

**PERANCANGAN SOFTWARE SISTEM TRANSMISI DATA DAN
REMOTE ACCESS BERBASIS PYTHON PADA PERANGKAT BUOY
U-TEWS**

(Skripsi)

**Oleh
MUHAMMAD RIZKAN HARIN FAZA
NPM 2115031062**



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

ABSTRAK

PERANCANGAN SOFTWARE SISTEM TRANSMISI DATA DAN REMOTE ACCESS BERBASIS PYTHON PADA PERANGKAT BUOY U-TEWS

Oleh

Muhammad Rizkan Harin Faza

Penelitian ini merancang dan mengembangkan sistem perangkat lunak berbasis Python untuk transmisi data dan akses jarak jauh pada perangkat buoy U-TEWS, guna memperkuat sistem peringatan dini tsunami. Perubahan dari arsitektur berbasis Node-RED didorong oleh temuan uji lapangan bahwa pendekatan tersebut menimbulkan jitter latensi dan beban proses yang signifikan pada perangkat bersumber daya terbatas, terutama saat laju sampling tinggi dan konektivitas akses ke Internet tidak stabil. Python dipilih karena memberi kendali lebih granular atas threading dan asynchronous I/O, pemulihan ulang koneksi MQTT yang lebih andal, serta kehandalan terhadap akuisisi dan transmisi data dengan kerapatan tinggi (1 Hz). Perubahan dari Node-RED ke Python juga memudahkan konsolidasi akuisisi, praproses, dan diagnostik dalam satu basis kode yang mudah diaudit dan dipelihara dibandingkan alur visual yang tersebar. Sistem buoy U-TEWS mengintegrasikan multiple data dari beberapa sensor, yang meliputi sensor tekanan air Submersible Gauge, anemometer, sensor arah angin, giroskop, altimeter tekanan barometrik, dan GPS, untuk memantau ketinggian air laut, kondisi angin, dan posisi buoy secara real-time. Pemrosesan data dilakukan pada mini-komputer papan tunggal (singleboard computer) dengan menggunakan algoritma Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis (DART) untuk mendeteksi anomali tsunami berdasarkan perubahan ketinggian kolom air laut. Data yang diolah dikirim ke server menggunakan protokol MQTT, direkam secara lokal dalam format CSV, dan divisualisasikan pada dashboard berbasis web. Akses jarak jauh disediakan melalui Secure Shell (SSH) diatas Virtual Private Network (VPN), sehingga pemeliharaan tetap efisien dalam kondisi jaringan yang tidak stabil. Kinerja sistem dievaluasi dengan membandingkan implementasi berbasis Python dengan Node-RED, dengan fokus pada kecepatan akuisisi data, efisiensi transmisi, dan responsivitas akses jarak jauh. Hasil menunjukkan implementasi Python memiliki efisiensi lebih tinggi dibandingkan Node-RED (3 paket retransmission vs. 76, dan ukuran paket 90 kB vs 2592.738 kB), latensi lebih rendah (1,41 milidetik), dan kehilangan paket lebih kecil (0% packet loss vs. 9%), sehingga layak digunakan untuk pemantauan tsunami secara real-time.

Kata Kunci: Sistem Peringatan Dini Tsunami, Python, IoT, Buoy U-TEWS, MQTT, Akses Jarak Jauh, Algoritma DART

ABSTRACT

DESIGN OF A PYTHON-BASED DATA TRANSMISSION AND REMOTE ACCESS SOFTWARE SYSTEM FOR THE U-TEWS BUOY DEVICE

Oleh

Muhammad Rizkan Harin Faza

This study designs and develops a Python-based software system for data transmission and remote access on the U-TEWS buoy device to strengthen tsunami early warning capabilities. The shift from a Node-RED architecture was motivated by field tests showing latency jitter and significant processing overhead on resource-constrained devices, especially at high sampling rates and under unstable Internet connectivity. Python was selected because it offers finer control over threading and asynchronous I/O, more reliable MQTT reconnection, and robust handling of high-density (1 Hz) data acquisition and transmission. The move from Node-RED to Python also consolidates acquisition, preprocessing, and diagnostics into a single, auditable codebase that is easier to maintain than distributed visual flows. The U-TEWS buoy integrates multisensor data, including a Submersible Gauge water pressure sensor, anemometer, wind direction sensor, gyroscope, barometric altimeter, and GPS, to monitor water column height, wind conditions, and buoy position in real-time. Data processing runs on a singleboard mini computer, utilizing the Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis (DART) algorithm to detect tsunami anomalies based on water column height changes. Processed data is transmitted to a server using the MQTT protocol, logged locally in CSV format, and visualized on a web-based dashboard. Remote access is enabled through Secure Shell (SSH) over a Virtual Private Network (VPN), ensuring efficient maintenance in unstable network conditions. System performance was evaluated by comparing the Python-based implementation with Node-RED, focusing on data acquisition speed, transmission efficiency, and remote access responsiveness. Results show that Python delivers higher efficiency (3 retransmissions vs. 76; packet size 90 kB vs. 2,592.738 kB), lower latency (1.41 ms), and reduced packet loss (0% vs. 9%), making it a reliable solution for real-time tsunami monitoring.

Keywords: Tsunami Early Warning System, Python, IoT, U-TEWS Buoy, MQTT, Remote Access, DART Algorithm

**PERANCANGAN SOFTWARE SISTEM TRANSMISI DATA DAN
REMOTE ACCESS BERBASIS PYTHON PADA PERANGKAT BUOY
U-TEWS**

Oleh

MUHAMMAD RIZKAN HARIN FAZA

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

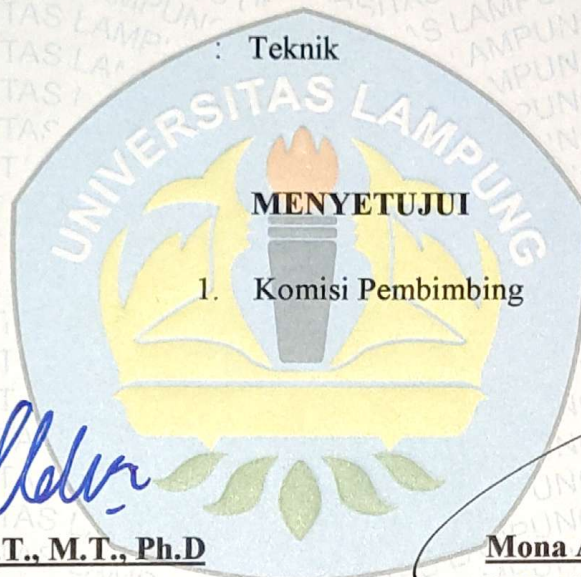
Judul Skripsi : **PERANCANGAN SOFTWARE SISTEM
TRANSMISI DATA DAN REMOTE ACCESS
BERBASIS PYTHON PADA PERANGKAT
BUOY U-TEWS**

Nama Mahasiswa : **Muhammad Rizkan Harin Faza**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2115031062

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik



1. **Komisi Pembimbing**

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

NIP. 19730118 200003 2 001

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

NIP. 19711112 200003 1 002

2. **Mengetahui**

Ketua Jurusan
Teknik Elektro

Herlinawati, S.T., M.T.

NIP. 19710314 199903 2 001

Ketua Program Studi
Teknik Elektro

Sumadi, S.T., M.T.

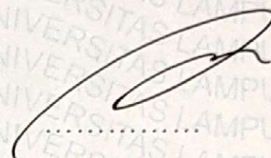
NIP. 19731104 200003 1 001

MENGESAHKAN**1. Tim Penguji**

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



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



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

**2. Dekan Fakultas Teknik**

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

NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 17 Juli 2025

SURAT PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, Juli 2025



Muhammad Rizkan Harin Faza

NPM. 2115031062

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di kota Tasikmalaya pada tanggal 8 Juni 2003, sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara, dari Bapak Hajar Sutiar dan Ibu Reni Nilawati Dewi. Penulis memiliki saudari perempuan yang bernama Firstda Harin Regia Rohmatunisa dan Melanisa Nur Harin Prandya.

Pendidikan Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SDN Mangkubumi 2, kota Tasikmalaya pada tahun 2015, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Amanah Muhammadiyah diselesaikan pada tahun 2018, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Amanah Muhammadiyah yang diselesaikan pada tahun 2021.

Tahun 2021, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif mengikuti Organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (Himatro) Universitas Lampung sebagai anggota Divisi Komunikasi dan Informasi (KOMINFO) tahun 2022 hingga 2023. Penulis mengambil konsentrasi Telekomunikasi dan Teknologi Informasi dan secara aktif mengikuti kegiatan akademik di konsentrasi tersebut. Beberapa kegiatan akademik pada lingkup tersebut yang diikuti oleh penulis diantaranya kegiatan MBKM penelitian Implementasi Stasiun Klimatologi Mikro Berbasis IoT dan Fotogrametri Drone 2023 di Wilayah Hutan Wisata Mangrove Petengoran, anggota riset pengukuran gas karbon *eddy covariance* 2023 hingga 2024 yang dilaksanakan di Wilayah Hutan Wisata Mangrove Petengoran, studi independen Kampus Merdeka, dan anggota riset Sistem Pendeteksi Dini Tsunami 2024 hingga 2025 yang dilaksanakan di Wilayah Hutan Wisata Mangrove Petengoran, Pesisir Desa Canti Kalianda, dan Wilayah Konservasi Gunung Anak Krakatau, dan Kawasan Laut Krakatau Lampung Selatan.

PERSEMBAHAN



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

**“Kepada Kedua Orang Tuaku,
Bapakku Hajar Sutiar dan Ibuku Reni Nilawati Dewi, Serta Kedua
Saudariku Firstda Harin Regia Rohmatunisa dan Melanisa Nur Harin
Prandya”.**

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

“Kepada Diri Sendiri Muhammad Rizkan Harin Faza”.

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

MOTTO HIDUP

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

(Q.S Al Baqarah : 286)

“The only way to do great work is to love what you do.”

(Steve Jobs)

“Knowing is not enough, we must apply. Willing is not enough, we must do.”

(Bruce Lee)

“Orang boleh pandai setinggi langit, tapi selama ia tidak menulis, ia akan hilang di dalam masyarakat dan dari sejarah. Menulis adalah bekerja untuk keabadian.”

(Pramoedya Ananta Toer – Bumi Manusia)

SANWACANA

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji bagi Allah SWT atas berkah, rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Perancangan Software Sistem Transmisi Data Dan Remote Access Berbasis Python Pada Perangkat Buoy U-TEWS" dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Dalam proses penyusunannya, penulis mendapatkan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, khususnya kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Bapak Sumadi, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro Universitas Lampung.
5. Ibu Dr. Sri Purwiyanti, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan arahan dan dukungan kepada penulis.
6. Ibu Ing. Melvi, S.T., M.T., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Utama atas segala waktu yang telah diluangkan untuk memberikan bimbingan, nasihat, arahan dan juga motivasi yang membangun kepada penulis.
7. 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.
8. Bapak Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Penguji atas segala waktu yang telah diluangkan untuk memberikan bimbingan, nasihat, arahan dan juga motivasi yang membangun kepada penulis.
9. Segenap dosen di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama menempuh pendidikan di perkuliahan.

