

Sistem Monitoring Berbasis Iot Untuk Pemantauan Ketinggian Gelombang Laut, Kecepatan Dan Arah Angin Sebagai Peringatan Dini Bencana

Muhammad Aldi Aulia Fathurohman^{1*}, M. Afif Rizky A.¹

¹Fakultas Ilmu Komputer, Teknik Informatika, Universitas Pamulang, Jl. Raya Puspipetek No. 46, Kel. Buaran, Kec. Serpong, Kota Tangerang Selatan. Banten 15310, Indonesia

Email: ¹dosen03233@unpam.ac.id, ¹afifrizkyandika@unpam.ac.id

(* : coressponding author)

Abstrak–Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) sebagai alat peringatan dini bencana tsunami yang mampu memantau ketinggian gelombang laut, kecepatan dan arah angin secara real time. Sistem ini menggunakan kombinasi sensor MPU6050 untuk mendeteksi ketinggian gelombang, sensor optocoupler untuk kecepatan angin, serta sensor Hall Effect untuk arah angin. Data yang diperoleh diproses oleh mikrokontroler Arduino Mega 2560 dan dikirim melalui modul ESP32 ke aplikasi Telegram sebagai media notifikasi. Simulasi dilakukan dalam skala 1:200 menggunakan akuarium, di mana gelombang buatan merepresentasikan gelombang laut berbahaya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi pembacaan ketinggian gelombang sebesar 99,77%, kecepatan angin sebesar 99,9427%, dengan rata-rata delay notifikasi 2,67 detik. Sistem juga berhasil membaca arah angin dan koordinat secara tepat sesuai rancangan. Dengan hasil tersebut, sistem ini berpotensi menjadi alternatif solusi monitoring bencana laut berskala kecil yang efisien dan terjangkau, serta dapat dikembangkan lebih lanjut untuk digunakan dalam kondisi nyata di wilayah pesisir.

Kata Kunci: *Internet of Things, Tsunami, MPU6050, Peringatan Dini, Sistem Monitoring*

Abstract–*This research aims to design and develop an Internet of Things (IoT)-based monitoring system as an early warning tool for tsunami disasters, capable of monitoring sea wave height, wind speed, and wind direction in real time. The system integrates an MPU6050 sensor to detect wave height, an optocoupler sensor for wind speed, and a Hall Effect sensor for wind direction. The collected data is processed by an Arduino Mega 2560 microcontroller and transmitted via an ESP32 module to a Telegram application as a notification medium. A simulation was conducted on a 1:200 scale using an aquarium, where artificial waves represented hazardous sea waves. The test results showed that the system achieved an accuracy rate of 99.77% for wave height measurements and 99.9427% for wind speed, with an average notification delay of 2.67 seconds. The system also successfully detected wind direction and coordinates accurately as designed. These findings suggest that the proposed system has the potential to serve as an efficient and affordable small-scale solution for marine disaster monitoring, with the possibility of further development for real-world applications in coastal areas.*

Keywords: *Internet of Things, Tsunami, MPU6050, Early Warning, Monitoring System*

1. PENDAHULUAN

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang menjelaskan keterhubungan berbagai perangkat sehari-hari, seperti sensor, aktuator, maupun ponsel pintar dengan jaringan internet. Integrasi perangkat tersebut memungkinkan terjadinya komunikasi baru, baik antarperangkat maupun antara perangkat dengan manusia (Wicaksono, 2017).

Gelombang laut adalah fenomena naik turunnya permukaan air yang umumnya dipicu oleh hembusan angin. Besarnya gelombang sangat dipengaruhi oleh kecepatan serta arah angin. Semakin kencang angin bertiup, maka semakin tinggi pula gelombang yang terbentuk, begitu juga sebaliknya (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2021).

Tsunami termasuk ke dalam kategori bencana alam. Indonesia yang berada di kawasan cincin api Pasifik memiliki tingkat kerawanan tinggi terhadap gempa bumi, erupsi gunung, hingga longsor bawah laut. Peristiwa-peristiwa tersebut dapat memicu terjadinya tsunami jika berlangsung di wilayah perairan atau pesisir (Stern & Bloomer, 2020). Sejak tahun 1629 hingga kini, Indonesia telah mengalami tsunami sebanyak 177 kali. Salah satu peristiwa terbesar adalah tsunami Aceh yang menewaskan sekitar 230 ribu orang (Nugroho, 2018a).

Salah satu perangkat pendeteksi tsunami yang banyak digunakan di dunia adalah buoy. Alat ini bekerja dengan cara mengapung di laut untuk memantau adanya gelombang tsunami. Namun, biaya pengadaannya sangat tinggi, sekitar 100 miliar rupiah hanya untuk 25 unit. Dari kebutuhan 1000 unit di Indonesia, jumlah buoy yang tersedia baru mencapai 52 unit (Nugroho, 2018b).

Penelitian ini bertujuan untuk merancang serta membangun sebuah prototipe sistem monitoring sekaligus peringatan dini tsunami berbasis IoT sebagai alternatif penggunaan buoy. Dalam penelitian ini digunakan mikrokontroler Arduino Mega2560 dan NodeMCU ESP32, sensor MPU6050 untuk mengukur tinggi gelombang, sensor optocoupler LM393 untuk kecepatan angin, sensor Hall Effect 3114 untuk arah angin, serta GPS Neo6mV2 guna menentukan lokasi. Sistem ini terhubung dengan aplikasi Telegram yang digunakan sebagai media monitoring dan pengiriman notifikasi peringatan tsunami.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan salah satu papan pengembangan (development board) berbasis mikrokontroler yang cukup populer di kalangan peneliti, mahasiswa, maupun pengembang sistem elektronika. Papan ini dibangun menggunakan chip ATmega2560 sebagai otak pemrosesannya. Dibandingkan dengan seri Arduino lain seperti Uno atau Nano, Arduino Mega 2560 memiliki jumlah pin yang lebih banyak dan kapasitas memori yang lebih besar sehingga cocok digunakan untuk proyek yang kompleks dan membutuhkan banyak sensor maupun aktuator.

