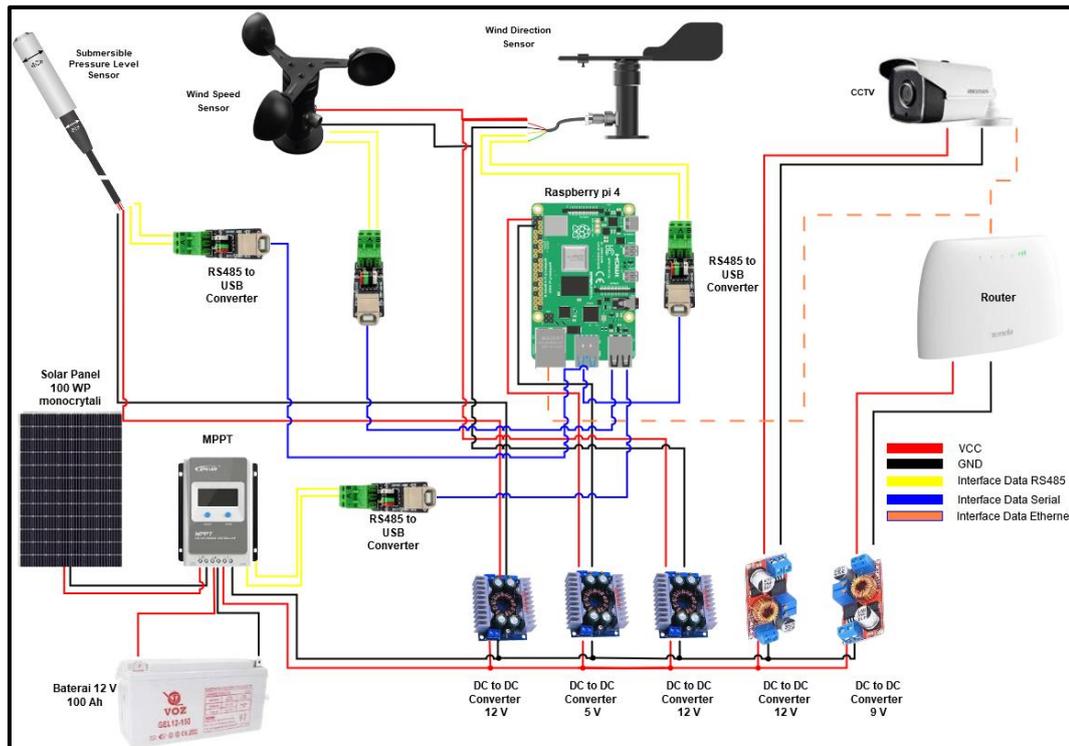
- a. Model deteksi tsunami
- b. Sistem komunikasi sensor dan protokol transmisi pengiriman data
- c. Cara akuisisi data ketinggian kolom air, kecepatan dan arah angin serta integrasi sistem
- d. Sistem catu daya perangkat

3.4.2 Perancangan Sistem

Tahap kedua yaitu perancangan sistem. Fokus pada tahap kedua ini adalah perancangan perangkat pendeteksi dini tsunami dengan mengukur ketinggian kolom air laut secara *real-time* serta membangun algoritma sistem peringatan dini tsunami dengan menambahkan pengukuran arah angin dan kecepatan angin sebagai variable pendukung deteksi tsunami. Hal yang dilakukan meliputi :

3.4.2.1 Rancangan *Wiring* Perangkat Pendeteksi Tsunami

Dalam subbab rancangan *wiring* perangkat pendeteksi tsunami ini menjelaskan mengenai rancangan diagram *schematic* tiap komponen yang saling terhubung untuk membangun sebuah perangkat pendeteksi tsunami PUMMA U-TEWS. Tujuan dari pembuatan rancangan ini adalah untuk mempermudah dalam tahap perakitan alat karena sudah mengetahui terlebih dahulu jalur *supply* daya dan komunikasi tiap komponen.



Gambar 3.3 Rancangan *Schematic* Perangkat

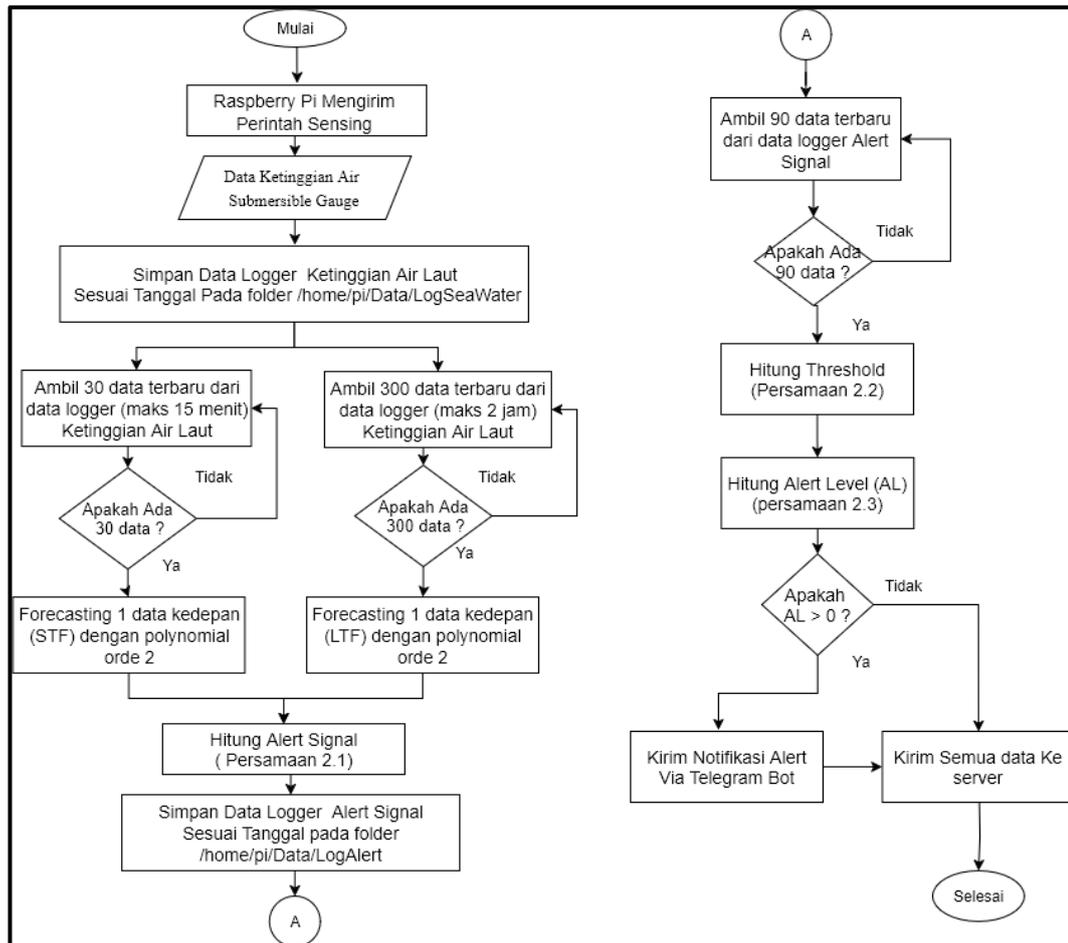
Pada penelitian ini peneliti membuat diagram *schematic* alat untuk mempermudah dalam merencanakan bagaimana semua komponen akan dihubungkan sebelum membuat rangkaian fisik. Pada Gambar 3.3 dijelaskan bahwa perangkat menggunakan baterai 12 V 100 Ah sebagai sumber daya utama serta memanfaatkan panel surya 2 x 100 Wp untuk melakukan *charging* baterai pada siang hari. MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) untuk *control charging* baterai dan operator daya dari baterai ke beban daya. DC-DC *converter* digunakan untuk mengubah tegangan sesuai kebutuhan.