10. Saya ingin mengucapkan terima kasih kepada diri saya sendiri Muhammad Rizkan Harin Faza. Terima kasih tetap berjuang, meski di saat-saat terberat sekalipun. Untuk setiap langkah kecil menuju kemajuan, untuk setiap malam yang dihabiskan, semuanya dilakukan dengan bahagia dan senyuman. 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.
11. Teruntuk panutanku, Bapakku Hajar Sutiar dan Ibuku Reni Nilawati Dewi. 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. Terima kasih telah selalu berada di sisi penulis, memberikan dukungan tanpa henti di setiap suka dan duka, hingga akhirnya penulis mencapai titik ini. Gelar ini bukan semata-mata milik penulis, gelar ini adalah milik kalian juga yang membesarkan, membimbing, dan mendoakan tanpa lelah. Dengan penuh cinta dan hormat, kupersembahkan gelar sarjana ini untuk kalian berdua.
12. Ucapan terima kasih kepada keluarga besarku, terutama kedua saudariku Firstda Harin Regia Rohmatunisa dan Melanisa Nur Harin Prandya, yang selalu menjadi sumber inspirasi dan motivasi serta memberikan dukungan tanpa henti sepanjang penulisan skripsi ini.
13. 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.
14. Seluruh teman-teman Telekomunikasi dan Teknologi Informasi 2021 yang telah memberikan dukungan, semangat dan motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
15. Keluarga Besar Himatro Unila yang telah memberikan pengalaman tak terlupakan kepada penulis.
16. Seluruh pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

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

Bandar Lampung, 30 Juli 2025

Muhammad Rizkan Harin Faza

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
PERSEMBAHAN	viii
SANWACANA	x
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Penelitian Sebelumnya.....	6
2.2. Teknologi IoT dalam Sistem Peringatan Dini	8
2.3. Buoy U-TEWS	9
2.4. Model Deteksi Tsunami	10
2.5. Controller Device	12
2.6. <i>Device Programming</i>	13
2.7. Protokol Sistem Komunikasi Data.....	14
2.8. Protokol Sistem Transmisi Data	14
2.9. <i>Remote Access</i>	15

2.10. Pengukuran Kinerja Sistem.....	16
2.11. <i>Latency</i>	17
2.12. <i>Packet Loss</i>	18
2.13. <i>Round Trip Time (RTT)</i>	18
III. METODE PENELITIAN	20
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.2. <i>Capstone Project</i>	21
3.3. Diagram Alur Sistem Perangkat	22
3.4. Metode Peringatan Dini	24
3.5. Perangkat Penelitian.....	26
3.6. Komponen Utama dalam Sistem	27
3.7. Tahapan Penelitian	28
3.6.1 Studi Literatur dan Bimbingan.....	30
3.6.2 Perancangan Sistem.....	30
3.6.3 Implementasi Sistem	30
3.6.4 Pengujian Sistem	31
3.6.5 Pengumpulan Data	34
3.6.6 Penyusunan Laporan	34
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Gambaran Umum Sistem	35
4.2 Implementasi Perangkat Keras	36
4.3 Implementasi Perangkat Lunak.....	38
4.3.1 Direktori Serial	39
4.3.2 Direktori Modbus	39
4.3.3 Direktori GPS	41
4.3.4 Direktori SCC	41

4.3.5 Direktori CPU.....	41
4.3.6 Algoritma Deteksi Tsunami	44
4.4 Pengujian Sistem.....	48
4.4.1 Pengujian Sistem Komunikasi Data.....	48
4.4.2 Pengujian Pengiriman Data	52
4.4.4 Pengujian Remote Access	57
4.5 Evaluasi Keseluruhan Sistem.....	63
V. PENUTUP	65
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA.....	68
LAMPIRAN.....	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perangkat buoy U-TEWS	10
Gambar 2.2 <i>Round Trip Time</i>	19
Gambar 3. 1 Diagram <i>Capstone</i> Project IKON.....	21
Gambar 3. 2 Diagram Alur Sistem Perangkat	23
Gambar 3. 3 Flow-Chart Algoritma Deteksi Tsunami	25
Gambar 3. 4 Blok Diagram Penelitian	29
Gambar 4. 1 Arsitektur sistem akuisisi dan pengiriman data.....	35
Gambar 4. 2 Implementasi perangkat keras buoy.	37
Gambar 4. 3 Wiring diagram perangkat keras buoy.	38
Gambar 4. 4 Direktori Akuisisi Data.....	39
Gambar 4. 5 Direktori modbus	40
Gambar 4. 6 Dokumentasi crontab refresh sistem	43
Gambar 4. 7 Realisasi diagram alir algoritma deteksi tsunami.....	45
Gambar 4. 8 Output algoritma deteksi tsunami.....	46
Gambar 4. 9 Simulasi alert algoritma DART	47
Gambar 4. 10 Simulasi alert algoritma <i>Kalman filter</i>	48
Gambar 4. 11 Pengujian pengambilan data direktori modbus	49
Gambar 4. 12 Pengujian pengambilan data direktori serial	50
Gambar 4. 13 Pengujian pengambilan data direktori GPS.....	50
Gambar 4. 14 Pengujian pengambilan data direktori scc.....	51
Gambar 4. 15 Pengujian pengambilan data direktori CPU	51
Gambar 4. 16 Pengiriman data melalui protokol MQTT	52
Gambar 4. 17 Analisis paket menggunakan wireshark	53
Gambar 4. 18 Grafik Latency pengiriman data	53

Gambar 4. 19 Gambar analisis lonjakan <i>latency</i> pengiriman data	54
Gambar 4. 20 Grafik <i>latency</i> tanpa lonjakan latency	55
Gambar 4. 21 Packet properties	56
Gambar 4. 22 Dokumentasi paket RTT pada koneksi SSH	57
Gambar 4. 23 Dokumentasi paket RTT pada koneksi Node-RED	58
Gambar 4. 24 Analisis <i>lost segment</i> pada paket akses SSH.....	60
Gambar 4. 25 Analisis <i>retransmission</i> pada paket akses SSH.....	61
Gambar 4. 26 Analisis <i>lost segment</i> pada paket akses Node-RED	61
Gambar 4. 27 Analisis <i>retransmission</i> pada paket akses Node-RED	62
Gambar 4. 28 Grafik perbandingan <i>packet loss remote access</i>	63

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Tabel alat dan perangkat yang digunakan	26
Tabel 3. 2 Komponen yang diintegrasikan.....	27
Tabel 3. 3 Tabel Uji Komunikasi Data Perangkat.....	32
Tabel 4. 1 <i>Output</i> direktori serial.....	39
Tabel 4. 2 <i>Output</i> direktori modbus.....	40
Tabel 4. 3 <i>Output</i> direktori GPS	41
Tabel 4. 4 <i>Output</i> direktori SCC.....	41
Tabel 4. 5 <i>Output</i> direktori CPU	42
Tabel 4. 6 Tabel Koneksi RTT pada koneksi SSH dan Node-RED.....	58

b

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Buoy adalah pelampung yang berfungsi sebagai penanda di permukaan laut, secara tradisional digunakan untuk menunjukkan jalur navigasi yang aman atau memberikan peringatan terhadap bahaya seperti keberadaan karang, bangkai kapal, dan rintangan lainnya di bawah air. Teknologi pada buoy terus berkembang sejak tahun 1920-an dan telah menjadikannya platform penting yang membawa berbagai perangkat pemantauan untuk menghasilkan data pengukuran in-situ. Data yang dihasilkan berperan penting dalam pencegahan bencana, eksploitasi sumber daya laut, penelitian ilmiah, serta mendukung keamanan nasional[1]. Panel surya yang terpasang memungkinkan buoy modern beroperasi secara berkelanjutan dengan menyimpan energi dalam baterai untuk mendukung operasional jangka panjang di lingkungan laut [2].

Teknologi yang dikembangkan pada stasiun pemantauan yang terpasang di buoy meliputi anemometer untuk mengukur kecepatan angin[3], sensor tekanan air laut (*submersible gauge*) untuk mengukur kedalaman laut dengan mengonversi tekanan yang terdeteksi, dan sensor arah angin (*wind direction*) untuk memperoleh data mengenai arah mata angin[4]. *Accelerometer* digunakan untuk mendeteksi pergerakan buoy akibat gelombang laut[5]. GPS berfungsi untuk menentukan posisi geografis buoy secara akurat. Data yang dihasilkan dari sensor tersebut diproses oleh mikrokontroler dan mikrokomputer yang saling terhubung. Pengolahan data dilakukan melalui platform pemrograman visual seperti Node-RED untuk menghasilkan informasi yang relevan dan mendukung analisis data secara *real-time* [6]. Data yang sudah diolah akan dikirim melalui *platform Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) setiap 1 detik untuk disimpan di *database* dan dilakukan visualisasi di *dashboard*.

Peletakan buoy di tengah laut menghadirkan tantangan dalam pemeliharaan sistem yang menggunakan mikrokomputer. Tantangan itu pada keterbatasan jaringan internet yang stabil menjadi hambatan utama dalam pengoperasian dan pemeliharaan sistem buoy melalui platform seperti Node-RED. Selain itu, proses konfigurasi Node-RED membutuhkan waktu yang relatif lama, sehingga sistem yang lebih sederhana dan efisien diperlukan untuk mendukung pengoperasian dan pemeliharaan buoy secara optimal.

Perancangan sistem dengan menggunakan bahasa pemrograman python menawarkan solusi yang lebih unggul dibandingkan dengan Node-RED dalam mengatasi kendala pemeliharaan buoy. python tidak hanya lebih ringan dalam pengoperasian, tetapi juga memberikan fleksibilitas yang lebih tinggi karena dapat diakses langsung melalui protokol *secure shell* (SSH) yang terhubung melalui *virtual private network* (VPN)[7]. Berbeda dengan Node-RED yang membutuhkan konfigurasi awal yang kompleks dan ketergantungan pada antarmuka berbasis web, python memungkinkan eksekusi perintah secara langsung tanpa memerlukan antarmuka tambahan. Hal ini menjadikan penggunaan python lebih efisien, terutama dalam lingkungan laut yang terbatas konektivitasnya, sehingga mendukung pemeliharaan sistem buoy dengan cara yang lebih sederhana, cepat, dan andal.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan memperbarui sistem peringatan dini tsunami berbasis python pada perangkat buoy. Diharapkan bahwa inovasi ini dapat meningkatkan kecepatan dan akurasi dalam memberikan peringatan kepada masyarakat serta memperkuat kesiapsiagaan terhadap ancaman tsunami.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengembangkan sistem peringatan dini tsunami berbasis python?
2. Bagaimana efektivitas sistem berbasis python pada sistem komunikasi perangkat dalam mengirimkan data ketinggian air laut dan lingkungan untuk ditampilkan pada *dashboard*?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Merancang sistem peringatan dini tsunami berbasis python pada perangkat buoy yang dapat mengukur ketinggian air laut, kecepatan dan arah angin yang dapat mendeteksi tsunami di Perairan Krakatau.
2. Menganalisis dan mengevaluasi kinerja dari sistem berbasis python dengan membandingkannya pada perangkat yang sama.
3. Mengimplementasikan sistem yang dirancang dan melakukan pengujian dilingkungan sebenarnya.

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini akan terbatas pada perancangan dan pengembangan sistem peringatan dini tsunami pada perangkat buoy berbasis python, tanpa mengkaji perangkat keras secara detail.
2. Penelitian ini akan mengutamakan peningkatan efisiensi dalam pengintegrasian data dan responsivitas dalam pengiriman data menuju server.
3. Analisis efektivitas sistem akan dilakukan dengan membandingkannya dengan sistem berbasis Node-RED, dengan fokus pada parameter kecepatan akuisisi data, pengiriman data, dan akses remote.