Secara spesifikasi, papan ini dilengkapi dengan 54 pin input/output digital, yang dapat diprogram sebagai masukan (input) atau keluaran (output) sesuai kebutuhan. Selain itu, terdapat 16 pin input analog yang memungkinkan pengguna membaca sinyal analog dari berbagai sensor, misalnya sensor cahaya, kelembaban, maupun suhu. Untuk komunikasi serial, tersedia 4 port UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) yang mendukung pertukaran data dengan perangkat lain, misalnya modul GPS, modul Wi-Fi, atau modul GSM. (Arduino LLC, 2021a).

2.2 NodeMCU ESP32

NodeMCU ESP32 adalah papan pengembangan mikrokontroler yang dirancang dengan modul Wi-Fi dan Bluetooth bawaan dalam bentuk chip, sehingga sangat cocok digunakan pada berbagai aplikasi Internet of Things (IoT). Berbeda dengan papan mikrokontroler konvensional yang biasanya memerlukan modul tambahan untuk terhubung ke jaringan nirkabel, NodeMCU ESP32 sudah menyediakan fitur komunikasi ini secara langsung di dalam satu chip, menjadikannya lebih praktis, efisien, serta ekonomis (Supartro, 2017).

ESP32 merupakan penerus dari seri ESP8266 dengan spesifikasi yang lebih tinggi. Papan ini mengusung prosesor dual-core Xtensa LX6 yang mampu berjalan hingga kecepatan 240 MHz, didukung dengan kapasitas memori SRAM dan Flash yang lebih besar sehingga mampu menangani komputasi yang lebih kompleks dibandingkan pendahulunya. Dengan kombinasi ini, NodeMCU ESP32 dapat menjalankan berbagai aplikasi mulai dari monitoring sensor, kendali aktuator, hingga komunikasi data secara real time melalui internet (Joy-it, 2021).

2.3 Modul MPU6050

Modul MPU6050 merupakan salah satu jenis sensor Inertial Measurement Unit (IMU) yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi elektronika dan sistem tertanam. Sensor ini mengintegrasikan dua komponen utama dalam satu chip, yaitu accelerometer berbasis teknologi Microelectromechanical Systems (MEMS) serta gyroscope. Kombinasi keduanya memungkinkan MPU6050 melakukan deteksi gerakan dan orientasi secara akurat dalam ruang tiga dimensi (Arduino LLC, 2021b).

Secara spesifik, MPU6050 memiliki kemampuan 6-axis motion tracking, yang terdiri dari 3 sumbu percepatan (accelerometer: X, Y, Z) dan 3 sumbu kecepatan sudut (gyroscope: X, Y, Z). Accelerometer berfungsi untuk mengukur percepatan linier akibat perubahan posisi atau getaran, sedangkan gyroscope mendeteksi kecepatan rotasi dari suatu objek. Dengan memanfaatkan kedua data ini secara bersamaan, sistem dapat mengetahui arah, sudut kemiringan, serta pola pergerakan secara real time (Suprayogi, Fitriyah, & Tibyani, 2019).

2.4 Anemometer (Optocoupler LM393)

Anemometer adalah instrumen yang digunakan untuk mengetahui kecepatan angin di suatu lokasi. Alat ini menjadi salah satu perangkat penting dalam bidang meteorologi, klimatologi, maupun sistem monitoring lingkungan karena data kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap analisis cuaca, perhitungan gelombang laut, hingga perancangan sistem peringatan dini bencana (Fatihin, Irawan, & Prasetya, 2020).

Terdapat beberapa teknik yang dapat diterapkan untuk mengukur kecepatan angin. Salah satu metode paling umum adalah dengan menghitung jumlah putaran baling-baling atau kincir pada anemometer ketika diterpa hembusan angin. Kecepatan rotasi baling-baling tersebut berbanding lurus dengan kecepatan angin yang mengenainya, sehingga dapat dikonversi menjadi data numerik (Harahap, 2018).

Dalam implementasi berbasis elektronika, proses penghitungan putaran ini biasanya dibantu dengan sensor optocoupler, salah satunya adalah modul Optocoupler LM393. Sensor ini bekerja dengan cara mendeteksi perubahan cahaya yang terputus dan tersambung ketika encoder disk (cakram berlubang atau bercorak) berputar seiring dengan baling-baling anemometer. Setiap kali ada perbedaan intensitas cahaya yang terdeteksi oleh optocoupler, sistem mencatatnya sebagai satu pulsa putaran. Jumlah pulsa per satuan waktu kemudian diolah oleh mikrokontroler untuk menghitung kecepatan angin secara real time.

2.5 Sensor Arah Angin (Hall Effect 3144)

Sensor arah angin merupakan perangkat yang berfungsi untuk mengetahui dari mana arah hembusan angin berasal. Informasi ini sangat penting, terutama dalam bidang meteorologi, navigasi laut dan udara, serta sistem peringatan dini bencana, karena arah angin sering kali menjadi faktor utama dalam pembentukan gelombang maupun pergerakan awan (Putra, Susanto, & Prihatiningrum, 2021).

Terdapat berbagai metode untuk menentukan arah angin. Salah satu cara yang umum digunakan adalah dengan memanfaatkan penunjuk arah berbentuk baling-baling atau vane, yang dapat berputar mengikuti arah datangnya angin. Posisi penunjuk arah ini kemudian dibaca oleh sensor tertentu sehingga data arah angin dapat diubah menjadi informasi digital (Dickson, 2021).

Dalam implementasi berbasis elektronika, salah satu metode yang digunakan adalah dengan menempatkan delapan sensor Hall Effect tipe 3144 di sekitar poros penunjuk arah. Sensor Hall Effect bekerja berdasarkan prinsip perubahan medan magnet. Dengan menambahkan magnet kecil pada penunjuk arah angin, setiap kali penunjuk berputar ke salah satu posisi mata angin, magnet akan mendekati salah satu sensor Hall Effect. Sensor tersebut kemudian memberikan sinyal ke mikrokontroler untuk mengidentifikasi posisi penunjuk.