Submersible gauge digunakan untuk melakukan *sensing* ketinggian kolom air laut berdasarkan nilai tekanan air yang menjadi komponen penting dalam mendeteksi tsunami. *Wind speed sensor* dan *wind direction* digunakan untuk mengukur kecepatan angin dan arah angin di lingkungan sekitar perangkat. Selain itu dapat juga digunakan untuk membedakan apakah kenaikan air laut disebabkan oleh angin kencang (badai) atau peristiwa yang tidak normal seperti tsunami. IP kamera digunakan untuk mengambil Gambar terkini disekitar perangkat untuk memvalidasi hasil pembacaan *submersible gauge*.

Komunikasi data antara sensor *submersible gauge*, *wind direction*, *anemometer wind speed* dan MPPT dengan Raspberry pi menggunakan modbus RS485 dengan memanfaatkan *converter* RS485 to USB dan terhubung dengan USB Raspberry pi dengan *sensing rate* 1 Hz. Pada IP kamera menggunakan komunikasi data LAN (*Local Area Network*) dan dikendalikan oleh Raspberry pi untuk mengambil data gambar melalui protokol TCP/IP. Raspberry pi digunakan untuk memproses hasil *sensing* data arah angin dari sensor *wind direction*, data kecepatan angin dari sensor *anemometer wind speed*, data tegangan serta arus dari MPPT, dan data ketinggian kolom air dari sensor *submersible gauge* melalui komunikasi serial. Raspberry pi juga memproses semua data hasil *sensing* dan mengatur format pengiriman data ke server. Modem *router* digunakan agar perangkat dapat terhubung dengan internet dan dapat mengirimkan data ke server agar bisa dimonitoring secara *real-time* pada *Dashboard IoT* dengan protokol MQTT.

3.4.2.2 Rancangan Algoritma Model Deteksi Tsunami

Pada penelitian ini peneliti membuat algoritma deteksi dini tsunami yang di implementasikan pada sensor *submersible gauge*. Perhitungan yang dipakai pada algoritma deteksi tsunami yang diterapkan pada perangkat yang dibuat sudah dijelaskan pada bab sebelumnya yaitu pada sub-bab 2.2. Peneliti membuat sebuah *flow-chart* bagaimana algoritma model deteksi ini bekerja dan ditanamkan pada Raspberry pi yang dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Flow-Chart Algorithma Deteksi Tsunami

Gambar 3.4 menjelaskan bahwa setelah algoritma berjalan atau mulai maka program akan mengambil dan memproses hasil pengukuran *sensor submersible gauge* melalui komunikasi modbus RS485 di Raspberry pi. Kemudian nilai *sensor submersible gauge* disimpan kedalam data *logger* lokal Raspberry pi pada folder *LogSeawater* dan penamaan file sesuai tanggal saat ini serta disimpan dalam format .txt (*text document*).

Selanjutnya data *logger* ketinggian air laut diambil yang dibagi menjadi dua tahap dan berjalan secara paralel. Pertama pengambilan 30 data terbaru dengan maksimal periode data 15 menit terakhir dari waktu saat ini, apabila jumlah data mencapai minimal 30 data maka sistem melanjutkan ke proses *forecasting* 1 data ke depan STF (*Short-Term Forecasting*) dengan metode *polynomial* orde dua. Jika data kurang dari 30 maka akan diulangi proses sebelumnya sampai data terpenuhi. Kedua pengambilan 300 data terbaru dengan maksimal periode data 2 jam terakhir

dari waktu saat ini untuk menghitung LTF (*Long-Term Forecasting*) dengan metode *polynomial* orde dua. Apabila data kurang dari 300 maka akan diulangi proses sebelumnya. Setelah STF dan LTF didapatkan maka selanjutnya adalah menghitung *alert signal* dengan persamaan 2.1 kemudian disimpan ke data logger.

Data *logger alert signal* kemudian diambil 90 data terbaru untuk dihitung *rms* terbaru *alert signal*. Tahap ini digunakan untuk mengetahui nilai *threshold* menggunakan persamaan 2.2. Hasil perhitungan *rms alert signal* 90 data terbaru kemudian dikalikan dengan 4 dan ditambahkan dengan 0,1. Jika sudah diketahui nilai *threshold* maka selanjutnya adalah menentukan *alert level* dengan persamaan 2.3.

Apabila nilai *alert level* lebih besar dari 0 maka akan mengirimkan pesan ke telegram bot untuk memberikan peringatan dan nilai *alert level* yang terukur. Semua hasil perhitungan *alert signal*, *STF*, *LTF*, *threshold*, *alert level*, dan nilai *submersible gauge* kemudian digabungkan dan dikirimkan ke server dengan protokol MQTT.