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 mengenai bencana tsunami dimasa depan.
2. Bagi masyarakat, dapat mengurangi resiko bencana alam tsunami yang menimbulkan kerugian dari sisi moral maupun material. Selain itu, masyarakat dapat mengetahui kecepatan angin sebelum memutuskan untuk pergi berlayar di sekitar perangkat dipasang.
3. Bagi pemerintah, dapat memperkuat sistem penanggulangan bencana alam tsunami yang masih terkendala.

1.6. Sistematika Penulisan

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

I. PENDAHULUAN

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

II. TINJAUAN PUSTAKA

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

III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memaparkan metodologi penelitian antara lain waktu dan tempat pengerjaan, alat dan bahan yang digunakan dalam pengerjaan penelitian, serta

metode dan diagram penelitian yang akan digunakan dalam pengerjaan penelitian skripsi.

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 skripsi.

DAFTAR PUSTAKA

Bab ini berisikan referensi dari penulisan dan pelaksanaan penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Penelitian pada skripsi ini dibuat dengan memperhatikan analisa dan hasil dari penelitian sebelumnya dalam beberapa tahun terakhir. Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan perancangan sistem, *Internet of Things* (IoT) dan *Early Warning System* (EWS).

Pradana *et al* (2023) [8] melakukan penelitian dengan mengembangkan sistem peringatan dini insiden tumpahan minyak dengan memanfaatkan *Internet of Things* (IoT), menunjukkan bagaimana sistem peringatan dini dalam kasus tumpahan minyak dengan menggunakan *oil spill sensor* yang disebar di beberapa titik, dan pengumpulan data dilakukan menggunakan node yang telah disebar dan mengirimkan datanya kepada *gateway* menggunakan sinyal radio kemudian data dikirimkan oleh *gateway* ke *cloud* melalui jaringan internet.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian yang akan dilakukan terletak dalam parameter yang digunakan serta implementasi dari sistem peringatan dini. Pada penelitian yang akan dilakukan, peneliti menggunakan sensor tekanan air jenis *Submersible gauge* untuk mengukur ketinggian air laut sebagai sistem peringatan dini tsunami yang dikontrol secara langsung oleh raspberry pi untuk diproses dan dikirimkan ke server dengan protokol *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT).

Selain itu sistem deteksi banjir, badai angin, dan pemantauan cuaca berbasis IoT juga telah dikembangkan oleh Pradirta *et al* (2022)[9]. penelitian oleh Pradirta telah menghasilkan perangkat yang mampu mengukur ketinggian air, curah hujan, dan kecepatan angin, yang dikendalikan menggunakan arduino uno. Data dari perangkat ini dikirimkan ke *dashboard* pemantauan melalui komunikasi *bluetooth*. Selain itu,

sistem ini dilengkapi dengan fitur peringatan berupa *buzzer* yang akan aktif jika ketinggian air atau kecepatan angin melebihi ambang batas yang telah ditentukan.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian yang dilakukan terletak pada jenis sensor, controller dan protocol pengiriman data yang digunakan. Penelitian ini akan menggunakan sensor *Submersible gauge* untuk mengukur ketinggian air laut, dan sensor Anemometer *Wind Speed Sensor* dan *Wind Vane Direction Sensor* untuk mengukur kondisi lingkungan yang dikontrol oleh raspberry pi untuk diproses dan dikirimkan ke server menggunakan *protocol* MQTT.

Dalam penelitian yang lain S. Husrin *et al* (2022) [10]. Membahas *Inexpensive Device for Sea Level measurement* (IDSL) sebagai bagian dari sistem peringatan dini tsunami di Indonesia, yang dirancang menggunakan sensor berbasis radar untuk mengukur tinggi muka air laut. IDSL menerapkan algoritma Kalman filter sebagai model untuk deteksi anomali yang secara otomatis akan mengirimkan *text message* kepada nomor yang telah ditentukan.

Perbedaan penelitian tersebut dengan penelitian yang dilakukan terletak pada sensor dan algoritma yang digunakan. Pada penelitian ini sensor *ultrasonic* MB7066 yang mengukur perubahan ketinggian dari permukaan air laut, sedangkan pada penelitian yang saya lakukan, pengukuran ketinggian air laut adalah hasil konversi dari tekanan air yang dibaca oleh sensor tekanan air jenis *submersible gauge*. Kemudian algoritma deteksi anomali yang digunakan menerapkan algoritma *Deep-ocean Assesment Report Tsunamies* (DART) yang lebih cocok diterapkan pada perangkat buoy.

Dalam penelitian lain yang dilakukan oleh Lin *et al* (2017)[11] telah melakukan penelitian yang menghasilkan perangkat GNSS buoy sebagai alat monitoring tinggi muka air laut yang dirancang menggunakan sensor berbasis barometrik. Alat ini mengukur tinggi air laut berdasarkan ketinggian perangkat buoy diatas air laut dengan parameter altitude, kemudian data yang diterima akan ditransmisikan dengan menggunakan sinyal radio menuju pusat pengolahan data.

Perbedaan utama penelitian yang dilakukan oleh Lin *et al* dengan penelitian yang dilakukan adalah pada jenis sensor dan sistem transmisi yang digunakan. Penelitian ini akan menggunakan sensor tekanan air jenis *submersible gauge* yang dikontrol oleh raspberry pi untuk diproses dan dikirim ke server dengan menggunakan protokol MQTT.

Selain itu M. Esposito et al (2022) [12], membahas tentang penerapan solusi berbasis Internet of Things (IoT) dalam sistem peringatan dini untuk bencana alam. Pada penelitian tersebut dihasilkan sebuah sistem deteksi tsunami dengan perangkat *underwater sensor node* yang menggunakan sensor tekanan air yang terhubung ke perangkat buoy menggunakan *acoustic communication data layer*. Dan transmisi data yang telah dikumpulkan oleh buoy menuju *central station* menggunakan sinyal satellite.

Perbedaan penelitian tersebut dengan penelitian yang dilakukan terletak pada sistem komunikasi data sensor dan protokol komunikasi transmisi data. Pada penelitian yang akan dilakukan, peneliti menggunakan komunikasi modbus-RTU untuk menghubungkan sensor tekanan air dengan *controller* (raspberry pi) secara langsung. Kemudian pada transmisi data peneliti menggunakan protokol MQTT untuk mengirimkan data ke server secara langsung yang dapat dimonitor di *dashboard* berbasis website.

2.2. Teknologi IoT dalam Sistem Peringatan Dini

Internet of Things (IoT) adalah konsep yang memungkinkan perangkat fisik untuk saling terhubung dan berbagi data melalui jaringan tanpa perlu campur tangan manusia. Perangkat fisik yang digunakan pada IoT di sini adalah sensor-sensor dan aktuator yang dapat mengumpulkan data dari lingkungannya.

Pada penelitian ini, saya menggunakan teknologi IoT dalam pengembangan sistem peringatan dini tsunami. Menggunakan IoT maka memungkinkan integrasi sensor-sensor yang dapat memantau kondisi laut secara *real-time* dan mengirimkan data

tersebut ke server untuk analisis lebih lanjut. Hal ini meningkatkan kecepatan dan akurasi dalam memberikan peringatan [12].

Penerapan IoT dalam sistem peringatan dini tsunami dimana pada penelitian ini saya membangun alat yang disebut buoy yang artinya dalam Bahasa Inggris adalah benda yang mengapung di air terutama di permukaan air laut. Buoy ini dilengkapi dengan berbagai sensor, seperti sensor tekanan air untuk mendeteksi perubahan kedalaman akibat pergerakan dasar laut, *Global Positioning System* (GPS) untuk memantau posisi buoy, sensor *anemometer* dan *wind direction* untuk memantau kondisi lingkungan, dan sensor *gyroscope* untuk memantau pergerakan dari perangkat buoy. Data dari sensor-sensor tersebut dikirimkan melalui protokol MQTT ke server yang telah disediakan dan akan divisualisasi di *web dashboard*.

2.3. Buoy U-TEWS

Buoy seperti pada gambar 2.1 adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur parameter gelombang laut, seperti tinggi gelombang, arah gelombang, dan periode puncak gelombang. Perangkat ini, yang mengikuti permukaan air, menjadi sumber utama pengukuran gelombang di luar area pantai dangkal[13]. Penelitian ini memanfaatkan buoy yang dilengkapi dengan enam sensor, yaitu: *submersible gauge* untuk mengukur ketinggian air berdasarkan tekanan air, *anemometer* dan *wind direction* untuk mengukur kecepatan angin dan arah angin, pergerakan buoy menggunakan *gyroscope*, ketinggian perangkat buoy berdasarkan parameter *altitude* menggunakan tekanan barometrik, serta GPS untuk menentukan lokasi buoy secara akurat.

Semua parameter diukur melalui modul dan sensor yang terhubung dengan mikrokontroler arduino nano dan raspberry pi. Dua sensor yaitu *gyroscope* dan tekanan barometrik terhubung ke arduino nano menggunakan komunikasi *Inter-Integrated Circuit* (I2C), sedangkan arduino nano terhubung secara *serial* dengan raspberry pi. Dan empat sensor lainnya, yaitu: *submersible gauge*, *anemometer*, *wind direction* dan GPS terhubung langsung ke raspberry pi menggunakan modul RS485.

Raspberry pi berfungsi untuk mengolah data yang diterima dari sensor-sensor tersebut, termasuk data yang diteruskan oleh arduino nano. Setelah data diterima, raspberry pi melakukan perhitungan untuk deteksi tsunami. Hasil pengolahan dan perhitungan ini kemudian disimpan dalam format *comma separated value* (CSV) pada *local storage* dan dikirimkan ke *database* melalui protokol MQTT dengan format *JavaScript Object Notation* (JSON). Data yang tersimpan di database juga divisualisasikan di *dashboard* untuk memudahkan analisis dan pemantauan.



Gambar 2. 1 Perangkat buoy U-TEWS

[sumber: dokumentasi pribadi]

2.4. Model Deteksi Tsunami

Agar perangkat dapat memberikan peringatan tsunami maka dibutuhkan sebuah model yang dapat menganalisis ketinggian air laut dengan cepat dan akurat. Dalam pembuatan model deteksi tsunami, perlu diperhatikan spesifikasi kinerja alat. Disarankan agar model yang dikembangkan tidak terlalu kompleks, mengingat alat yang digunakan adalah perangkat yang memiliki keterbatasan dalam hal kemampuan komputasi[14].

Tsunami ditandai dengan perubahan besar pada pasang surut yang diharapkan pada waktu tertentu, terutama dari segi waktu. Oleh karena itu, pemahaman yang baik tentang pola pasang surut di lokasi pemasangan perangkat sistem sangat penting

untuk mengaktifkan peringatan tsunami jika terjadi *anomaly*[15]. *Anomaly* ini bisa disebabkan oleh faktor iklim, seperti gelombang badai. Oleh karena itu, model deteksi tsunami yang dikembangkan harus mampu membedakan antara tanda-tanda tsunami dan anomali lainnya.

Algoritma *Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis* (DART) merupakan salah satu algoritma yang dirancang untuk mendeteksi tsunami dengan memanfaatkan data tinggi muka air laut. Algoritma ini dikembangkan oleh Mofjeld di Pacific Marine Environmental Laboratory dan dikenal karena kemudahan implementasi, biaya komputasinya yang rendah, serta efektivitas dalam mendeteksi tsunami dibandingkan dengan metode lainnya.