Konfigurasi delapan sensor ini umumnya disusun melingkar, mewakili delapan arah mata angin utama yaitu: utara, timur laut, timur, tenggara, selatan, barat daya, barat, dan barat laut. Dengan metode ini, sistem dapat menentukan secara akurat ke arah mana angin sedang bertiup.

2.6 Modul Sensor GPS NEO6MV2

Modul GPS NEO-6MV2 adalah salah satu modul penerima sinyal Global Positioning System (GPS) yang dirancang untuk menangkap gelombang radio yang dipancarkan oleh satelit navigasi di orbit bumi. Dengan memanfaatkan sinyal tersebut, modul ini mampu menentukan posisi geografis suatu objek di permukaan bumi secara akurat dalam bentuk koordinat lintang (latitude) dan bujur (longitude) (El-Rabbany, 2002).

Selain informasi posisi, GPS NEO-6MV2 juga dapat memberikan data tambahan seperti ketinggian (altitude), kecepatan pergerakan, dan waktu (time synchronization) berdasarkan jam satelit. Hal ini menjadikannya bukan hanya sekadar sistem navigasi, tetapi juga perangkat yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi berbasis lokasi (Faudin, 2020).

2.7 Arduino IDE

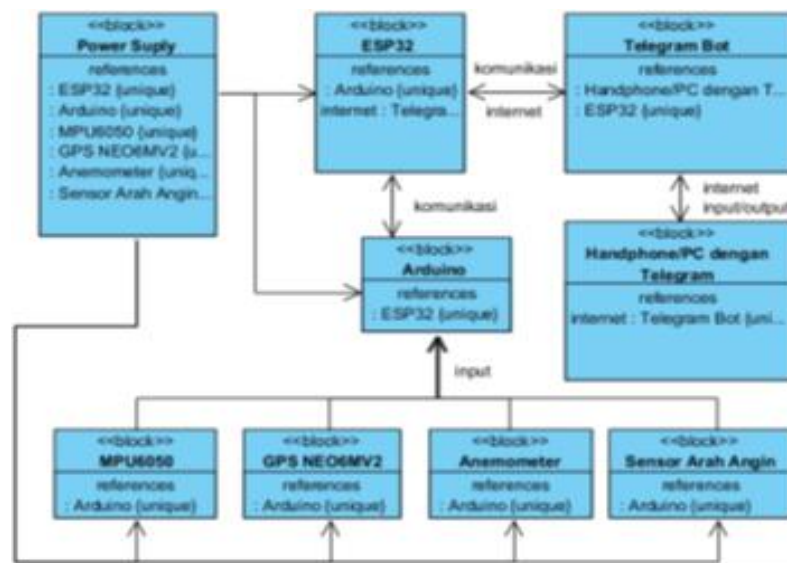
Arduino IDE merupakan sebuah software yang digunakan untuk memprogram papan mikrokontroler (Endra, Cucus, Afandi, & Syahputra, 2019). Program yang telah upload akan disimpan dan dicompile yang kemudian didapat file dengan ekstensi hex yang selanjutnya bisa diupload atau diprogram ke dalam flas EEPROM dari mikrokontroler Arduino (Sutono, 2015).

2.8 Telegram BOT

Telegram Bot adalah sebuah perangkat lunak (software) yang berfungsi layaknya akun khusus di dalam aplikasi Telegram. Berbeda dengan akun pengguna biasa, bot tidak dikendalikan secara langsung oleh manusia, melainkan dijalankan melalui program atau skrip yang dirancang sesuai kebutuhan. Dengan cara ini, bot dapat merespons instruksi yang dikirimkan oleh pengguna secara otomatis dan konsisten.

Bot Telegram dibangun dengan memanfaatkan Telegram Bot API, yaitu sebuah antarmuka pemrograman aplikasi yang disediakan oleh Telegram. Melalui API ini, pengembang dapat menghubungkan bot dengan berbagai sistem eksternal, server, atau layanan berbasis Internet of Things (IoT). Misalnya, bot bisa diprogram untuk mengirim pesan notifikasi, menyediakan data sensor, atau mengeksekusi perintah tertentu yang diterima melalui chat (Reza, Cahyadi, Purnomo, Atmajaya, & Herawan, 2019).

2.9 Diagram Blok Sistem



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

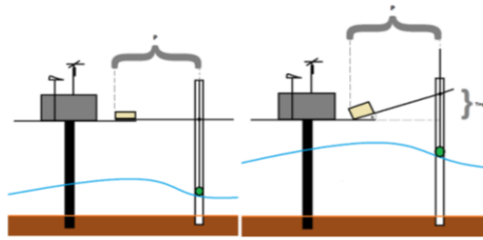
Dalam rancangan sistem ini, digunakan kombinasi perangkat keras dan perangkat lunak yang saling terintegrasi untuk membentuk suatu alur kerja yang utuh. Bagian input berasal dari sejumlah sensor, yaitu MPU6050 untuk pengukuran gerakan gelombang laut, GY-NEO6MV2 sebagai modul penerima sinyal GPS untuk menentukan lokasi, Optocoupler LM393 sebagai sensor anemometer untuk menghitung kecepatan angin, serta delapan buah sensor Hall Effect 3144 yang dipasang melingkar untuk mendeteksi arah angin sesuai delapan mata angin utama.

Seluruh data dari sensor ini pertama kali diproses oleh Arduino Mega2560. Mikrokontroler ini bertugas membaca sinyal dari setiap sensor, mengolahnya menjadi informasi yang lebih terstruktur, lalu meneruskan hasil pemrosesan tersebut ke NodeMCU ESP32. Komunikasi antara Arduino Mega2560 dan ESP32 dilakukan melalui serial communication, sehingga aliran data berjalan secara sinkron.