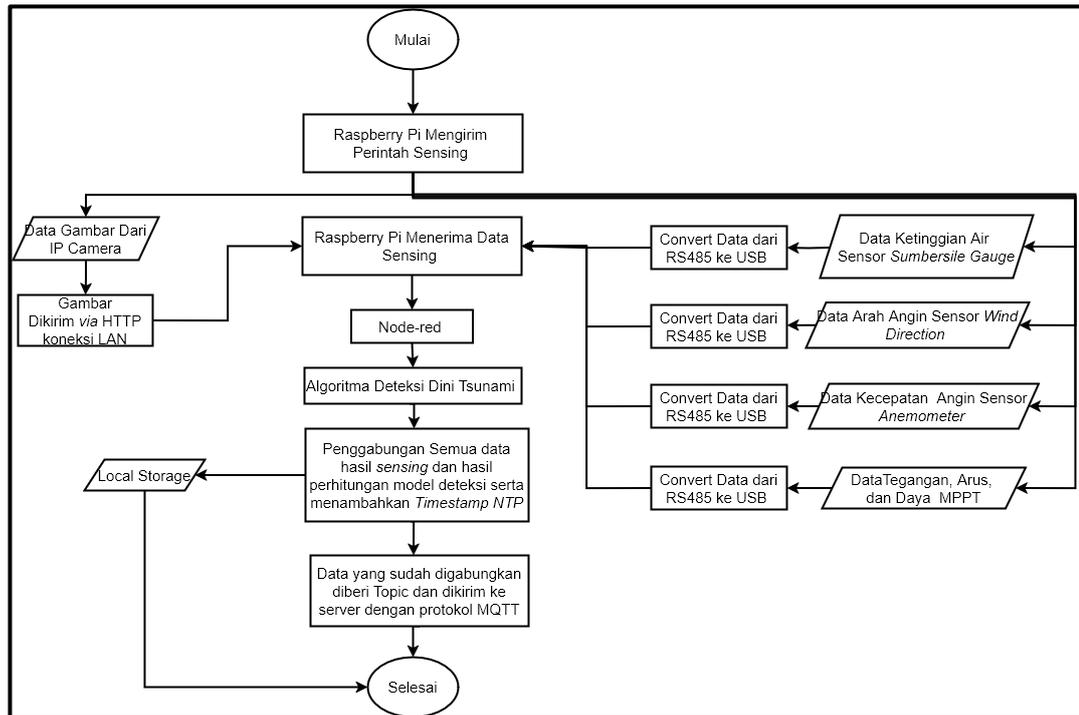
3.4.2.3 Rancangan Alur Kerja Perangkat

Dalam penelitian ini peneliti merancang sebuah *flowchart* alur kerja perangkat yang berfungsi sebagai panduan visual untuk memahami mekanisme kerja keseluruhan sistem. *Flowchart* ini membantu peneliti dalam mengidentifikasi hubungan antar komponen, mulai dari tahap awal pengambilan data oleh sensor kemudian pengolahan data lebih lanjut hingga pengiriman data. Selain itu, *flowchart* ini juga menggambarkan bagaimana hasil pengolahan data tersebut dikirimkan ke server untuk disimpan dan dimonitor secara *real-time*. Dalam penelitian ini dibuat dua versi rancangan sistem dengan tujuan untuk mencari sistem yang andal dan efisien dalam implementasi alat.

3.4.2.3.1 Rancangan Alur Kerja Perangkat Berbasis Node-red

Pada rancangan versi ini sistem perangkat berfokus pada penggunaan *Node-red* dalam memproses data yang *disensing* hingga pengiriman data ke server dengan

protokol MQTT. Gambar 3.5 menampilkan detail dari *flowchart* yang memberikan gambaran mengenai aliran proses dan fungsi masing-masing komponen dalam sistem.



Gambar 3.5 *Flow* Alur Kerja Perangkat Berbasis Node-red

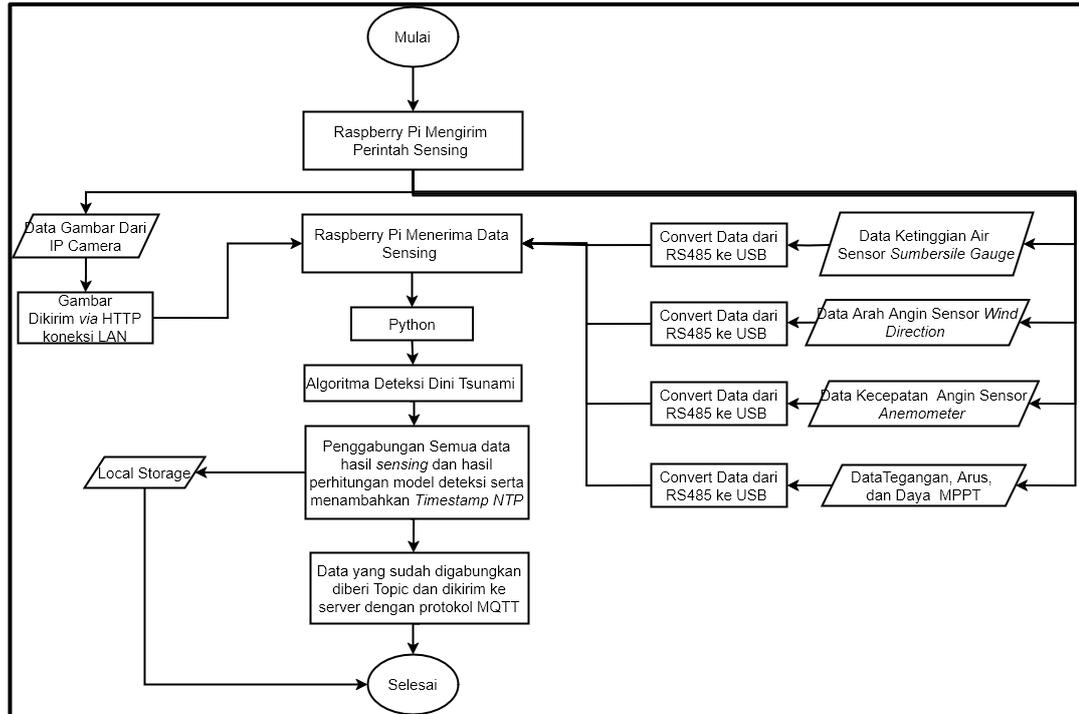
Secara garis besar rancangan alur kerja pada Gambar 3.5 berfokus untuk membangun perangkat peringatan dini tsunami berdasarkan pengukuran ketinggian kolom air laut dengan *sensor submersible gauge* dan akan memberikan peringatan dengan mengirimkan pesan via *telegram* berdasarkan nilai *alert level* dari hasil perhitungan algoritma sistem deteksi tsunami (sesuai penjelasan pada sub-bab 3.4.2.2). Hasil *sensing* ketinggian kolom air laut dengan *sensor submersible gauge* terhubung dengan Raspberry pi menggunakan komunikasi modbus RS485 dengan interval 1 detik. Selain itu, perangkat ini juga dilengkapi *sensor wind direction* dan *wind speed* sebagai komponen pendukung. *Sensor wind direction* digunakan untuk mengukur *arah angin*, sedangkan *sensor wind speed* digunakan untuk mengukur kecepatan angin. Data dari kedua sensor ini penting untuk memvalidasi anomali ketinggian kolom air laut yang mungkin disebabkan oleh tanda-tanda tsunami atau *badai angin*. *Sensor wind direction* dan *wind speed* terhubung ke Raspberry pi melalui komunikasi RS485 dengan interval 1 detik.

MPPT digunakan untuk mengatur pengisian baterai dari solar panel. Data tegangan, arus, dan daya dari MPPT diambil dan diproses di Raspberry pi dengan komunikasi modbus RS485 dengan interval 1 menit. IP Camera digunakan untuk mengambil gambar kondisi lingkungan sekitar dan juga sebagai validasi hasil pembacaan sensor *submersible gauge*. IP Camera terhubung dengan Raspberry pi via LAN dan dikontrol melalui program *node-red* dengan interval 2 menit. Gambar yang diambil dari kamera akan diubah ke format *base64* sebelum dikirim ke server.

Setelah semua input dilakukan integrasi dan terhubung dengan raspberry pi maka dilanjutkan dengan tahap pemrosesan data pada *node-red*. *Node-red* digunakan sebagai *platform* untuk menjalankan semua program pada perangkat dari proses pengumpulan data yang *disensing*, pengolahan data, deteksi dan peringatan tsunami dengan algoritma tsunami, hingga pemrosesan data untuk dikirim ke server. Program deteksi tsunami sudah dijelaskan pada subbab 3.4.2.2 mengenai alur algoritma bekerja dan di integrasikan dengan flow kerja di *node-red* untuk mempermudah kinerja perangkat. Peringatan tsunami ke telegram bot juga di integrasikan di *node-red*. Setelah semua data dikumpulkan dari semua input dan perhitungan algoritma deteksi tsunami sudah selesai maka selanjutnya adalah penggabungan semua data ke bentuk string untuk dikirimkan ke server melalui MQTT protokol. Pemberian waktu pada data yang dikirimkan ke server menggunakan format NTP. Proses ini dilakukan secara periodik dan berulang – ulang hingga perangkat dimatikan oleh pengguna.