DART beroperasi dengan menganalisis data dari *tide gauge* yang terpasang di berbagai lokasi, yang merekam perubahan tinggi muka air laut akibat gelombang tsunami. Karakteristik impulsif dari gelombang tsunami, yang berbeda dari pola sinyal tinggi muka air laut biasa, memungkinkan algoritme DART untuk mendeteksi tsunami dengan lebih baik. Dalam hal ini, kemiringan sinyal tinggi muka air laut menjadi indikator penting dalam proses deteksi.

Pemanfaatan parameter yang tepat dan evaluasi kinerja algoritma, DART dapat memberikan peringatan dini yang akurat dan tepat waktu, yang sangat penting dalam mitigasi risiko tsunami. Algoritma DART digunakan untuk menghitung prediksi muka air laut menggunakan data sebelumnya dan membandingkannya dengan data aktual. Deteksi tsunami didasarkan pada DART Index (DI), yaitu selisih antara prediksi dan pengukuran aktual. Berikut adalah penjelasan lebih rinci[16]:

$$h_{prediksi}(t) = \omega_0 h_0 + \omega_1 h_1 + \omega_2 h_2 + \omega_3 h_3 \quad (2.1)$$

dimana $\mathbf{h}_{prediksi}(t)$ adalah nilai tinggi muka air laut yang diprediksi pada waktu (t), dan $\omega_0, \omega_1, \omega_2$ dan ω_3 adalah bobot yang ditentukan berdasarkan analisis data historis yaitu 2.1957, -2.2038, 1.3233, -0.3152 secara berurutan[16][17]. Nilai $\mathbf{h}_0, \mathbf{h}_1, \mathbf{h}_2$ dan $\mathbf{h}_3$ adalah nilai tinggi muka air laut yang diukur pada titik-titik waktu tertentu. Bobot ini berfungsi untuk memberikan kontribusi yang berbeda terhadap prediksi berdasarkan relevansi data historis yang digunakan. Setelah

menghitung nilai prediksi, langkah selanjutnya adalah menghitung indeks DART (DI) dengan rumus:

$$DI(t) = |h_{aktual}(t) - h_{prediksi}(t)| \quad (2.2)$$

Indeks DART ini mengukur selisih antara tinggi muka air laut aktual dan tinggi muka air laut yang diprediksi. Jika nilai DI melebihi ambang batas yang ditentukan maka, sistem akan mengindikasikan adanya potensi tsunami.

$$DI(t) > \text{threshold} \quad (2.3)$$

Penentuan threshold ini sangat penting dan harus disesuaikan dengan kondisi lokal serta karakteristik gelombang tsunami yang dapat bervariasi di berbagai lokasi. Nilai threshold secara *default* adalah 3-5 cm, namun nilai threshold ini dapat disesuaikan berdasarkan tingkat kesensitifan algoritma. Untuk meminimalkan *output false positive* nilai dari threshold dinormalisasikan dengan rentang nilai 0.4-1.6 m[17]. Secara keseluruhan, algoritma DART menggabungkan teknik analisis data dan pemodelan matematis untuk mendeteksi tsunami dengan efisien, sehingga dapat meningkatkan sistem peringatan dini tsunami di wilayah-wilayah rawan, seperti Indonesia.

2.5. Controller Device

Pada penelitian ini, perangkat buoy U-TEWS menggunakan *controller* yang memanfaatkan raspberry pi sebagai *minicomputer* untuk memproses data input dari berbagai sensor dan mengintegrasikan data serta mengirimkannya ke server. raspberry pi adalah *minicomputer* dengan biaya rendah yang dikembangkan oleh raspberry pi Foundation. Semua model raspberry pi dilengkapi dengan pin yang memungkinkan komunikasi dengan berbagai perangkat elektronik [18].

Dalam penelitian ini, raspberry pi berfungsi sebagai *controller* yang mengolah semua input yang diterima dari sensor menggunakan berbagai metode komunikasi. Setelah data input diproses, raspberry pi mengatur format pengiriman data berbentuk JSON dengan menggunakan protokol MQTT, dimana raspberry pi bertindak sebagai *publisher* MQTT. Selain itu, raspberry pi juga dapat diakses dan

dikendalikan dari jarak jauh melalui *Secure Shell* (SSH). Fitur remote ini diharapkan dapat mempermudah monitoring serta pemeliharaan perangkat jika terjadi masalah pada perangkat sensor ataupun *controller*. Agar dapat mengakses raspberry pi dari jarak jauh dan mengirimkan data menggunakan MQTT, perangkat ini harus terhubung ke jaringan internet. Oleh karena itu, *router* digunakan sebagai *gateway* untuk menghubungkan perangkat dengan internet.

2.6. *Device Programming*

Device programming pada buoy U-TEWS diterapkan dalam mengendalikan fungsi utama, seperti pengolahan data sensor, deteksi tsunami, pengiriman peringatan melalui protokol MQTT, serta penyimpanan data pada memori lokal raspberry pi. Sistem ini memerlukan integrasi antara komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang andal untuk memastikan pemantauan kondisi laut secara *real-time*. Selain itu, efisiensi energi dan ketahanan sistem menjadi prioritas utama, mengingat perangkat beroperasi di lingkungan laut yang keras dan memiliki akses internet yang sering kali tidak stabil.

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 [12]. 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.

Node-RED, yang awalnya dikembangkan oleh IBM, memungkinkan integrasi berbagai perangkat dan sensor melalui antarmuka grafis yang intuitif, sehingga memudahkan pengguna dalam menghubungkan dan mengelola data dari berbagai sumber [19], [20]. Node-RED menawarkan kemudahan dalam perancangan alur data melalui antarmuka *drag-and-drop* yang intuitif, membuatnya sangat cocok

untuk pengembangan sistem sederhana atau prototipe. Namun, pada penelitian ini, Node-RED digunakan sebagai sistem pembandingan terhadap python. Pembandingan difokuskan pada evaluasi kemampuan sistem dalam kondisi internet yang tidak stabil, dengan menggunakan parameter seperti meliputi kecepatan akses dan kemampuan dalam mengumpulkan dan mengirimkan data menuju *server*.

2.7. Protokol Sistem Komunikasi Data

Sistem komunikasi adalah rangkaian yang berfungsi untuk menyampaikan informasi dari satu tempat ke tempat lain. Sistem komunikasi dirancang untuk memfasilitasi pengiriman, penerimaan, dan pemrosesan informasi secara efisien dan efektif.

Sistem komunikasi dalam IoT menggunakan protokol komunikasi IoT, yang merupakan standar dan metode yang memungkinkan perangkat IoT berkomunikasi satu sama lain. Berikut adalah beberapa jenis sistem komunikasi yang digunakan dalam perangkat buoy:

1. Modbus RTU (*Remote Terminal Unit*)

Modbus RTU adalah protokol komunikasi serial Modbus yang dirancang untuk sistem otomasi industri. Ini memfasilitasi pertukaran data antara berbagai perangkat, seperti sensor, aktuator, dan pengontrol, terhubung ke saluran komunikasi bersama dengan bantuan modul RS485.

2. UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*)

UART merupakan protokol komunikasi serial yang digunakan untuk bertukar data antara dua perangkat dalam perangkat IoT dengan bantuan pin RX dan TX ataupun dengan kabel USB.

2.8. Protokol Sistem Transmisi Data

Protokol pada sistem transmisi data memainkan peran penting dalam memastikan pengiriman informasi yang efisien dan dapat diandalkan antara perangkat yang terhubung dalam jaringan. Dalam konteks sistem ini, data dikirimkan melalui

protokol MQTT, yang merupakan protokol ringan dan efektif untuk komunikasi data berbasis pesan. MQTT bekerja dengan prinsip *publish-subscribe*, di mana perangkat penerima (*subscriber*) dapat menerima data dari perangkat pengirim (*publisher*) yang mengirimkan pesan melalui broker MQTT[21], [22].

Sistem ini memungkinkan pengiriman data secara real-time dengan latensi yang rendah dan konsumsi bandwidth yang minimal, menjadikannya ideal untuk aplikasi yang membutuhkan pengiriman data dalam jumlah besar atau perangkat yang memiliki keterbatasan sumber daya. Pada sistem transmisi data ini, raspberry pi berfungsi sebagai *publisher* yang mengirimkan data hasil pengolahan dari sensor, sedangkan server yang terhubung bertindak sebagai *subscriber* untuk menerima data yang dikirimkan. Dengan protokol MQTT, pengiriman data dapat dilakukan secara aman dan efisien, baik dalam kondisi jaringan yang stabil maupun pada situasi yang lebih dinamis.

2.9. Remote Access

Remote access memungkinkan pengguna untuk mengakses dan mengendalikan perangkat dari lokasi yang jauh, tanpa memerlukan kehadiran fisik di tempat perangkat tersebut berada. Dalam sistem ini, dua teknologi utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Virtual Private Network* (VPN) dengan ZeroTier dan metode *remote SSH*.

ZeroTier merupakan salah satu solusi VPN yang menyediakan koneksi jaringan pribadi yang aman melalui internet. ZeroTier memungkinkan perangkat untuk terhubung satu sama lain seolah-olah berada dalam jaringan lokal yang sama, meskipun secara fisik terpisah oleh jarak yang jauh[23]. Dengan menggunakan ZeroTier, perangkat dapat saling terhubung secara langsung, memungkinkan pengiriman data yang aman dan efisien, serta memberikan fleksibilitas dalam akses jaringan yang tersebar. Keunggulan ZeroTier terletak pada kemudahan pengaturan, tanpa memerlukan konfigurasi router yang kompleks atau perangkat keras tambahan [24].

Di sisi lain, metode remote SSH memungkinkan akses ke perangkat berbasis Linux atau Unix melalui terminal. SSH menyediakan komunikasi yang terenkripsi, menjaga keamanan data yang dikirimkan antara perangkat lokal dan perangkat remote [25]. Dengan menggunakan SSH, pengguna dapat menjalankan perintah-perintah di perangkat remote, mengelola file, atau melakukan konfigurasi perangkat tanpa harus berada di lokasi fisik. Remote SSH sangat berguna untuk pemeliharaan perangkat secara jarak jauh dan troubleshooting, terutama pada sistem yang memerlukan pengolahan data atau konfigurasi rutin.

Kombinasi penggunaan ZeroTier untuk membangun koneksi VPN dan SSH untuk akses jarak jauh memungkinkan kontrol penuh terhadap perangkat, dengan menjaga keamanan komunikasi dan memudahkan pemeliharaan sistem tanpa gangguan lokasi. Teknologi ini menjadi solusi efektif untuk sistem yang terintegrasi dalam jaringan IoT atau perangkat yang perlu diakses secara real-time dari tempat yang jauh.

2.10. Pengukuran Kinerja Sistem

Pengukuran kinerja sistem sangat penting untuk memastikan bahwa perangkat dan jaringan yang digunakan dalam sistem transmisi data dan remote access berfungsi dengan baik, efisien, dan dapat diandalkan. Dalam penelitian ini, pengujian sistem dilakukan menggunakan *software* Wireshark untuk mengukur beberapa parameter kinerja yang berkaitan dengan transmisi data dan akses remote SSH.

Wireshark adalah alat analisis jaringan yang memungkinkan pemantauan paket data yang dikirim melalui jaringan secara real-time. Dengan Wireshark, kita dapat melakukan analisis mendalam terhadap lalu lintas jaringan, termasuk pengukuran parameter-parameter penting seperti *latency*, *packet loss*, dan *round trip time* (RTT)[26].