ESP32 kemudian berperan sebagai modul yang menghubungkan sistem dengan jaringan Wi-Fi. Dari sini, data dikirimkan ke Bot Telegram, yang berfungsi sebagai media interaksi antara sistem monitoring dengan pengguna. Melalui Telegram, pengguna dapat menerima notifikasi real time mengenai kondisi ketinggian gelombang laut, arah dan kecepatan angin, maupun lokasi geografis. Selain itu, pengguna juga bisa memberikan instruksi tertentu melalui smartphone untuk berinteraksi kembali dengan sistem.

Dengan rancangan seperti ini, tercipta hubungan yang jelas antara perangkat keras (sensor dan mikrokontroler) dengan perangkat lunak (komunikasi data, Telegram Bot, dan aplikasi pengguna). Integrasi keduanya membuat sistem mampu bekerja secara otomatis, real time, serta mudah diakses melalui ponsel cerdas tanpa memerlukan perangkat tambahan lain.

2.10 Sistem Perangkat Keras



Gambar 2. Perancangan Perangkat Keras

Pelampung pada sistem ini berfungsi sebagai media penopang sensor dan berinteraksi langsung dengan permukaan laut. Ketika terjadi peningkatan tinggi gelombang, pelampung akan mengalami pergerakan vertikal sehingga menyebabkan terbentuknya sudut kemiringan (sudut alfa) yang terdeteksi oleh sensor MPU6050. Data perubahan sudut tersebut kemudian diolah lebih lanjut untuk memperoleh estimasi nilai ketinggian permukaan air laut secara kuantitatif.

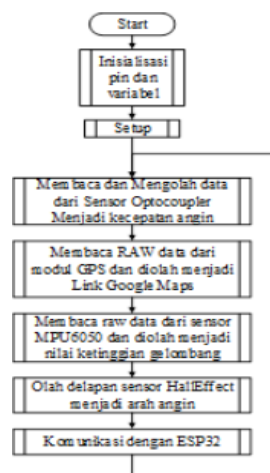
Perangkat anemometer beroperasi dengan prinsip rotasi baling-baling akibat hembusan angin. Putaran ini menghasilkan sinyal digital yang selanjutnya diproses untuk memperoleh informasi mengenai kecepatan angin. Adapun sensor arah angin berbasis Hall Effect 3144 ditempatkan pada bagian atas perangkat. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi pergerakan penunjuk arah yang secara otomatis mengikuti hembusan angin, sehingga sistem dapat menentukan arah datangnya angin secara presisi.

Selanjutnya, modul GY-NEO6MV2 berperan sebagai penerima sinyal Global Positioning System (GPS) yang dipancarkan satelit navigasi. Modul ini digunakan untuk memperoleh koordinat geografis lokasi terjadinya peningkatan tinggi gelombang, sehingga sistem dapat memberikan informasi lokasi secara akurat.

Seluruh data yang diperoleh dari sensor diproses melalui mikrokontroler Arduino Mega2560 sebagai unit pengolah utama, kemudian diteruskan ke NodeMCU ESP32 untuk mendukung proses komunikasi berbasis jaringan internet. Data yang telah diproses selanjutnya dikirimkan ke Bot Telegram sehingga pengguna dapat menerima notifikasi real time serta memberikan umpan balik melalui perangkat telepon pintar.

Untuk menjaga keandalan sistem pada lingkungan laut, seluruh rangkaian elektronik, meliputi mikrokontroler dan modul komunikasi, ditempatkan dalam sebuah kotak pelindung berbahan plastik berwarna abu-abu sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Desain pelindung ini dimaksudkan untuk mencegah gangguan eksternal seperti percikan air laut, kelembaban udara, maupun benturan mekanis yang dapat memengaruhi kinerja sensor.

2.11 Diagram Alir Sistem



Gambar 3. Diagram Alir Sistem pada Arduino

Arduino Mega2560 terlebih dahulu melakukan inisialisasi pin dan variabel, kemudian menjalankan proses setup yang mencakup inisialisasi komunikasi serial, komunikasi dengan modul GPS NEO6MV2, komunikasi dengan ESP32, komunikasi digital dengan sensor arah angin, komunikasi serial dengan sensor MPU6050, serta komunikasi digital dengan anemometer. Setelah proses setup selesai, sistem mulai beroperasi dengan membaca serta mengolah data dari sensor anemometer menjadi nilai kecepatan angin. Perhitungan dilakukan dengan memasukkan nilai counter yang dibaca oleh Optocoupler LM393, di mana jumlah sinyal dalam satu putaran encoder disk adalah 36, ke dalam Persamaan (1) sehingga diperoleh nilai kecepatan angin. Nilai counter kemudian dikalikan dengan kecepatan putaran encoder disk dalam satu putaran menggunakan Persamaan (2). Dengan jari-jari kincir sebesar 9 cm, diperoleh kecepatan dalam satu putaran sebesar 0,5654 m/s.

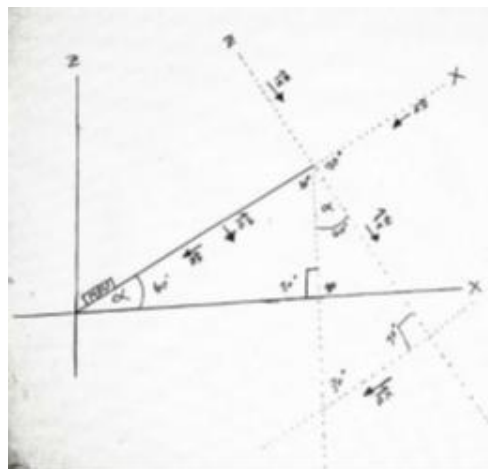
$$v = (2\pi r)n \quad (1)$$

$$V = \frac{v}{36} C \quad (2)$$

Metode yang digunakan pada pengumpulan data dalam program aplikasi ini adalah sebagai berikut: Setelah memperoleh nilai kecepatan angin, sistem memproses data dari modul GPS menjadi link Google Maps. Sistem akan memeriksa ketersediaan komunikasi dengan modul GPS, dan selama tersedia, nilai latitude serta longitude akan dimasukkan ke dalam variabel lokasi dengan format:

<https://www.google.com/maps/search/?api=1&query=latitude,longitude>.