3.4.2.3.2 Rancangan Alur Kerja Perangkat Berbasis Python

Pada rancangan berbasis python ini alur kerja perangkat berfokus pada penggunaan python dalam memproses *sensing* sensor, mengumpulkan data yang *disensing*, hingga mengatur pengiriman data ke server dengan MQTT. Gambar 3.6 menampilkan detail dari *flowchart* yang memberikan gambaran mengenai aliran proses dan fungsi masing-masing komponen dalam sistem.



Gambar 3.6 Rancangan Alur Kerja Perangkat Berbasis Python

Gambar 3.6 menjelaskan mengenai rancangan alur kerja perangkat berbasis python dalam membangun perangkat peringatan dini tsunami berbasis IoT berdasarkan ketinggian kolom air laut. Pada rancangan alur kerja berbasis python ini tidak jauh berbeda dengan rancangan alur kerja berbasis Node-red dari segi *input* sensor yang digunakan, protocol pengiriman data ke server, komunikasi sensor dengan Raspberry pi, interval pembacaan sensor dan kamera, interval pengiriman data ke server, serta algoritma deteksi tsunami yang diterapkan. Perbedaan antara rancangan alur kerja perangkat berbasis Node-red dengan berbasis python terletak pada *device programming* yang digunakan. Pada alur kerja berbasis python ini penggunaan *device programming* berfokus pada python. Penggunaan python pada versi ini adalah sebagai *control sensing sensor submersible gauge, wind direction, wind speed, MPPT, IP Camera* dan model deteksi tsunami kemudian memproses semua data yang sudah *disensing* serta mengatur format data untuk dikirim ke server dengan protocol MQTT dan pengiriman pesan peringatan ke telegram bot jika *alert level > 0*. Pada alur kerja ini juga terdapat alur untuk menyimpan data yang telah dikumpulkan dan siap dikirim ke server ke penyimpanan local Raspberry pi sebagai *back-up* apabila terkendala jaringan yang tidak stabil dalam pengiriman MQTT. Alasan utama dari rancangan alur kerja berbasis python ini adalah karna

dengan pemanfaatan python sebagai *device programming* diharapkan mampu memberikan sistem yang stabil dan efisien dalam penggunaan sumber daya Raspberry pi seperti CPU.

3.4.2.4 Rancangan Perhitungan Daya Perangkat

Dalam penelitian ini Peneliti membuat rancangan perhitungan daya perangkat deteksi tsunami yang dapat dilihat pada Tabel 3.3. Perhitungan daya yang dibuat bertujuan untuk mengetahui total daya perangkat dan lama pemakaian baterai.

Tabel 3.1 Perhitungan Daya Perangkat

No	Nama	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
1	Raspberyy pi 4 Model B	5	3	15
3	Router	9	1	9
4	IP Camera	12	0,5	6
5	<i>Submersible Gauge</i>	12	0,02	0,24
6	<i>Wind Direction</i>	12	0,025	0,3
10	<i>Wind Speed</i>	12	0,025	0,3
TOTAL DAYA				30,84

Berdasarkan Tabel 3.3 didapatkan bahwa konsumsi daya perangkat total selama 1 jam adalah 30,84 Wh. Maka dengan mengasumsikan bahwa tegangan selama sehari konstan maka total daya perangkat selama satu hari adalah 740,16 Wh. Pada penelitian ini Peneliti menggunakan baterai 12 V 100 Ah dengan pengaturan DoD (*Depth of Discharge*) baterai 75%. Untuk menghitung berapa lama baterai bisa bertahan tanpa pengisian dari modul surya dapat dihitung dengan cara membagi kapasitas baterai dengan total daya yang diperlukan setiap hari.

$$\begin{aligned} \text{Energi baterai} &= \text{Tegangan Baterai} \times \text{Arus baterai} \times \text{DoD} & (3.1) \\ &= 12 \text{ V} \times 100 \text{ Ah} \times 0,75 \\ &= 900 \text{ Wh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lama Pemakaian Baterai} &= \text{Energi Baterai} / \text{Total Daya Beban 24 Jam} & (3.2) \\ &= 900 \text{ Wh} / 740,16 \text{ Wh} \\ &= 1,21 \text{ Hari} \end{aligned}$$

Dengan asumsi bahwa daya beban konstan selama 24 jam, maka dengan baterai 12V 100 Ah dan beban 740,16 Wh perangkat dapat bertahan selama 1 hari atau

29,04 jam tanpa *charging* dari modul surya. Namun, perlu diingat bahwa faktor-faktor seperti suhu dan kondisi lingkungan dapat mempengaruhi kinerja baterai dan modul surya.

3.4.3 Perakitan dan Kalibrasi Perangkat

Tahap ketiga yaitu melakukan perakitan dan kalibrasi perangkat pendeteksi dini tsunami yang dilakukan oleh peneliti dan dibantu oleh tim yang tergabung dalam U-TEWS (*Unila- Tsunami Early Warning Sistem*). Tahap perakitan dimulai dengan menghubungkan *power supply* untuk *minicomputer*, sensor, router, dan IP kamera. Kemudian dilanjutkan dengan menghubungkan sistem komunikasi antar sensor dengan *minicomputer*. Setelah itu dilakukan kalibrasi pembacaan tiap sensor agar data yang dihasilkan valid. Tahap terakhir adalah melakukan konfigurasi jaringan internet pada *router* agar perangkat dapat mengirim data ke server dengan protokol MQTT. Pada tahap ini dilakukan beberapa konfigurasi sebagai berikut :

3.4.3.1 Konfigurasi Komunikasi Modbus RTU

Pada penelitian ini komunikasi antara sensor *submersible gauge*, *wind direction*, *wind speed*, dan MPPT menggunakan protocol modbus RTU. Agar sensor dapat berkomunikasi dengan Raspberry pi dalam bertukar informasi maka diperlukan konfigurasi komunikasi modbus RTU di program python. Konfigurasi komunikasi pada setiap sensor meliputi :

3.4.3.1.1 Konfigurasi Sensor Submersible Gauge

Sensor *submersible gauge* berkomunikasi dengan Raspberry pi menggunakan protocol komunikasi Modbus RTU. Raspberry pi terlebih dahulu diinstall *library minimal modbus* pada *virtual environment* python. Dengan mengetikkan perintah berikut pada terminal Raspberry pi :

```
python3 -m venv envPumma
source envPumma/bin/activate
pip3 install minimal modbus
deactivate
```

Perintah kode diatas bertujuan untuk membuat *virtual environment* dengan nama envPumma kemudian mengaktifkan *virtual environment* yang telah dibuat dan menginstall *library minimal modbus* yang digunakan untuk komunikasi antara sensor dengan Raspberry pi pada program python. Setelah *library* berhasil di install selanjutnya *virtual environment* bisa dimatikan dengan perintah *deactivate*. Selanjutnya adalah memasukkan *library* yang sudah install ke program untuk membaca sensor *submersible gauge* dan mendaftarkan konfigurasi modbus RTU sensor ke Raspberry pi agar dapat berkomunikasi.

```
#!/home/pi/code/envPumma/bin/python3
import minimalmodbus
import time
import os
import threading
from datetime import datetime
```

Kode diatas bertujuan untuk memberi tahu sistem operasi untuk menggunakan *interpreter python* dalam menjalankan skrip program membaca sensor. Kemudian menggunakan *library minimal modbus* untuk berkomunikasi dengan modbus RTU. *library time* digunakan untuk melakukan penundaan pembacaan sensor dengan interval 1 detik. *Library os* digunakan untuk berinteraksi dengan sistem operasi agar bisa menuliskan file *history sensing sensor* dan dibuka kembali untuk melakukan perhitungan algoritma deteksi tsunami. *Library threading* digunakan untuk mengelola *thread* agar bisa berjalan secara paralel untuk meminimalisir delay pembacaan sensor. *Library datetime* digunakan untuk mendapatkan *timestamp* saat ini pada saat data *sensing* dicatat dan dikirim ke server.