1. ***Latency***: *Latency* mengacu waktu yang dibutuhkan oleh sebuah paket data untuk melakukan perjalanan dari sumber ke tujuan di dalam jaringan. Dalam konteks sistem ini, pengukuran *latency* dilakukan untuk memantau waktu yang dibutuhkan dalam pengiriman data dari perangkat pengirim (*publisher*) ke

perangkat penerima (*subscriber*) melalui protokol MQTT. Semakin rendah nilai *latency*, semakin cepat pengiriman data dilakukan, yang sangat penting untuk aplikasi yang membutuhkan pengiriman data *real-time*.

2. **Packet Loss:** *Packet loss* mengacu pada paket data yang hilang atau gagal sampai ke tujuan selama transmisi. Pengukuran *packet loss* dilakukan untuk mengetahui seberapa stabil jaringan yang digunakan dalam mengirimkan data. Kehilangan paket dapat terjadi karena gangguan jaringan atau masalah pada perangkat yang mengirim atau menerima data. Nilai *packet loss* yang tinggi dapat menunjukkan masalah dalam kualitas jaringan yang perlu segera ditangani untuk memastikan kinerja sistem yang optimal.
3. **Round Trip Time (RTT):** RTT mengacu waktu yang diperlukan untuk paket data melakukan perjalanan dari perangkat pengirim ke perangkat penerima dan kembali lagi ke pengirim. Pengukuran RTT dilakukan untuk menilai kinerja akses remote SSH. Semakin rendah nilai RTT, semakin cepat akses remote dapat dilakukan, yang sangat penting dalam pengelolaan perangkat secara jarak jauh. RTT yang tinggi dapat menyebabkan keterlambatan dalam respons sistem dan mengurangi efisiensi pengelolaan perangkat secara *remote*.

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem yang dibangun dapat berfungsi dengan baik dalam kondisi jaringan yang berbeda dan memberikan informasi yang akurat dan real-time. Hasil pengukuran kinerja ini memberikan gambaran mengenai keandalan dan efektivitas sistem dalam mengirimkan data dan melakukan akses *remote*, serta memberikan dasar untuk perbaikan atau penyesuaian sistem jika diperlukan.

2.11. Latency

Latency adalah waktu yang dibutuhkan untuk mentransfer data dari satu titik ke titik lain dalam suatu sistem atau jaringan. Dalam konteks komunikasi data, *latency* mengacu pada penundaan antara pengiriman dan penerimaan informasi, yang dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti pemrosesan di perangkat keras, transmisi sinyal, dan antrian di jaringan. *Latency* sering kali menjadi metrik penting dalam

menilai kinerja jaringan, terutama pada aplikasi yang sensitif terhadap waktu. Rumus perhitungan *latency* adalah sebagai berikut[27]:

$$\text{Latency} = \text{Propagation Delay} + \text{Transmission Delay} + \text{Processing Delay} + \text{Queueing Delay} \quad (2.4)$$

Dimana *propagation delay* merupakan waktu yang diperlukan untuk sinyal bergerak dari pengirim ke penerima. *Transmission Delay* merupakan waktu yang diperlukan untuk mengirimkan seluruh paket data ke dalam media transmisi. *Processing Delay* waktu yang diperlukan untuk memproses paket di router atau perangkat jaringan lainnya. Sedangkan *queueing Delay* merupakan waktu yang dihabiskan dalam antrean sebelum paket diproses. Waktu maksimum toleransi *latency* pada perangkat IoT yang menggunakan protocol MQTT sebagai media pengiriman data berada pada 2 detik dalam satu periode pengiriman data[28].

2.12. Packet Loss

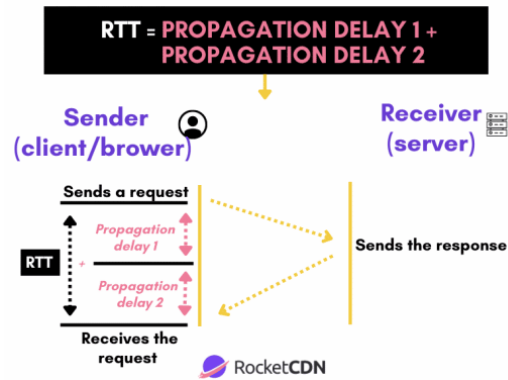
packet loss adalah fenomena dimana satu atau lebih paket data yang dikirim melalui jaringan tidak berhasil mencapai tujuan atau hilang selama proses transmisi. Hal ini dapat terjadi akibat berbagai faktor, seperti gangguan jaringan, kemacetan, kerusakan pada perangkat keras, atau masalah konfigurasi jaringan. *Packet loss* dapat mengganggu kualitas komunikasi data, terutama pada aplikasi yang sensitif terhadap kehilangan data. *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[27].

$$\text{Packet loss} = \frac{(\text{Packet Transmitted} - \text{Packet Received})}{\text{Packet Transmitted}} \times 100\% \quad (2.5)$$

Batas toleransi *packet loss* pada perangkat IoT yang menggunakan protocol MQTT sebagai media pengiriman data sebesar 15% dengan quality of service (QoS) 0 [28].

2.13. Round Trip Time (RTT)

Round Trip Time (RTT) adalah waktu yang dibutuhkan oleh sebuah paket data untuk melakukan perjalanan dari sumber ke tujuan dan kembali lagi ke sumber. RTT mencakup seluruh perjalanan data, mulai dari pengiriman, perjalanan melalui jaringan, sampai dengan penerimaan kembali di titik awal setelah proses respon.



Gambar 2.2 *Round Trip Time*[29]

RTT sangat penting dalam menilai kinerja jaringan, terutama dalam aplikasi yang memerlukan komunikasi dua arah yang cepat, seperti telekomunikasi atau aplikasi *real-time* seperti *remote desktop*. Semakin rendah nilai RTT, semakin cepat respon jaringan terhadap permintaan yang dikirimkan. Berikut adalah rumus perhitungan RTT[30]:

$$RTT = 2 \times \text{Propagation Delay} \quad (2.6)$$

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

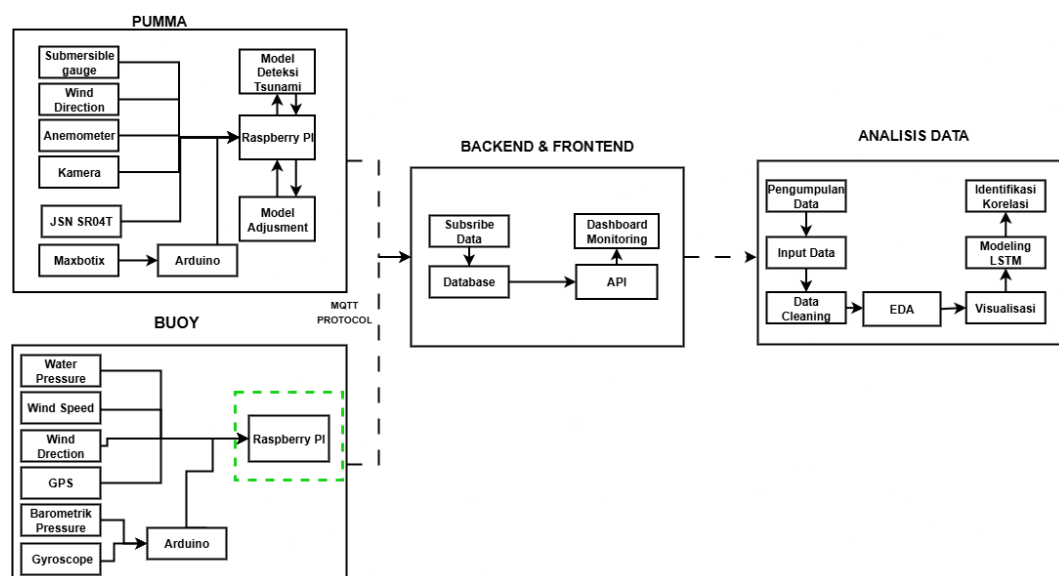
Penelitian ini dilaksanakan selama kurang lebih 6 bulan, yaitu dimulai dari bulan November 2024 - April 2025. Tahapan penelitian meliputi studi literatur dan bimbingan, perancangan sistem, percobaan sistem dengan hardware, implementasi sistem terhadap hardware, pengujian alat di laboratorium, implementasi alat dilapangan, pembuatan laporan. Proses penelitian ini dilakukan di beberapa tempat yaitu :

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

3.2. Capstone Project

Peneliti merupakan salah satu anggota tim dalam penelitian capstone *Integrated Krakatau Observation Network (IKON)* dan berperan aktif dalam subpenelitian buoy. Penelitian IKON merupakan sebuah inisiatif penelitian yang berfokus pada kebencanaan tsunami, dengan tujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan dini tsunami berbasis *Internet of Things (IoT)* di kawasan Selat Sunda. Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya yang dikenal sebagai *Krakatoa Research Center (KRC)* atau K-Project, yang melibatkan kolaborasi dengan PT Drone Nirwana Bentala serta Unila Robotika dan Automasi. Tim yang terlibat dalam capstone ini dikenal dengan nama U-TEWS (*Unila-Tsunami Early Warning System*).

Integrated Krakatau Observation Network (IKON)



Gambar 3. 1 Diagram Capstone Project IKON

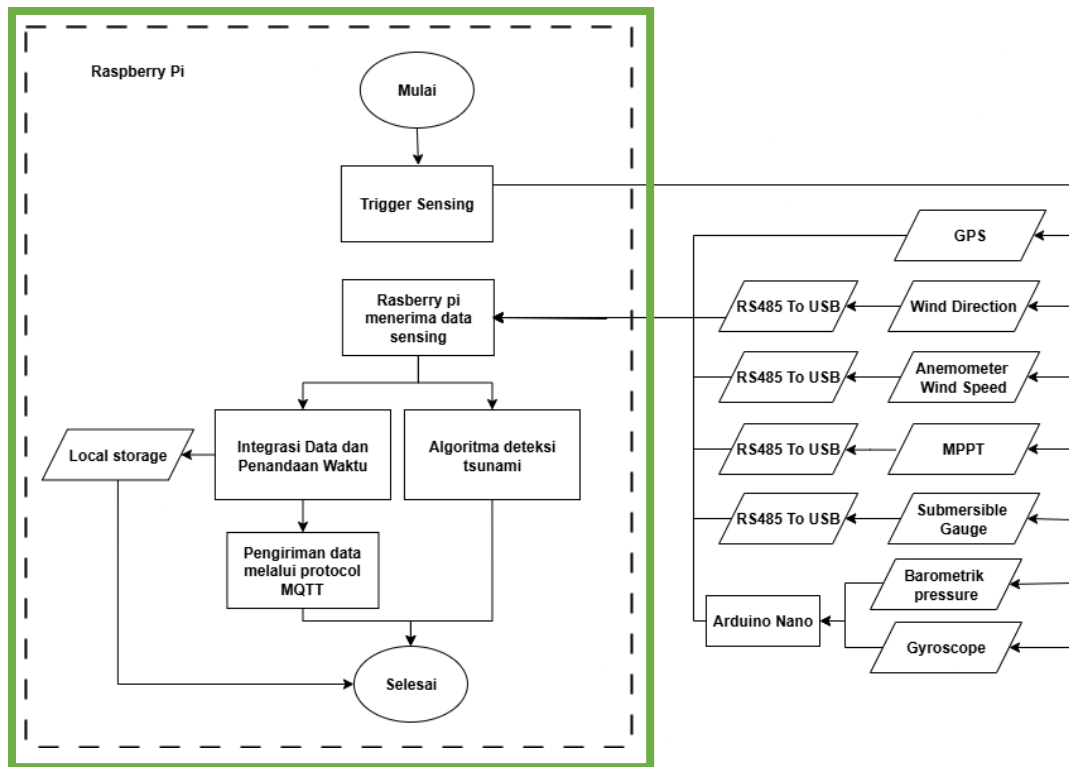
Subpenelitian buoy berfungsi sebagai alat yang ditempatkan di perairan dangkal hingga dalam, yang dapat mendeteksi tsunami dengan cara mengukur kedalaman air laut menggunakan sensor *submersible gauge* secara real-time. Alat ini bertujuan untuk mendeteksi tanda-tanda tsunami di tengah laut, yaitu terjadinya pasang atau surut secara tiba-tiba yang kemudian akan divalidasi dengan perangkat PUMMA untuk menentukan apakah dampak tsunami tersebut mencapai pesisir pantai atau tidak.