Selanjutnya, sistem memproses data dari sensor MPU6050 untuk memperoleh nilai ketinggian gelombang. Metode yang digunakan adalah kombinasi trigonometri dan vektor posisi, mengingat keluaran sensor MPU6050 berupa data akselerasi yang memiliki besaran dan arah. Metode trigonometri yang diterapkan adalah trigonometri segitiga siku-siku dasar. Sensor MPU6050 mendeteksi nilai akselerometer pada sumbu x (ax) dan sumbu z (az) saat terjadi kemiringan, sehingga sudut kemiringan (α) dapat dihitung dengan Persamaan (3).



Gambar 4. Arah Vektor Akselerasi yang Terbentuk pada MPU6050

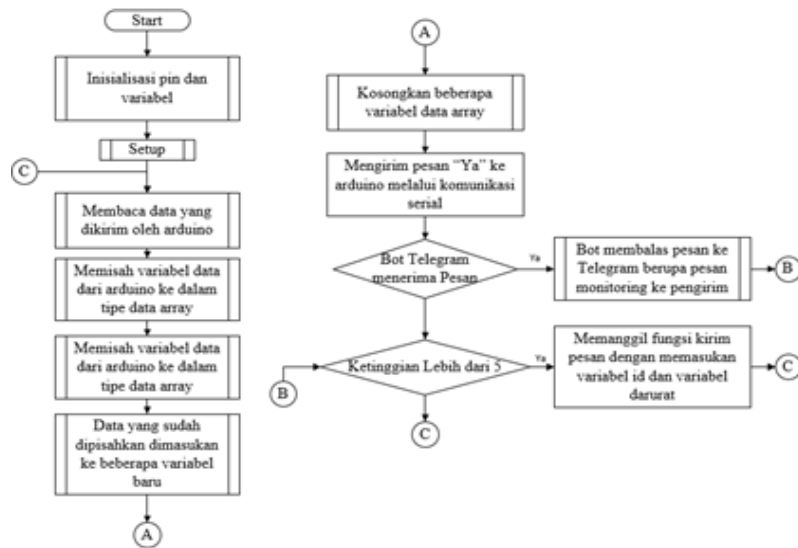
Dengan diketahuinya sudut α serta panjang dari sensor MPU6050 terhadap garis pelampung, nilai ketinggian gelombang dapat dihitung menggunakan Persamaan (4).

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{ax}{az} \right) \quad (3)$$

$$T = \tan(\alpha) \cdot P \quad (4)$$

Setelah membaca nilai ketinggian gelombang, sistem melanjutkan pembacaan arah angin. Dengan menggunakan delapan sensor Hall Effect 3144, sistem akan memeriksa pin yang bernilai low. Jika pin utara bernilai low, maka sistem memasukkan nilai “Utara” ke dalam variabel arah angin. Jika tidak, sistem memeriksa pin lainnya hingga pin barat laut sesuai dengan deklarasi awal.

Setelah mendapatkan nilai arah angin, Arduino berkomunikasi dengan ESP32. Apabila ESP32 mengirimkan pesan melalui komunikasi serial berupa “Ya”, maka Arduino akan mengirimkan data ke ESP32 dalam format ketinggian#WindSpeed#arahangin#lokasi. Tanda pagar (#) berfungsi sebagai pemisah antar data agar dapat diolah secara terpisah oleh ESP32.



Gambar 5. Diagram Alir Sistem pada ESP32

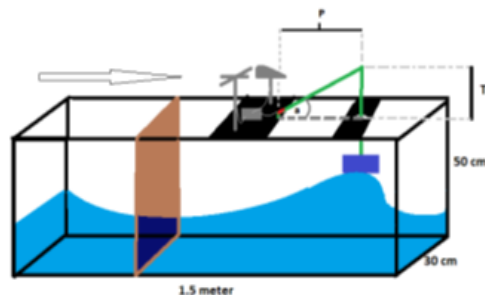
Pada sisi NodeMCU ESP32, sistem terlebih dahulu melakukan inisialisasi pin dan variabel, kemudian melaksanakan setup yang mencakup komunikasi serial dengan Arduino, inisialisasi koneksi WiFi, serta inisialisasi Bot Telegram dengan memasukkan token bot pada fungsi terkait dan menambahkan tombol “Cek” pada bot.

Setelah proses setup, ESP32 membaca data dari Arduino setiap 1000 ms. Data tersebut dipisahkan menggunakan tipe data array dengan pemisah “#”. Data hasil pemisahan kemudian disimpan dalam variabel baru: indeks ke-0 sebagai ketinggian, indeks ke-1 sebagai kecepatan angin, indeks ke-2 sebagai arah angin, dan indeks ke-3 sebagai lokasi. Variabel-variabel ini digabungkan ke dalam variabel diprint dengan format: “Ketinggian Gelombang:” + (ketinggian) + “cm/n” + “Kecepatan Angin:” + (kecangin) + “m/s/n” + “Arah Angin:” + (arahangin) + “\n” + “Lokasi :” + (lokasi).” Selanjutnya, variabel diprint dimasukkan ke dalam variabel darurat dengan format: “Ketinggian Gelombang Berpotensi Tsunami/n” + (diprint). Setelah itu, ESP32 mengirim pesan “Ya” kepada Arduino untuk meminta data terbaru.

Jika Bot Telegram menerima pesan, sistem akan memeriksa isi pesan. Apabila pesan berupa “Cek”, maka sistem membalas dengan pesan monitoring berisi data pada variabel diprint. Jika pesan berupa “/start”, sistem akan mengirimkan pesan sambutan dan menampilkan tombol pintas untuk melakukan monitoring.