3.4.3.1.2 Konfigurasi Sensor *Anemometer Wind Speed*

Sensor *anemometer wind speed* berkomunikasi dengan Raspberry pi menggunakan protocol modbus RTU. Karena *library minimal modbus* sudah diinstall sebelumnya maka hanya perlu menyesuaikan konfigurasi protokol modbus RTU sensor yang disesuaikan dengan dataset sensor.

Kemudian melakukan konfigurasi pada kode untuk membaca data sensor *wind speed* dengan mengatur *register address* pada 0x0000 dan jumlah data yang akan

dibaca adalah 2. Kemudian data pertama diambil dan diberi label *anemometer_speed* yang berarti data kecepatan angin. Serta data kedua diambil dan diberi label *beaufort_scale* yang berisi data angin dalam skala *beaufort*. Pada kode diatas juga diatur apabila terdapat kesalahan dalam port serial ataupun kesalahan pembacaan maka data dari sensor *wind speed* maka dikembalikan ke bentuk *none*.

3.4.3.1.3 Konfigurasi Sensor *Wind Direction*

Sensor *wind direction* yang membaca data arah angin berkomunikasi dengan Raspberry pi menggunakan modbus RTU. Konfigurasi yang dilakukan dan *library* yang digunakan pada sensor *wind direction* hampir sama dengan sensor *wind speed*.

Selanjutnya melakukan konfigurasi pada kode untuk membaca data derajat arah angin yang dibaca pada *register address* 0x0000 dan membaca arah angin dari hasil pembacaan *register address* 0x1000 dalam *function read_sensor_data*. Kemudian nilai *direction* yang didapat dari pembacaan sensor dikonversi kedalam arah mata angin bahasa indonesia. Interval pembacaan sensor adalah 1 detik yang dijalankan pada *function export main* yang dapat dipanggil deprogram lain dengan perulangan yang terus berjalan sampai program diberhentikan.

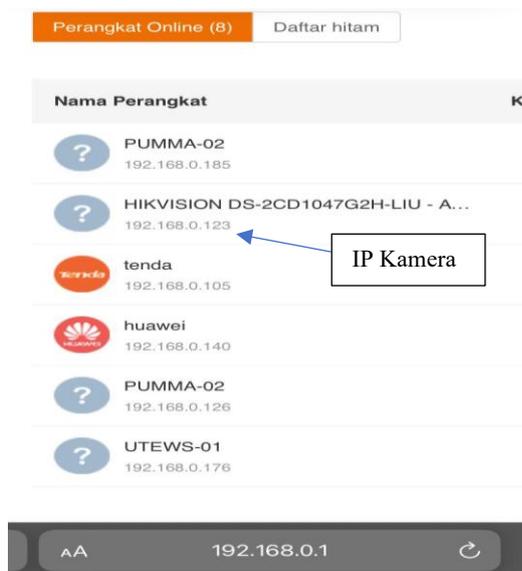
3.4.3.1.4 Konfigurasi MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)

Pada penelitian ini untuk mengetahui tegangan, arus, dan daya dari panel surya, baterai dan beban secara *real-time* maka digunakan MPPT selain sebagai pengatur *power supply* perangkat dapat juga dimanfaatkan untuk pengukuran *real-time*. Komunikasi yang digunakan untuk terhubung dengan Raspberry pi adalah modbus RTU. Konfigurasi yang dilakukan sama dengan sensor dengan komunikasi modbus RTU hanya mengatur Unit Id menjadi 1, *register address* menjadi 0x3100, jumlah data yang dibaca adalah 11, dan mengubah *baudrate* menjadi 115200 yang disesuaikan dengan dataset.

3.4.3.1.5 Konfigurasi Komunikasi Kamera

Pada penelitian ini kamera yang digunakan untuk mengambil gambar kondisi lingkungan untuk memvalidasi hasil pembacaan sensor menggunakan jenis IP kamera. Maka langkah pertama adalah mencari IP kamera yang terhubung pada

jaringan LAN (*Local Area Network*) dengan masuk ke jaringan *router*. Hasil pencarian IP kamera dapat dilihat pada Gambar 3.7.