Dalam penelitian PUMMA, alat ini digunakan untuk mengukur ketinggian air laut secara *real-time* dan ditempatkan di pesisir pantai. Alat ini berfokus pada sistem deteksi dini tsunami dengan menggunakan sensor *submersible gauge* untuk mengukur ketinggian air laut. Selain itu, integrasi sistem dengan sensor arah angin dan anemometer (kecepatan angin) sebagai komponen pendukung untuk memvalidasi algoritma deteksi tsunami.

Dalam *capstone project* ini, peneliti bertanggung jawab untuk merancang dan mengembangkan sistem yang berjalan pada raspberry pi di perangkat buoy. Sistem ini dirancang untuk mengintegrasikan berbagai sensor dan perangkat IoT, memungkinkan pengumpulan data secara *real-time* dan pengolahan informasi yang efisien serta mengatur proses pengiriman data hingga berhasil diterima di server (*back-end*) menggunakan protokol MQTT. Dengan memanfaatkan kemampuan raspberry pi, peneliti mengimplementasikan solusi yang mendukung pengintegrasian data yang lebih baik dalam konteks penelitian yang dilakukan. Selain itu, sistem yang dikembangkan juga akan melalui pengujian dan validasi sistem, seperti kecepatan akses dan kecepatan pengiriman data, yang akan digunakan untuk menghubungkan perangkat-perangkat dalam jaringan IoT yang lebih luas.

3.3. Diagram Alur Sistem Perangkat

Diagram alur sistem peringatan dini tsunami menggambarkan proses pengukuran ketinggian air laut dan pengiriman data ke server. Proses dimulai dengan pembacaan sensor. Data yang diperoleh kemudian dikirim ke *microcomputer*, yang memproses informasi tersebut sebelum mengirimkannya ke server. Kemudian *microcomputer* menganalisis data dan mengirimkan peringatan kepada pengguna jika terdeteksi adanya potensi tsunami. Gambar 3.2 menunjukkan diagram alur sistem secara keseluruhan.



Gambar 3. 2 Diagram Alur Sistem Perangkat

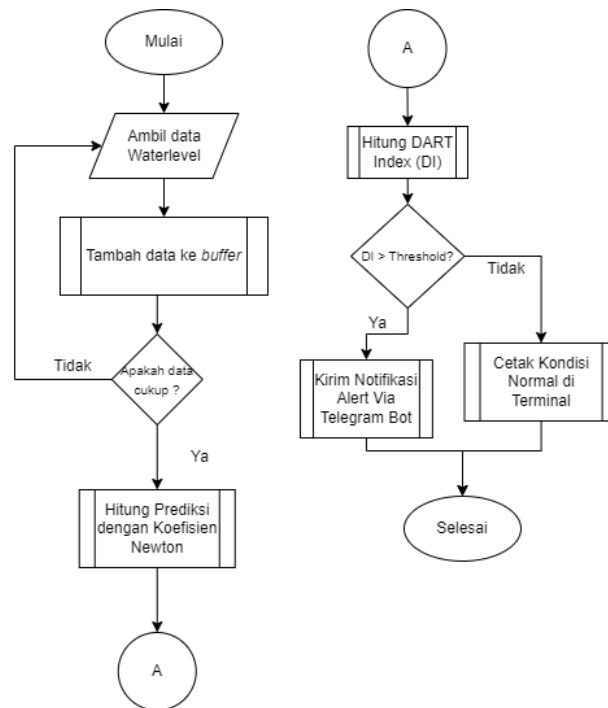
Pada gambar 3.2 peneliti bertanggung jawab untuk merancang dan mengembangkan sistem yang berjalan pada raspberry pi di perangkat buoy yang dipisahkan dengan garis berwarna hijau. Diagram alur pada Gambar 3.2 menggambarkan proses utama yang terjadi pada perangkat *buoy* U-TEWS setelah sistem diaktifkan ("Mulai"). Alur dimulai dengan tindakan "Trigger Sensing", yang menginisiasi proses pembacaan data dari berbagai sensor yang terhubung ke Raspberry Pi. Data dari sensor-sensor eksternal, yang menggunakan komunikasi melalui dua jalur utama: Serial UART untuk perangkat global positioning satellite (GPS) dan arduino nano (yang memproses data gyroscope dan tekanan barometrik), serta RS485 to USB untuk sensor *submersible gauge*, anemometer, *wind direction*, dan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT).

Setelah data diterima oleh Raspberry Pi "Raspberry pi menerima data sensing", dua proses utama berjalan secara paralel: pertama, "Algoritma Deteksi Tsunami" memproses data ketinggian air laut dari sensor *submersible gauge* menggunakan

algoritma DART untuk mendeteksi anomali yang berpotensi menjadi tsunami. Kedua, "Integrasi Data dan Penandaan Waktu" yang menggabungkan dan memberikan *timestamp* pada semua data sensor, kemudian data tersebut disimpan ke "Local Storage" sebagai cadangan dan juga dikirimkan melalui protokol MQTT "Pengiriman Data Melalui Protokol MQTT sebelum alur sistem untuk siklus tersebut berakhir ("Selesai"). Diagram ini mencerminkan integrasi antara perangkat keras, komunikasi data, serta algoritma pendukung untuk membangun sistem pemantauan dan peringatan dini yang efektif. Sistem ini berjalan dalam loop berkelanjutan, mengumpulkan data setiap 1 detik untuk sensor dari arduino nano, GPS, *wind direction*, anemometer, *submersible gauge*, dan 1 menit untuk MPPT. Yang membuatnya sesuai untuk skenario yang membutuhkan pemantauan dan transmisi data sensor berkala.

3.4. Metode Peringatan Dini

Pada penelitian ini penulis membuat algoritma deteksi dini tsunami yang diimplementasikan dari data *submersible gauge*. Perhitungan yang dipakai pada algoritma deteksi tsunami yang diterapkan pada perangkat yang dibuat sudah dijelaskan pada sub-bab 2.4. Penulis membuat sebuah *flow-chart* bagaimana algoritma model deteksi ini bekerja dan ditanamkan pada raspberry pi yang dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Flow-Chart Algoritma Deteksi Tsunami

Metode peringatan dini pada sistem ini dirancang menggunakan algoritma *Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis* (DART) untuk mendeteksi potensi anomali pada ketinggian air berdasarkan data dari sensor tekanan air yang dikonversi menjadi ketinggian air. Tahap pertama dari algoritma ini adalah mengambil data ketinggian air dan menambahkannya kedalam penyimpanan sementara (*buffer*), untuk memasuki proses selanjutnya memerlukan 4 data yang berganti seiring ada data yang masuk. Dari 4 data tersebut akan dilakukan proses prediksi menggunakan koefisien newton sesuai dengan persamaan (2.1). Setelah data proses prediksi, algoritma DART menghitung Indeks DART (DI) untuk mendeteksi adanya tsunami sesuai dengan persamaan (2.2). Indeks ini dihitung dengan membandingkan tinggi muka air laut aktual dengan prediksi yang dihasilkan dari data historis. Jika nilai DI melebihi ambang batas yang telah ditentukan yaitu 3CM, sistem akan memberikan peringatan dini. Peringatan ini dikirimkan dalam bentuk pesan ke bot Telegram yang telah diintegrasikan, sehingga informasi dapat segera diterima oleh pengguna atau pemangku kepentingan terkait. Pendekatan ini memastikan respons cepat terhadap perubahan kondisi yang berpotensi berbahaya, mendukung efektivitas sistem monitoring dan

pengurangan risiko bencana. Keunggulan dari metode ini adalah komputasi yang rendah dan kemudahan implementasi, yang menjadikannya pilihan yang efektif untuk sistem peringatan dini tsunami.

3.5. Perangkat Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Tabel alat dan perangkat yang digunakan

No	Perangkat	Spesifikasi	Kegunaan	Keterangan
1	Laptop	<i>Processor Intel Core i5 10, RAM 22GB, SSD 512GB, Sistem Operasi Windows</i>	Perangkat pembuatan dan pengujian sistem.	Perangkat keras yang digunakan sebagai <i>compiler</i> dalam pemrograman
2	<i>Command Line Interface</i>	<i>Version 10.0.19045.5247</i>	Mengakses raspberry pi dan membuat program sistem	Terinstall di Laptop
3	<i>Wireshark</i>	<i>Version 4.4.2</i>	Aplikasi yang digunakan untuk memantau jaringan sebagai bahan kinerja sistem	Terinstall di Laptop

3.6. Komponen Utama dalam Sistem

Adapun komponen yang digunakan pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Komponen yang diintegrasikan

No.	Komponen	Kegunaan	Tipe Komunikasi
1.	Raspberry pi model 4B dengan RAM 4 GB	Sebagai <i>controller</i> semua komponen.	<i>Controller</i> utama
2.	<i>Submersible Gauge Water Pressure</i>	Sebagai sensor tekanan ketinggian air laut.	Modbus RTU (RS485)
4.	<i>Solar Charge Controller</i>	Sebagai pengatur daya dari modul surya ke baterai dan beban.	Modbus RTU (RS485)
5.	USB To TTL RS485	Sebagai komunikasi sensor ke <i>controller</i> .	Modul RS485
9.	<i>Wind direction</i> Sensor	Sebagai sensor pengukur arah mata angin.	Modbus RTU (RS485)
10.	<i>Anemometer</i> Sensor	Sebagai sensor pengukur kecepatan arah mata angin.	Modbus RTU (RS485)
11.	Arduino Nano	<i>Microcontroller</i> yang berfungsi untuk memproses pembacaan input sensor analog.	USB UART
12.	<i>Barometric pressure</i>	Sebagai komponen sensor tekanan barometrik dalam perangkat.	Analog ke arduino nano
13.	GPS	Sebagai penyedia informasi Lokasi perangkat.	USB UART

14.	<i>Gyroscope</i>	Sebagai komponen sensor <i>Gyroscope</i> dalam perangkat.	Analog ke arduino nano
-----	------------------	---	------------------------

3.7. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dalam studi ini mengikuti langkah-langkah yang sistematis untuk memastikan keberhasilan pengembangan sistem peringatan dini tsunami. Langkah pertama adalah melakukan studi literatur, di mana peneliti mencari dan mempelajari berbagai referensi dari artikel ilmiah, buku, dan penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan sistem peringatan dini serta teknologi sensor. Diskusi dengan dosen pembimbing juga dilakukan untuk mendapatkan wawasan tambahan mengenai permasalahan yang ada.