Apabila nilai ketinggian gelombang lebih dari 5, ESP32 akan memanggil fungsi pengiriman pesan dengan menyertakan ID grup Telegram serta isi pesan dari variabel darurat. Pesan ini dikirim kepada seluruh anggota grup Telegram “Peringatan Tsunami”.

2.12 Sistem Uji Simulasi Tsunami Pada MPU6050



Gambar 6. Diagram Alir Sistem pada ESP32

Pada tahap perancangan dan pengujian sistem ini, tidak dimungkinkan untuk melakukan pengujian secara langsung di laut. Oleh karena itu, pengujian dilakukan melalui simulasi

menggunakan akuarium berukuran 1500 cm × 50 cm × 30 cm. Prinsip kerja simulasi ini adalah dengan menciptakan gelombang buatan melalui dorongan air dari salah satu sisi akuarium menggunakan papan, sehingga terbentuk gelombang yang kemudian dideteksi oleh sensor MPU6050 sebagai perubahan ketinggian permukaan air.

Perubahan ketinggian air dalam akuarium diasumsikan sebagai representasi perubahan ketinggian gelombang laut. Data hasil pembacaan sensor MPU6050 diproses oleh Arduino ATmega2560 dan selanjutnya dikirimkan ke ESP32 untuk diteruskan sebagai notifikasi ke aplikasi Telegram.

Dalam simulasi ini digunakan skala 1:200, sehingga gelombang setinggi 10 meter yang berpotensi tsunami direpresentasikan sebagai gelombang buatan setinggi 5 cm di dalam akuarium. Dengan panjang lengan pelampung P sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 6, jarak antara titik sensor dengan garis pelampung pada simulasi ditetapkan sebesar 20 cm. Berdasarkan jarak tersebut, nilai ketinggian gelombang yang terukur oleh sensor MPU6050 dihitung menggunakan Persamaan (4).

3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini berisi analisa, hasil serta pembahasan dari topik penelitian, yang bisa di buat terlebih dahulu metodologi penelitian. Bagian ini juga merepresentasikan penjelasan yang berupa penjelasan, gambar dan lainnya.

3.1 Pengujian Modul MPU6050

Pengujian sensor MPU6050 dilakukan dengan memiringkan sensor hingga sejajar dengan bidang ukur (penggaris) pada jarak 20 cm dari sensor. Perubahan sudut kemiringan menghasilkan output sudut dari MPU6050 yang kemudian diolah menjadi nilai ketinggian. Hasil pengukuran ditampilkan melalui serial monitor Arduino IDE.

Berdasarkan perhitungan standar deviasi diperoleh rata-rata kesalahan pengukuran ketinggian sebesar 3,06% dengan tingkat ketepatan sebesar 99,77%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor MPU6050 cukup andal digunakan untuk deteksi perubahan ketinggian gelombang.

3.2 Pengujian Optocoupler LM393 (Anemometer)

Pengujian sensor kecepatan angin berbasis Optocoupler LM393 dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap alat ukur kecepatan angin Benetech GM816 yang telah terkalibrasi. Kipas angin digunakan sebagai sumber arus udara, dan data dari sensor ditampilkan pada serial monitor. Sensor Optocoupler LM393 ditempatkan bersebelahan dengan alat pembanding untuk memperoleh hasil yang simultan.

Hasil perhitungan standar deviasi menunjukkan rata-rata kesalahan pengukuran kecepatan angin sebesar 1,294% dengan tingkat ketepatan mencapai 99,94%. Hal ini menunjukkan bahwa Optocoupler LM393 memiliki performa yang cukup baik untuk aplikasi anemometer sederhana.

3.3 Pengujian Sensor Arah Angin (Hall Effect 3144)

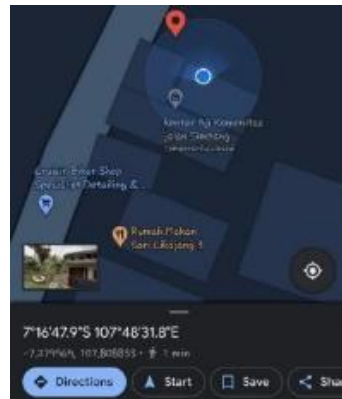
Pengujian sensor arah angin dilakukan untuk memverifikasi kinerja rangkaian delapan sensor Hall Effect 3144. Rangkaian sensor dihubungkan ke Arduino Mega2560, kemudian dilakukan pengujian dengan memutar penunjuk arah secara bertahap.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap perubahan arah angin dapat terdeteksi dengan baik, sesuai dengan posisi penunjuk arah. Dari hasil tersebut, rangkaian sensor Hall Effect 3144 terbukti bekerja sebagaimana mestinya dan dapat digunakan untuk menentukan arah angin.

3.4 Pengujian Modul GPS NEO6MV2

Pengujian modul GPS NEO6MV2 bertujuan untuk memastikan keakuratan titik koordinat lokasi (Latitude dan Longitude). Data koordinat yang diperoleh kemudian diverifikasi dengan membukanya melalui aplikasi Google Maps menggunakan format URL:

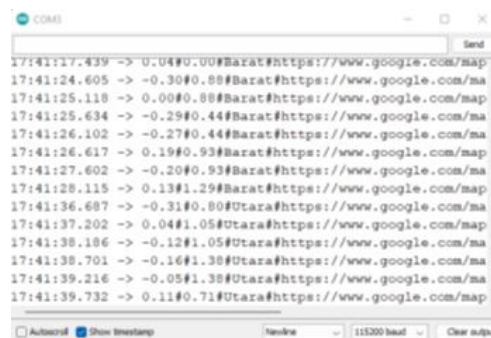
<https://www.google.com/maps/search/?api=1&query=latitude,longitude>



Gambar 7. Contoh Membuka Data Hasil GPS NEO6MV2 dengan Google Maps

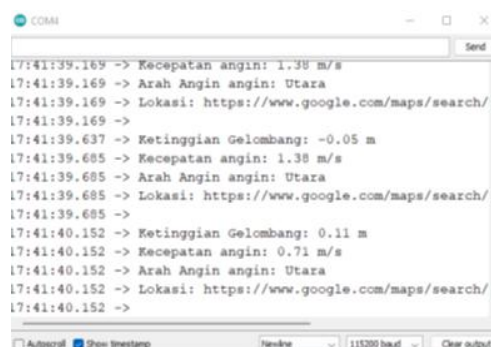
Sebagai contoh, koordinat hasil pembacaan (7.279969, 107.808833) dimasukkan ke dalam Google Maps, dan hasilnya menunjukkan lokasi yang sesuai dengan posisi sebenarnya. Hal ini menunjukkan bahwa modul GPS NEO6MV2 dapat memberikan data koordinat dengan akurasi yang sangat baik.