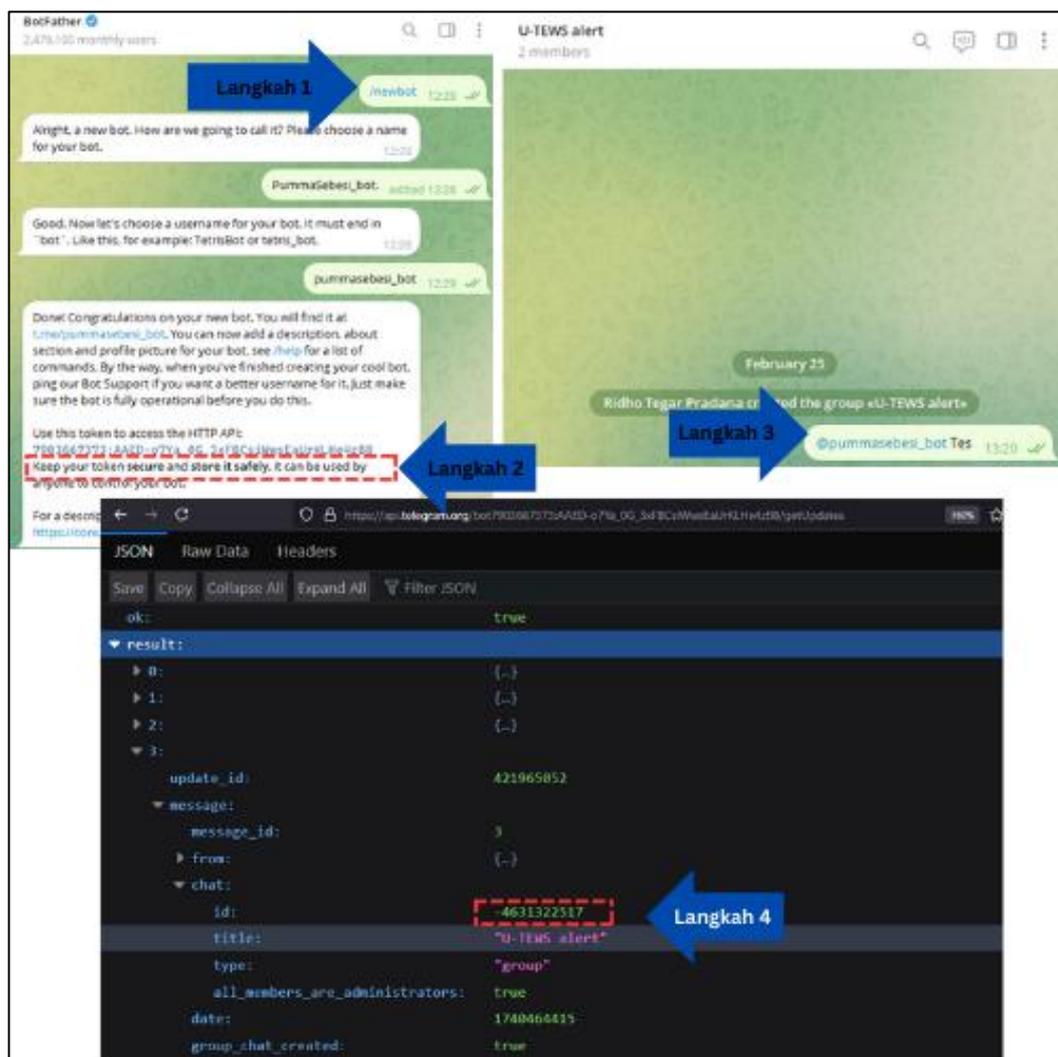
Gambar 3.7 Hasil Scan IP Kamera

Tahap selanjutnya adalah melakukan install *library* yang dibutuhkan untuk terhubung dengan kamera via HTTP dan pengolahan hasil gambar. Adapun *library* yang dibutuhkan adalah *requests* untuk mengirimkan HTTP *requests* dengan metode GET. Kemudian *library pillow* untuk melakukan pengolahan data gambar seperti menambahkan text overlay dan logo.

3.4.3.1.6 Konfigurasi Pesan *Alert* ke Telegram

Pesan *alert* tsunami merupakan notifikasi peringatan akan deteksi tanda – tanda tsunami yang dirancang oleh peneliti. Pesan *alert* ini berisi tingkat *alert level* dari hasil perhitungan algoritma deteksi tsunami yang mengindikasikan bahwa terdapat *anomaly* pasang surut yang terdeteksi yang merupakan tanda – tanda tsunami. *Alert level* yang lebih besar dari 0 akan memicu pengiriman pesan *alert*. Pesan *alert* akan dikirimkan via telegram grup, dengan terlebih dahulu membuat telegram bot yang untuk perangkat deteksi tsunami dapat mengirim pesan *alert* ke grup. Penggunaan *platform* aplikasi telegram yang dengan mudah diakses melalui smartphone diharapkan dapat menjadikan informasi dengan cepat diterima pihak yang berwenang untuk memberikan peringatan tsunami seperti BMKG (Badan

Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika). Berikut dijelaskan langkah – langkah dalam membuat bot telegram dan mengirimkan pesan *alert*.



Gambar 3.8 Pembuatan Bot Telegram

Pada aplikasi telegram, *user* dapat membuat *chatbot* sendiri yang dapat dimodifikasi untuk mengirimkan pesan otomatis. *Chatbot* ini yang kemudian akan mengirimkan pesan *alert* ke grup telegram untuk memberikan notifikasi apabila terdapat *anomaly* yang terdeteksi oleh algoritma deteksi tsunami. Langkah pertama dimulai dengan mengirimkan pesan ke *BotFather* yang merupakan *bot* utama yang dapat menghasilkan *bot* baru. Pesan yang yang dikirimkan adalah “/newbot”. Lalu dilanjutkan dengan mengirimkan nama dan username dari bot yang baru dibuat. Peneliti membuat *bot* dengan nama “PummaSebesi_bot” dan *username* “pummasebesi_bot”. Setelah nama dan *username* selesai dikonfigurasi maka

BotFather akan mengirimkan token API yang dapat digunakan untuk mendapatkan *chat id* grup agar *bot* dapat mengirim pesan ke grup telegram yang dapat dilihat pada langkah dua. Selanjutnya pada langkah tiga peneliti membuat grup dengan nama U-TEWS alert dan menambahkan “pummasebesi_bot”. Untuk mendapatkan *chat id* grup maka peneliti memanggil bot dengan @pummasebesi_bot dan mengirimkan pesan “tes”. Kemudian langkah empat peneliti mencari *chat id* menggunakan web browser dengan link

https://api.telegram.org/bot%22YOUR_BOT_TOKEN%22/getUpdates. Kalimat “YOUR BOT TOKEN” diganti dengan akses token yang telah disalin sebelumnya dari BotFather. Setelah mendapatkan *chat id* dan token API maka dua *value* tersebut yang akan digunakan pada kode untuk mengirimkan pesan *alert* ke telegram.

```
# Telegram Configuration
TELEGRAM_BOT_TOKEN = "*"
TELEGRAM_CHAT_ID = "*"

def send_telegram_alert(message):
    url = f"https://api.telegram.org/bot{TELEGRAM_BOT_TOKEN}/sendMessage"
    payload = {"chat_id": TELEGRAM_CHAT_ID, "text": message}
    try:
        response = requests.post(url, json=payload)
        if response.status_code == 200:
            print("Telegram alert sent successfully")
```

Kode diatas merupakan perintah konfigurasi untuk terhubung dengan *bot* telegram yang sudah dibuat dengan mengisi *value* pada *variable* telegram_bot_token dengan token API dan telegram_chat_id dengan *chat id* yang sudah didapatkan. *Function* *send_telegram_alert* berfungsi untuk terhubung dengan *bot* telegram kemudian mengirimkan pesan alert ke grup telegram.

3.4.4 Uji Kerja Perangkat

Setelah perangkat selesai dirakit maka selanjutnya adalah tahap uji kerja perangkat 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 peneliti membuat beberapa parameter yang

harus tercapai untuk menilai apakah perangkat yang di bangun sudah siap beroperasi di lapangan atau tidak. Peneliti melakukan pengujian perangkat dengan tiga fokus pengujian meliputi :

3.4.4.1 Uji Komunikasi Data

Pada pengujian komunikasi data ini berfokus pada komunikasi antara sensor dengan Raspberry pi hingga pengiriman data ke server dengan melihat *latency* pengiriman data. Tujuan pengujian ini bertujuan melihat keberhasilan dalam perakitan dan kalibrasi perangkat. Pada Tabel 3.4 dijelaskan target capaian yang diinginkan, dan indikator keberhasilan dari pengujian komunikasi.