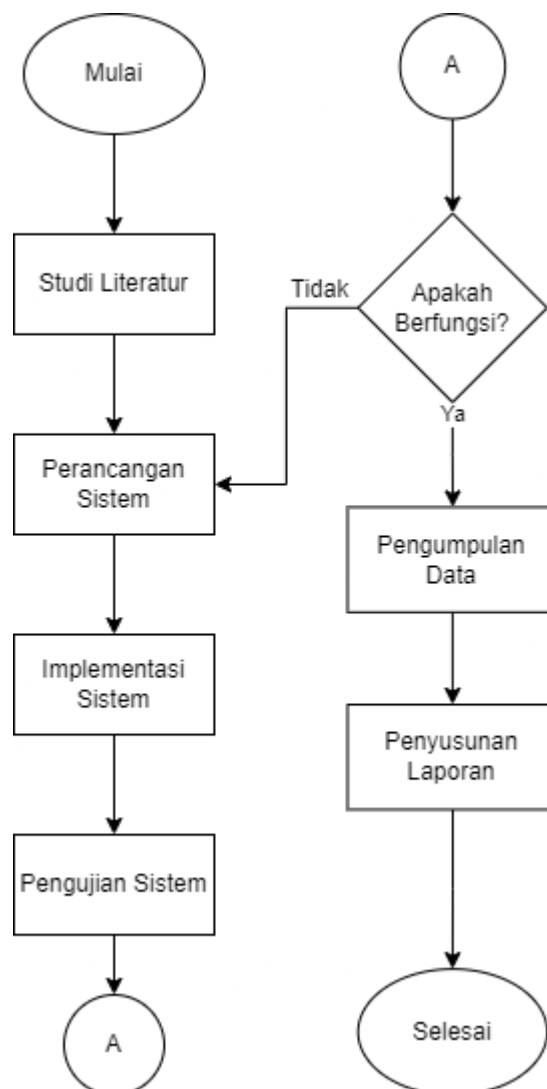
Setelah memahami dasar-dasar teori, tahap kedua adalah mengidentifikasi masalah yang dihadapi dalam sistem peringatan dini saat ini. Penelitian ini berfokus pada keterbatasan akses remote Node-RED dan bertujuan untuk merancang sistem berbasis python yang lebih handal dalam mengukur ketinggian air laut serta mengirimkan data ke server. Permasalahan utama yang ingin dipecahkan adalah meningkatkan keandalan pengukuran dan pengiriman data, khususnya dalam kondisi jaringan yang tidak stabil.

Selanjutnya, penelitian memasuki tahap perancangan sistem. Pada tahap ini, peneliti merancang arsitektur sistem yang mencakup komponen utama seperti sensor, mikrokontroler, dan server. Setelah perancangan selesai, tahap berikutnya adalah pengembangan sistem, di mana peneliti mengimplementasikan perangkat keras dan perangkat lunak. Skrip python ditulis untuk mengolah data dari sensor ketinggian air laut dan sensor pendukung lainnya serta memastikan pengiriman data ke server berjalan dengan baik.

Setelah sistem dikembangkan dan diimplementasikan, tahapan selanjutnya adalah pengujian. Pengujian dilakukan untuk memastikan akurasi dan keandalan sistem dengan membandingkan akses remote SSH dan Node-RED serta menguji

kemampuan pengiriman data menggunakan skrip python. Hasil dari pengujian ini akan dianalisis untuk mengevaluasi performa sistem secara keseluruhan.

Akhirnya, setelah semua tahapan penelitian selesai, seluruh proses dan eksperimen yang dihasilkan akan dituliskan dan disusun dalam laporan akhir. Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan sistem peringatan dini tsunami yang lebih efektif dan efisien.



Gambar 3. 4 Blok Diagram Penelitian

3.6.1 Studi Literatur dan Bimbingan

Langkah awal yang dilakukan melibatkan studi literatur dan diskusi dengan dosen untuk mendapatkan wawasan serta memahami permasalahan yang dihadapi berdasarkan temuan-temuan sebelumnya. Pada tahap ini, dilakukan pencarian, penelaahan, dan pemahaman terhadap materi dari berbagai literatur yang relevan dengan permasalahan serta solusi peringatan dini tsunami melalui perancangan sistem yang mampu mengukur ketinggian air laut secara *real-time*. Literatur yang dipelajari mencakup referensi dari berbagai sumber ilmiah, termasuk penelitian terdahulu, artikel dalam jurnal, serta buku atau *e-book*.

3.6.2 Perancangan Sistem

Tahap kedua yaitu perancangan sistem. Pada tahap ini, fokus utama adalah perancangan sistem pada perangkat buoy berbasis python untuk mendukung pengukuran ketinggian air laut secara *real-time*. Selain itu, sistem dirancang untuk mengintegrasikan berbagai sensor dan membangun algoritma alert guna deteksi dini tsunami. Proses perancangan meliputi:

- a. Rancangan sistem komunikasi data, penerimaan dan pengintegrasian data.
- b. Rancangan system pengiriman data melalui MQTT dan penyimpanan data pada *local storage*.
- c. Rancangan algoritma untuk mendeteksi anomali terkait tsunami.
- d. Rancangan otomasi sistem dan *refresh* perangkat.

3.6.3 Implementasi Sistem

Pada tahap implementasi sistem, perangkat buoy yang telah dirancang diintegrasikan antara perangkat keras dan perangkat lunak untuk memastikan sistem dapat berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Implementasi ini melibatkan penerapan algoritma deteksi, konfigurasi perangkat keras, serta pengujian komunikasi data. Proses implementasi dimulai dengan tahap perakitan dengan menghubungkan power supply untuk *minicomputer*, *microcontroller* dan sensor. Kemudian dilanjutkan dengan menghubungkan modul komunikasi antar

sensor dengan *microcontroller* dan *minicomputer*. Kemudian dilakukan konfigurasi dan kalibrasi pembacaan tiap sensor agar data yang dihasilkan valid.

3.6.4 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan akurasi, keandalan, dan berjalannya sistem peringatan dini tsunami yang dirancang agar dapat berfungsi sesuai dengan kebutuhan. Seluruh proses pengujian dilakukan menggunakan Wireshark untuk menganalisis lalu lintas jaringan secara mendalam. Fokus utama pengujian mencakup dua aspek penting, yaitu akses remote melalui SSH dan akses platform Node-RED untuk memastikan bahwa sistem dapat dikelola dan dimonitor secara jarak jauh tanpa gangguan, serta pengujian pengambilan dan pengiriman data menggunakan sistem berbasis python untuk memvalidasi kecepatan dan integritas data yang dikirim dari sensor ke pusat pengolahan. Dalam pengujian akses, parameter di Wireshark yang dijadikan acuan untuk menilai kecepatan akses meliputi:

1. Round Trip Time (RTT) yaitu waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan respons setelah permintaan jaringan dilakukan pada protokol *Transmission Control Protocol* (TCP).
2. *Latency* atau jeda waktu antara pengiriman atau penerimaan paket, serta Throughput, yang menunjukkan jumlah data yang berhasil dikirim dalam satuan waktu.
3. *Packet Loss* adalah kondisi di mana satu atau lebih paket data yang dikirim melalui jaringan tidak berhasil mencapai tujuan.

Dalam pengujian komunikasi data yang 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 3.3 dibawah ini dijelaskan target capaian yang diinginkan, dan indikator keberhasilan dari pengujian komunikasi.

Tabel 3. 3 Tabel Uji Komunikasi Data Perangkat

Fokus Komponen	Target Capaian	Indikator Keberhasilan	Hasil Capaian
Sensor <i>submersible gauge</i>	Sensor dapat berkomunikasi dengan raspberry pi menggunakan modbus RS485.	Sensor <i>submersible gauge</i> terintegrasi dengan <i>raspberry pi</i> dan bisa menampilkan data yang diperlukan.	✓
	Data hasil sensing dapat langsung dikirimkan melalui protocol MQTT.	Data terkirim dan dapat dimonitor dengan mengikuti topic pengiriman data.	✓
	Data sensor dapat disimpan pada <i>local storage</i> di raspberry pi	Terdapat data logger sensor <i>submersible gauge</i> di raspberry pi.	✓
	Data sensor dapat diambil oleh algoritma <i>alert</i>	Script untuk alert dapat menerima data <i>water column height</i> dari sensor terkait	✓
Anemometer <i>Wind Speed Sensor</i>	Sensor dapat terhubung ke raspberry pi dengan modbus RS485	Diperoleh hasil pengukuran <i>Wind Speed Sensor</i> .	✓
	Data hasil sensing dapat langsung dikirimkan melalui protocol MQTT.	Data terkirim dan dapat dimonitor dengan mengikuti topic pengiriman data.	✓
	Data sensor dapat disimpan pada <i>local storage</i> di raspberry pi	Terdapat data logger sensor <i>Wind Speed</i> di raspberry pi.	✓
Sensor <i>Wind Direction</i>	Sensor dapat berkomunikasi dengan raspberry pi dengan modbus RS485.	Sensor <i>Wind Direction</i> terintegrasi dengan <i>raspberry pi</i> dan bisa menampilkan nilai arah angin yang terukur.	✓

	Data sensor dapat disimpan pada <i>local storage</i> di raspberry pi	Terdapat data logger sensor <i>Wind Direction</i> di raspberry pi.	✓
	Data hasil sensing dapat langsung dikirimkan melalui protocol MQTT.	Data terkirim dan dapat dimonitor dengan mengikuti topic pengiriman data.	✓
<i>Solar Charge Controller</i>	Sensor dapat berkomunikasi dengan raspberry pi dengan modbus RS485.	Data dari SCC terintegrasi dengan <i>raspberry pi</i> dan bisa menampilkan nilai kondisi baterai dan solar panel yang terukur.	✓
	Data dapat disimpan pada <i>local storage</i> di raspberry pi	Terdapat data logger di raspberry pi.	✓
	Data hasil sensing dapat langsung dikirimkan melalui protocol MQTT.	Data terkirim dan dapat dimonitor dengan mengikuti topic pengiriman data.	✓
Arduino Nano	Data dari keseluruhan sensor yang terhubung ke Arduino nano dapat terintegrasi dengan <i>raspberry pi</i> dengan komunikasi serial.	Mendapatkan keseluruhan data (Tekanan barometrik dan gyroscope) yang dibutuhkan dari Arduino nano, dan dapat diolah oleh raspberry pi.	✓
	Data dapat disimpan pada <i>local storage</i> di raspberry pi	Terdapat data logger di raspberry pi.	✓
	Data hasil sensing dapat langsung dikirimkan melalui protocol MQTT.	Data terkirim dan dapat dimonitor dengan mengikuti topic pengiriman data.	✓
GPS	Data dari modul GPS dapat terintegrasi dengan <i>raspberry pi</i>	Data dapat diterima dan diolah oleh raspberry pi.	✓

	dengan komunikasi UART.		
	Data dapat disimpan pada <i>local storage</i> di raspberry pi	Terdapat data logger di raspberry pi.	✓
	Data hasil sensing dapat langsung dikirimkan melalui protocol MQTT.	Data terkirim dan dapat dimonitor dengan mengikuti topic pengiriman data.	✓

3.6.5 Pengumpulan Data

Proses pengambilan data dilakukan secara periodik selama penelitian berlangsung dengan memperhitungkan kondisi lingkungan sekitar alat. Setiap sensor ini akan diambil datanya dengan interval pengukuran setiap 1 detik. Setelah data diterima data akan dikirimkan melalui protokol MQTT dan disimpan di *local storage* dengan format CSV dengan nama file berbeda berdasarkan tanggal.