3.5 Pengujian Komunikasi Arduino Mega2560 dan ESP32



Gambar 8. Tampilan Serial Monitor Arduino Mega2560

Pengujian komunikasi serial dilakukan untuk memastikan bahwa data sensor dapat ditransmisikan dengan benar dari Arduino Mega2560 ke ESP32. Format data dikirim dengan pemisah tanda #, yang terdiri dari: ketinggian gelombang, kecepatan angin, arah angin, serta tautan koordinat GPS.



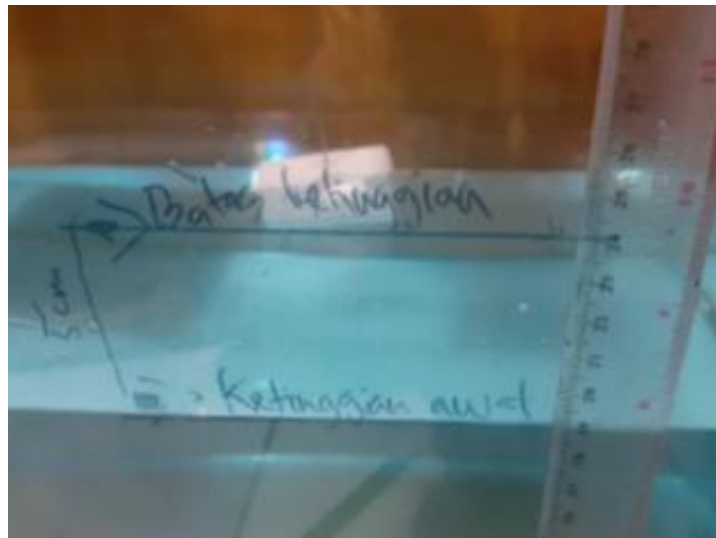
Gambar 9. Tampilan Serial Monitor ESP32

Hasil pengujian menunjukkan bahwa ESP32 dapat memproses dan memisahkan data tersebut ke dalam array sesuai dengan format yang dirancang. Dengan demikian, integrasi antara Arduino Mega2560 dan ESP32 berjalan sesuai harapan, sehingga data dapat diteruskan ke aplikasi Telegram secara real-time.

4. IMPLEMENTASI

4.1 Simulasi Akuarium

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mendeteksi gelombang air dan memberikan notifikasi dini apabila ketinggian gelombang melebihi ambang batas yang telah ditentukan. Simulasi dilakukan menggunakan akuarium kaca berukuran 1500 cm × 30 cm × 50 cm dengan skala ketinggian gelombang 1:200. Berdasarkan skala tersebut, gelombang dengan ketinggian 10 meter di kondisi nyata disimulasikan menjadi gelombang dengan ketinggian 5 cm di dalam akuarium. Oleh karena itu, ambang batas notifikasi bahaya ditetapkan pada perubahan ketinggian air sebesar 5 cm.



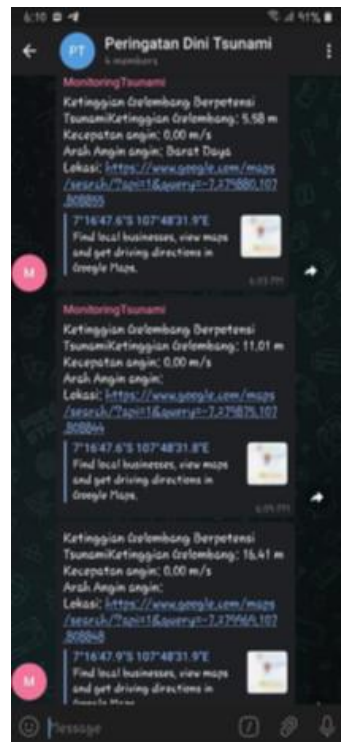
Gambar 10. Batas Perubahan Ketinggian Gelombang

Untuk menghasilkan gelombang buatan, air di dalam akuarium digerakkan menggunakan papan berukuran 30 × 50 cm hingga terbentuk gelombang. Sensor ditempatkan dengan sudut pengukuran sejauh 20 cm dari garis pelampung (ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 6). Pengukuran ketinggian gelombang dilakukan dengan bantuan penggaris yang diletakkan pada dinding akuarium.

Tabel 1. Hasil Uji Simulasi Akuarium

Sample	Notifikasi	Delay
1	Terkirim	2.2 detik
2	Terkirim	2.5 detik
3	Terkirim	3.2 detik
4	Terkirim	2.8 detik
5	Terkirim	2.5 detik
6	Terkirim	2.2 detik
7	Terkirim	2.9 detik
8	Terkirim	2.5 detik
9	Terkirim	3.2 detik
10	Terkirim	2.7 detik
		$\bar{x} = 2.67 \text{ detik}$

Berdasarkan hasil pengujian (Gambar 10), ketika tinggi gelombang buatan melebihi 5 cm, modul ESP32 berhasil mengirimkan notifikasi ke channel Telegram yang telah dikonfigurasi. Dari data yang ditunjukkan pada Tabel 1, sistem mampu memberikan notifikasi bahaya dengan delay rata-rata sebesar 2,67 detik sejak terdeteksinya perubahan ketinggian gelombang.