Tabel 3.2 Tabel Uji Komunikasi Data Perangkat

Fokus Komponen	Target Capaian	Indikator Keberhasilan
Sensor <i>Submersible Gauge</i>	Sensor dapat berkomunikasi dengan Raspberry pi dengan modbus RS485.	Sensor <i>Submersible Gauge</i> terintegrasi dengan Raspberry pi dan bisa menampilkan nilai ketinggian air yang terukur.
	Sensor terkalibrasi dalam mengukur ketinggian air berdasarkan tekanan air yang terukur.	Mendapatkan RMSE pembacaan sensor pada kedalaman hingga 5 meter.
	Data sensor dapat disimpan pada data logger di Raspberry pi	Terdapat data logger sensor <i>Submersible Gauge</i> di Raspberry pi.
<i>Anemometer Wind Speed & Wind Direction Sensor</i>	Kedua sensor dapat berkomunikasi dengan Raspberry pi via komunikasi Modbus RTU.	Hasil pembacaan kecepatan angin dan arah angin dapat dimonitoring via MQTT
	Data kedua sensor dapat disimpan pada data logger di Raspberry pi	Terdapat data logger sensor <i>Wind Speed & Wind Direction</i> di Raspberry pi.
IoT (<i>Internet of Things</i>)	Data yang sudah diproses di Raspberry pi dapat dikirimkan ke server via MQTT protokol.	Data yang dikirim dari Raspberry pi dapat diterima dan dimonitoring di MQTT
	<i>Latency</i> pengiriman data dari perangkat ke server tidak boleh melebihi 5 detik.	<i>Latency</i> pengiriman data dibawah 5 detik yang dipantau dengan wireshark.

3.4.4.2 Uji Sistem Daya Perangkat

Pengujian sistem daya perangkat ini difokuskan pada evaluasi ketahanan baterai dan kinerja panel surya. Tujuan pengujian adalah untuk menentukan durasi ketahanan baterai tanpa pengisian daya dari panel surya serta mengevaluasi efektivitas panel surya dalam memenuhi kebutuhan daya perangkat selama satu hari. Hasil pengujian sistem daya perangkat ini disajikan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.3 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 mensuplai perangkat selama periode penyinaran matahari

3.4.4.3 Uji Kerja Algoritma Deteksi Tsunami di Kolam Renang UNILA

Dalam pengujian algoritma deteksi tsunami ini, Peneliti memfokuskan pada kinerja algoritma dalam mendeteksi tsunami ketika terjadi penurunan ketinggian air secara tiba-tiba yang menyimpang dari pola pasang surut normal. Penurunan ini diindikasikan dalam bentuk *alert level*. Tujuan pengujian adalah untuk mengevaluasi kemampuan algoritma mendeteksi tanda-tanda tsunami dan memastikan bahwa ketika *alert level* terdeteksi, sistem dapat mengambil tindakan lanjutan dengan mengirimkan pesan peringatan melalui Telegram bot. Hasil pengujian algoritma deteksi tsunami pada skala laboratorium ini disajikan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.4 Uji Algoritma Deteksi Tsunami Skala Laboratorium

Fokus Pengujian	Target Capaian	Indikator Keberhasilan
Algoritma deteksi tsunami	Perangkat dapat mendeteksi <i>alert level</i> apabila terjadi ketinggian air secara tiba-tiba	Perangkat dapat mendeteksi <i>alert level</i> apabila penurunan ketinggian air lebih besar dari 0,4 meter secara tiba-tiba.
Pesan peringatan via Telegram Bot	Perangkat mengirimkan pesan peringatan <i>alert level</i> yang terdeteksi ke Telegram Bot	Perangkat dapat mengirimkan pesan peringatan <i>alert level</i> ke Telegram Bot

3.4.5 Pemasangan Perangkat

Setelah perangkat selesai dilakukan uji kinerja skala laboratorium maka selanjutnya adalah pemasangan perangkat pada daerah yang telah ditentukan yaitu Perairan Pulau Sebesi, Kec. Rajabasa, Kab. Lampung Selatan, Lampung. Pemasangan perangkat ini dilakukan oleh peneliti dibantu oleh tim yang tergabung dalam U-TEWS (*Unila- Tsunami Early Warning Sistem*).

3.4.6 Akuisisi dan Analisa Data

Proses akuisisi data dilakukan secara periodik selama penelitian berlangsung dengan memperhitungkan kondisi lingkungan sekitar alat. Data yang terkumpul selanjutnya dianalisis serta divualisasikan dalam bentuk grafik maupun tabel.

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.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian “Sistem Monitoring Dan Deteksi Tsunami PUMMA U-TEWS Berbasis Tekanan Air Laut Dan Iklim Mikro (*Pilot Project* Di Perairan Pulau Sebesi)” maka kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil pengujian perangkat monitoring dan deteksi tsunami PUMMA-UTEWS berbasis tekanan air laut dan iklim mikro berhasil diimplementasikan di Perairan Pulau Sebesi. Nilai RMSE sensor *submersible gauge* sebesar 0,0273 saat dilakukan pengujian dikedalaman 0 hingga 4,5 meter.
2. Berdasarkan hasil pengujian uji sistem daya perangkat dapat disimpulkan sistem daya perangkat yang dibangun pada baterai 12V 100 Ah dapat bertahan selama 91,3 jam dan *output* daya panel surya dalam satu periode penyinaran matahari sebesar 757,8 Wh.
3. Berdasarkan hasil pengujian komunikasi pengiriman data dari perangkat ke server didapatkan parameter QOS (*quality of service*) untuk nilai *throughput* sebesar 34,418 Kb/s, *packet loss* sebesar 0%, *latency* rata – rata sebesar 53,57 *milliseconds* dan *jitter* rata – rata sebesar 42,66 *milliseconds*.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian “Sistem Monitoring Dan Deteksi Tsunami PUMMA U-TEWS Berbasis Tekanan Air Laut Dan Iklim Mikro (*Pilot Project* Di Perairan Pulau Sebesi)” maka saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan pada algoritma deteksi tsunami terutama pada *forecasting* data ketinggian kolom air laut dengan metode *forecasting* lain.
2. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan desain PCB dan sistem *wiring* perangkat menjadi lebih *compact* dan bersifat *plug and play*, sehingga proses instalasi maupun perawatan dapat dilakukan dengan lebih mudah, bahkan oleh masyarakat umum atau pihak yang tidak memiliki latar belakang di bidang IoT.
3. Disarankan kepada peneliti selanjutnya melakukan pengujian pada sensor *submersible gauge* GLT 500 untuk mengetahui kinerja sensor paling akurat pada kedalaman berapa meter dari *range* pengukuran maksimal sensor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Sabara, R. Umam, K. Prianto, R. Junaidi, and A. Rahmat, "Anak Krakatau Mountain (AKM) Causes a Rare Tsunami Phenomenon: Impact Around the Sunda Strait, Indonesia," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 739, no. 1, p. 012036, Apr. 2021, doi: 10.1088/1755-1315/739/1/012036.
- [2] D. Riskianingrum and H. Yogaswara, "The Fading of Disaster Memory in Pulau Sebesi: a Historical Construction," *E3S Web of Conferences*, vol. 340, p. 05008, 2022, doi: 10.1051/e3sconf/202234005008.
- [3] L. Ye *Et Al.*, "The 22 December 2018 Tsunami from Flank Collapse of Anak Krakatau Volcano During Eruption," *Sci Adv*, Vol. 6, No. 3, Pp. 1–9, 2020, Doi: 10.1126/Sciadv.Aaz1377.
- [4] N. R. Prasetiawan *Et Al.*, "PUMMA (Perangkat Ukur Murah Untuk Muka Air) Performance for Water Level Monitoring of Mangrove Ecosystem in Pangandaran," *Iop Conf Ser Earth Environ Sci*, Vol. 925, No. 1, 2021, Doi: 10.1088/1755-1315/925/1/012060.
- [5] S. Husrin, A. Annunziato, G. S. Prasetya, And R. Hidayat, "IDSL For Tsunami Early Warning System in Indonesia," *Iop Conf Ser Earth Environ Sci*, Vol. 1117, No. 1, 2022, Doi: 10.1088/1755-1315/1117/1/012028.
- [6] A. Annunziato, G. Prasetya, And S. Husrin, "Anak Krakatau Volcano Emergency Tsunami Early Warning System," *Science of Tsunami Hazards*, Vol. 38, No. 2, Pp. 68–95, 2019, ISSN 8755-6839 (online), JRC116540.
- [7] T. Sandro, H. Hairatunnisa, And M. Putra, "Analisis Kinerja Sensor Water Level - Pressure Transducer (Studi Kasus Automatic Weather System Di Pelabuhan Merak)," *Electrices*, Vol. 2, No. 2, Pp. 37–42, 2021, Doi: 10.32722/Ees.V2i2.3588.
- [8] D. Riskianingrum, Y. B. Tangkilisan, And B. Kanumoyoso, "Risk Culture on Sebesi Island: Examining the Interplay of Nature and Culture from 1883 to 2018," *Proceedings of the Critical Island Studies 2023 Conference (CISC 2023)*, pp. 282–295, 2023, doi: 10.2991/978-2-38476-186-9_30.
- [9] Á. B. Rocha et al., "Development of Anemometer Based on Inertial Sensor," *Micromachines*, vol. 15, no. 10, p. 1186, Sep. 2024, doi: 10.3390/mi15101186
- [10] M. T. Sapsal, Suhardi, A. Munir, And D. P. Sasmito, "Drilled Wells Water Level Data Recording System for Irrigation of Rainfed Rice Using Arduino