3.6.6 Penyusunan Laporan

Pada tahap ini, seluruh hasil penelitian dan pengembangan sistem dirangkum dalam bentuk laporan tertulis. Laporan ini disusun secara sistematis untuk mendokumentasikan proses, hasil, dan analisis yang telah dilakukan selama penelitian. Penyusunan laporan bertujuan untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai metode, implementasi, serta kesimpulan dari perancangan system yang telah dikerjakan.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian “Perancangan Software Sistem Transmisi Data dan Remote Access Berbasis Python Pada Perangkat Buoy U-TEWS ”, sistem peringatan dini tsunami berbasis buoy U-TEWS yang dikembangkan menggunakan python pada raspberry pi telah berhasil diimplementasikan dengan baik. Sistem ini mampu mengintegrasikan berbagai sensor untuk mengukur parameter lingkungan, mengolah data secara real-time, serta mengirimkan hasil pengukuran ke server melalui protokol MQTT. Maka kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini berhasil merancang sistem peringatan dini tsunami berbasis Python yang diimplementasikan pada perangkat buoy U-TEWS di Perairan Krakatau. Sistem ini mampu mengukur ketinggian air laut menggunakan sensor tekanan air (Submersible Gauge), kecepatan angin dengan anemometer, dan arah angin dengan wind vane direction sensor. Data dari sensor tersebut diolah oleh Raspberry Pi menggunakan algoritma Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis (DART) untuk mendeteksi potensi tsunami secara akurat dan real-time. Sistem ini juga dilengkapi dengan fitur penyimpanan data lokal dalam format CSV dan pengiriman data ke server menggunakan protokol MQTT dengan format JSON, serta visualisasi data pada dashboard berbasis web.
2. Penelitian ini berhasil menganalisis dan mengevaluasi kinerja sistem berbasis Python dengan membandingkannya terhadap sistem berbasis Node-RED pada perangkat yang sama. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berbasis Python lebih efisien dalam hal kecepatan akuisisi data, pengiriman data, dan akses remote. Python memiliki latensi lebih

rendah (di bawah setengahnya frekuensi sensing, sesuai toleransi MQTT), packet loss di bawah 15% (sesuai standar QoS 0), dan Round Trip Time (RTT) yang lebih cepat dibandingkan Node-RED, terutama dalam kondisi jaringan yang tidak stabil. Penggunaan Python juga memungkinkan eksekusi perintah langsung melalui protokol Secure Shell (SSH) dengan koneksi VPN ZeroTier, yang lebih sederhana dan fleksibel dibandingkan konfigurasi Node-RED yang bergantung pada antarmuka web.

3. Sistem yang dirancang telah berhasil diimplementasikan dan diuji di lingkungan nyata, yaitu di perairan sekitar Pulau Sebesi, Selat Sunda. Pengujian sistem komunikasi data (menggunakan Modbus RTU dan UART), pengiriman data melalui MQTT, dan akses remote melalui SSH menunjukkan kinerja yang andal. Sistem mampu mendeteksi anomali ketinggian air laut dengan akurasi tinggi menggunakan algoritma DART. Pengujian juga menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi secara berkelanjutan dengan dukungan energi dari panel surya dan baterai, serta mampu bertahan dalam kondisi lingkungan laut yang keras.

Dari hasil evaluasi keseluruhan, sistem yang dikembangkan telah memenuhi tujuan penelitian, yaitu menciptakan sistem peringatan dini tsunami yang lebih efisien, cepat, dan dapat diakses dari jarak jauh dengan keandalan tinggi.

5.2 Saran

Meskipun sistem telah berhasil dikembangkan dan diuji, masih terdapat beberapa aspek yang dapat ditingkatkan untuk pengembangan lebih lanjut, antara lain:

1. Penggunaan algoritma machine learning dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan akurasi deteksi tsunami.
2. Integrasi dengan sistem komunikasi alternatif. Untuk meningkatkan redundansi dalam pengiriman data, sistem dapat dikembangkan dengan

menambahkan protokol komunikasi alternatif seperti LoRa sebagai cadangan jika konektivitas internet tidak tersedia.

Dengan adanya peningkatan pada aspek-aspek di atas, sistem peringatan dini tsunami berbasis buoy ini diharapkan dapat menjadi solusi yang lebih andal dalam mitigasi bencana tsunami serta berkontribusi pada peningkatan sistem pemantauan laut di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Xu, H. Wang, Z. Xi, W. Wang, and M. Xu, "Recent Progress on Wave Energy Marine Buoys," *J Mar Sci Eng*, vol. 10, no. 5, p. 566, Apr. 2022, doi: 10.3390/jmse10050566.
- [2] H.-Y. Lu *et al.*, "A Low-Cost AI Buoy System for Monitoring Water Quality at Offshore Aquaculture Cages," *Sensors*, vol. 22, no. 11, p. 4078, May 2022, doi: 10.3390/s22114078.
- [3] Á. B. Rocha *et al.*, "Development of Anemometer Based on Inertial Sensor," *Micromachines (Basel)*, vol. 15, no. 10, p. 1186, Sep. 2024, doi: 10.3390/mi15101186.
- [4] K. N. Fuadi and S. Attamimi, "Sistem Pemantau Kecepatan Angin dan Arah Angin Untuk Engine Ground Run Area Berbasis Internet of Things," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 12, no. 3, p. 129, Oct. 2021, doi: 10.22441/jte.2021.v12i3.005.
- [5] A. Sriraman and A. Dhanotia, "Accelerometer," in *Proceedings of the Twenty-Fifth International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems*, New York, NY, USA: ACM, Mar. 2020, pp. 733–750. doi: 10.1145/3373376.3378450.
- [6] G. Suprianto and P. Korespondensi, "PEMANFAATAN INTERNET OF THINGS (IOT) DALAM PROSES PENERANGAN RIMPANG DENGAN MENGGUNAKAN PLATFORM NODE-RED", doi: 10.25126/jtiik.2024118684.
- [7] S. F. Nasution, H. Harmadi, S. Suryadi, and B. Widiyatmoko, "Development of River Flow and Water Quality Using IOT-based Smart Buoys Environment Monitoring System," *JURNAL ILMU FISIKA | UNIVERSITAS ANDALAS*, vol. 16, no. 1, pp. 1–12, Sep. 2023, doi: 10.25077/jif.16.1.1-12.2024.
- [8] G. A. Pradana and S. L. Siregar, "Studi Sistem Peringatan Dini Insiden Tumpahan Minyak Dengan Memanfaatkan Internet of Things," *JURNAL FASILKOM*, vol. 13, no. 02, pp. 225–231, Aug. 2023, doi: 10.37859/jf.v13i02.5550.
- [9] 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, Oct. 2022, doi: 10.25126/jtiik.2022955983.
- [10] 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, p. 012028, Dec. 2022, doi: 10.1088/1755-1315/1117/1/012028.

- [11] Y.-P. Lin, C.-J. Huang, S.-H. Chen, D.-J. Doong, and C. Kao, "Development of a GNSS Buoy for Monitoring Water Surface Elevations in Estuaries and Coastal Areas," *Sensors*, vol. 17, no. 1, p. 172, Jan. 2017, doi: 10.3390/s17010172.
- [12] M. Esposito, L. Palma, A. Belli, L. Sabbatini, and P. Pierleoni, "Recent Advances in Internet of Things Solutions for Early Warning Systems: A Review," *Sensors*, vol. 22, no. 6, p. 2124, Mar. 2022, doi: 10.3390/s22062124.
- [13] J. N. Beckman and J. W. Long, "Quantifying errors in wind and wave measurements from a compact, low-cost wave buoy," *Front Mar Sci*, vol. 9, Oct. 2022, doi: 10.3389/fmars.2022.966855.
- [14] 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*, vol. 14, no. 21, p. 14516, Nov. 2022, doi: 10.3390/su142114516.
- [15] A. Annunziato, "Tsunami Detection Model for Sea Level Measurement Devices," *Geosciences (Basel)*, vol. 12, no. 10, p. 386, Oct. 2022, doi: 10.3390/geosciences12100386.
- [16] S. P. D. Sriyanto *et al.*, "Automatic tsunami arrival detection algorithm for sea level observation system," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 9, no. 4, pp. 180–190, Oct. 2021, doi: 10.14710/jtsiskom.2021.14009.
- [17] J. W. Lee, S. C. Park, D. Kee Lee, and J. Ho Lee, "Tsunami arrival time detection system applicable to discontinuous time series data with outliers," *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 16, no. 12, pp. 2603–2622, Dec. 2016, doi: 10.5194/nhess-16-2603-2016.
- [18] 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, Sep. 2021, doi: 10.1111/2041-210X.13652.
- [19] A. Lind, D. Högberg, A. Syberfeldt, L. Hanson, and D. Lämkuil, "Evaluating a Digital Twin Concept for an Automatic Up-to-Date Factory Layout Setup," 2022. doi: 10.3233/ATDE220166.
- [20] Z. Chaczko and R. Braun, "Learning data engineering: Creating IoT apps using the node-RED and the RPI technologies," in *2017 16th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*, IEEE, Jul. 2017, pp. 1–8. doi: 10.1109/ITHET.2017.8067827.
- [21] F. Azzedin and T. Alhazmi, "Secure Data Distribution Architecture in IoT Using MQTT," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 4, p. 2515, Feb. 2023, doi: 10.3390/app13042515.
- [22] A. R. Thayyib, I. Salamah, and H. R.A., "IoT Based Monitoring System Using MQTT Protocol on Tortilla Chips Cutting Machine," *SISTEMASI*, vol. 12, no. 3, p. 973, Sep. 2023, doi: 10.32520/stmsi.v12i3.3328.
- [23] H. Haeruddin, G. Wijaya, and H. Khatimah, "Sistem Keamanan Work From Anywhere Menggunakan VPN Generasi Lanjut," *JITU : Journal Informatic Technology And Communication*, vol. 7, no. 2, pp. 102–113, Nov. 2023, doi: 10.36596/jitu.v7i2.1086.

- [24] V. Kjorveziroski, C. Bernad, K. Gilly, and S. Filiposka, "Full-mesh VPN performance evaluation for a secure edge-cloud continuum," *Softw Pract Exp*, vol. 54, no. 8, pp. 1543–1564, Aug. 2024, doi: 10.1002/spe.3329.
- [25] T. Ylonen, "Challenges in Managing SSH Keys-and a Call for Solutions."
- [26] B. M. -, S. A. -, A. S. -, and R. K. -, "Exploring Wireshark For Network Traffic Analysis," *International Journal For Multidisciplinary Research*, vol. 5, no. 6, Nov. 2023, doi: 10.36948/ijfmr.2023.v05i06.8876.
- [27] Sarah Astia Ningsih, Subardin, and Gunawan, "ANALISIS KINERJA JARINGAN WIRELESS LAN MENGGUNAKAN METODE QOS DAN RMA," *AnoaTIK: Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, vol. 1, no. 1, Jun. 2023, doi: 10.33772/anoatik.v1i1.5.
- [28] F. Palmese, A. E. C. Redondi, and M. Cesana, "Adaptive Quality of Service Control for MQTT-SN," *Sensors*, vol. 22, no. 22, Nov. 2022, doi: 10.3390/s22228852.
- [29] "What Is Round Trip Time (RTT)? - RocketCDN." Accessed: Jul. 20, 2025. [Online]. Available: <https://rocketcdn.me/what-is-round-trip-time-rtt/>
- [30] H. Idwan and I. Ihsanuddin, "Analisis Optimasi Round Trip Time (RTT) pada Jaringan Transmission Control Protocol (TCP) New Reno," *Jurnal JTIK (Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi)*, vol. 4, no. 2, p. 92, Oct. 2020, doi: 10.35870/jtik.v4i2.143.