Gambar 11. Notifikasi Bahaya Tsunami di Channel Telegram

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mampu mendeteksi perubahan ketinggian gelombang sesuai dengan ambang batas simulasi dan dapat memberikan notifikasi secara real-time dengan keterlambatan yang masih dalam batas toleransi.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) untuk deteksi dini tsunami mampu bekerja sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Sensor MPU6050 dapat mendeteksi perubahan sudut kemiringan pelampung yang merepresentasikan ketinggian gelombang dengan tingkat kesalahan rata-rata sebesar 3,06%, sedangkan sensor optocoupler LM393 pada anemometer mampu mengukur kecepatan angin dengan tingkat kesalahan rata-rata 1,294%. Sensor arah angin berbasis Hall Effect 3144 dapat berfungsi dengan baik dalam menentukan arah hembusan angin, dan sensor GPS NEO6MV2 mampu memberikan koordinat lokasi dengan akurasi yang sangat baik saat diverifikasi menggunakan Google Maps. Selain itu, modul komunikasi antara Arduino Mega2560 dan ESP32 berhasil mengirimkan data sensor secara real-time melalui jaringan internet dan memberikan notifikasi ke aplikasi Telegram dengan delay rata-rata 2,67 detik pada saat tinggi gelombang melebihi ambang batas 5 cm (setara dengan 10 m dalam skala simulasi).

Secara keseluruhan, sistem yang dirancang telah terbukti mampu melakukan monitoring ketinggian gelombang, kecepatan angin, arah angin, dan koordinat lokasi secara real-time, serta memberikan peringatan dini secara cepat dan tepat. Dengan hasil ini, sistem berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai perangkat pendukung mitigasi bencana tsunami di lapangan.

REFERENCES

- Wicaksono, M. F. (2020). Implementasi modul WiFi NodeMCU ESP8266 untuk smart home. *Jurnal Teknik Komputer Unikom-Komputika*, 6(1).
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2021). *What is the Ring of Fire?: Ocean exploration facts*: NOAA Office of Ocean Exploration and Research.

- Stern, R. J., & Bloomer, S. H. (2020). *Subduction zone*. AccessScience.
- Nugroho, S. P. (2020, December 26). Lagi, Sutopo BNPB curhat soal buoy pendeteksi tsunami RI. CNBC Indonesia. Retrieved from <https://www.cnbcindonesia.com/news/20181226145006-4-48013/lagi-sutopo-bnpb-curhat-soal-buoy-pendeteksi-tsunami-ri>
- Nugroho, S. P. (2020, December 26). *BNPB: Indonesia rawan tsunami*, sejak 1629 ada 177 kejadian. Detik News.
- Arduino LLC. (2021). Arduino Mega 2560 Rev3 — Arduino official store. Retrieved from <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>
- Supartro, T. T. (2020). Mengenal NodeMCU: *Pertemuan pertama*. *Embeddednesia*. Retrieved from <https://embeddednesia.com/v1/tutorial-nodemcu-pertemuan-pertama/>
- Joy-it. (2021). *Panduan pengguna papan pengembangan mikrokontroler - Manuals+*. Retrieved from <https://id.manuals.plus/senang-itu/manual-papan-pengembangan-mikrokontroler-nodemcu-esp32/#axzz7ZUcv2wSZ>
- Arduino LLC. (2021). *What is MPU6050? - Arduino project hub*. Retrieved from <https://create.arduino.cc/projecthub/CiferTech/what-is-mpu6050-b3b178>
- Suprayogi, A., Fitriyah, H., & Tibyani. (2019). Sistem pendeteksi kecelakaan pada sepeda motor berdasarkan kemiringan menggunakan sensor gyroscope berbasis Arduino. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan IT*, 3(3), 3079–3085.
- Fatihin, K., Irawan, J. D., & Prasetya, R. P. (2020). Rancang bangun sistem monitoring pengukur cuaca menggunakan minimum system Arduino. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 4(1), 303–310.
- Harahap, F. S. (2020). *Pengukuran dan pengujian kecepatan angin dengan menggunakan sensor anemometer berbasis Arduino Uno R3* (pp. 44–48).
- Putra, A. A., Susanto, E., & Prihatiningrum, N. (2021). Sistem perekam kecepatan sepeda motor saat kecelakaan. *Journal of Engineering*, 8(6), 11479–11484.
- Dickson, K. (2021). *Pengertian sensor efek Hall (Hall Effect Sensor) dan prinsip kerjanya. Teknik Elektronika*. Retrieved from <https://teknikelektronika.com/pengertian-sensor-efek-hall-hall-effect-sensor-prinsip-kerja-efek-hall/>
- El-Rabbany, A. (2002). *Introduction to GPS: The global positioning system*. Boston: Artech House. Retrieved from http://w3.uch.edu.tw/ccchang50/ebook_introduction%20to%20gps.pdf
- Faudin, A. (2020, July 18). *Cara mengakses modul GPS NEO6MV2 menggunakan Arduino*. *Nyebar Ilmu*. Retrieved from <https://www.nyebarilmu.com/cara-mengakses-modul-gps-neo6mv2-menggunakan-arduino/>
- Endra, R. Y., Cucus, A., Afandi, F. N., & Syahputra, M. B. (2019). Model smart room dengan menggunakan mikrokontroler Arduino untuk efisiensi sumber daya. *Explorasi: Jurnal Sistem Informasi dan Telematika*, 10(1).
- Sutono, S. S. (2015). Sistem monitoring ketinggian air. *Majalah Ilmiah UNIKOM*, 13(01), 45–54.
- Reza, A., Cahyadi, D., Purnomo, J., Atmajaya, S., & Herawan, R. (2019). Sistem budidaya jamur berbasis IoT menggunakan Telegram Bot. *Rekayasa Teknologi Nusa Putra*, 7(1), 97–101.