- and Pressure Sensor,” *Iop Conf Ser Earth Environ Sci*, Vol. 807, No. 3, 2021, Doi: 10.1088/1755-1315/807/3/032010.
- [11] A. Saputro, R. Triarmadja, And H. Priyosulistyo, “Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Tsunami (Studi Kasus Selat Sunda),” *Inersia*, Vol. 18, No. 1, Pp. 10–20, 2022, Doi: 10.21831/Inersia.V18i1.47103.
- [12] A. Annunziato, “Tsunami Detection Model for Sea Level Measurement Devices,” *Geosciences (Switzerland)*, Vol. 12, No. 10, 2022, Doi: 10.3390/Geosciences12100386.
- [13] I. B. M. L. Pradirta, I. N. Piarsa, And I. P. A. Dharmadi, “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, 2022, Doi: 10.25126/Jtiik.2022955983.
- [14] W. Kurniawan, D. Daryono, I. Kerta, And T. Triwinugroho, “Analisis Sistem Peringatan Dini Tsunami Di Zona Megathrust Selat Sunda Guna Mewujudkan Ketahanan Nasional,” *Pendipa Journal of Science Education*, Vol. 6, No. 2, Pp. 457–464, May 2022, Doi: 10.33369/Pendipa.6.2.457-464.
- [15] B. Qayyum, A. Ahmed, I. Ullah, And S. A. Shah, “A Fuzzy-Logic Approach for Optimized and Cost-Effective Early Warning System for Tsunami Detection,” *Sustainability (Switzerland)*, Vol. 14, No. 21, 2022, Doi: 10.3390/Su142114516.
- [16] R. Musson, “Intensity and Intensity Scales,” *New Manual of Seismological Observatory Practice 2*, Pp. 1–41, 2012, Doi: 10.2312/Gfz.Nmsop-2.
- [17] 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, 2021, Doi: 10.34010/Komputika.V10i1.3557.
- [18] B. Mishra and A. Kertesz, “The Use of MQTT in M2M and IoT Systems: A Survey,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 201071–201086, 2020, doi: 10.1109/access.2020.3035849.
- [19] H. Kim, H. Lee, and H. Lim, “Performance of Packet Analysis between Observer and WireShark,” 2020 22nd International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), pp. 268–271, Feb. 2020, doi: 10.23919/icact48636.2020.9061452.
- [20] 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, 2022, Doi: 10.24843/Mite.2022.V21i01.P18.
- [21] N. Beckman and J. W. Long, “Quantifying Errors in Wind and Wave Measurements from a Compact, Low-Cost Wave Buoy,” *Frontiers in Marine Science*, vol. 9, Oct. 2022, doi: 10.3389/fmars.2022.966855.

- [22] J. W. Jolles, "Broad-Scale Applications of The Raspberry Pi: A Review and Guide for Biologists," *Methods Ecol Evol*, Vol. 12, No. 9, Pp. 1562–1579, 2021, Doi: 10.1111/2041-210x.13652.
- [23] I. V. Nițulescu and A. Korodi, "Supervisory Control and Data Acquisition Approach in Node-Red: Application and Discussions," *Internet of Things*, Vol. 1, No. 1, Pp. 76–91, 2020, Doi: 10.3390/Iot1010005.
- [24] A. Lind, D. Högberg, A. Syberfeldt, L. Hanson, and D. Lämkułl, "Evaluating a Digital Twin Concept for an Automatic Up-to-Date Factory Layout Setup," *SPS2022*, Apr. 2022, doi: 10.3233/atde220166
- [25] J. S. Parab, M. G. Lanjewar, M. D. Sequeira, G. Naik, and A. Y. Shaikh, "Correction to: Python Programming Recipes for IoT Applications," *Python Programming Recipes for IoT Applications*, pp. C1–C1, 2023, doi: 10.1007/978-981-19-9466-1_7.
- [26] T. Mazhar et al., "Quality of Service (QoS) Performance Analysis in a Traffic Engineering Model for Next-Generation Wireless Sensor Networks," *Symmetry*, vol. 15, no. 2, p. 513, 2023, doi: 10.3390/sym15020513.
- [27] S. A. Ningsih, Subardin, and Gunawan, "Analisis Kinerja Jaringan Wireless LAN Menggunakan Metode QoS Dan RMA," *AnoaTIK: Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, vol. 1, no. 1, 2023, doi: 10.33772/anoatik.v1i1.5.
- [28] M. El-Diasty, M. R. Kaloop, and F. Alsaq, "Chart Datum-to-Ellipsoid Separation Model Development for Obhur Creek Using Multibeam Hydrographic Surveying," *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 10, no. 2, p. 264, Feb. 2022, doi: 10.3390/jmse10020264.
- [29] E. B. Hands, "Tidal Datums," *Encyclopedia of Coastal Science*, pp. 1695–1701, 2019, doi: 10.1007/978-3-319-93806-6_314.
- [30] B. Walsh, R. Carolan, M. Boland, T. Dooley, and T. Kelly, "The Use of Air Pressure Measurements Within a Sealed Moonpool for Sea-State Estimation," *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 12, no. 12, p. 2306, Dec. 2024, doi: 10.3390/jmse12122306.
- [31] J. H. Keyzers, N. D. Quadros, and P. A. Collier, "Vertical Datum Transformations across the Australian Littoral Zone," *Journal of Coastal Research*, vol. 31, no. 1, p. 119, Jan. 2015, doi: 10.2112/jcoastres-d-12-00228.1.