

Fuzzy Logic Based LoRa and IoT Smart Buoy for Sea Wave Monitoring in Madura

Article History:*Received**20 August 2025**Revised**9 November 2025**Accepted**6 December 2025***ADI KURNIAWAN SAPUTRO, RIZA ALFITA, MOHAMAD
AHSAN ZUHUDI, MUTTAQIN HARDIWANSYAH, DENI
TRI LAKSONO, DIAN NEIPA PURNAMASARI**Department of Electrical Engineering, Universitas Trunojoyo Madura,
Bangkalan, Indonesia
adi.kurniawan@trunojoyo.ac.id**ABSTRAK**

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan wilayah perairan yang luas, sehingga memiliki potensi tinggi terhadap bencana alam dari laut. Gelombang laut dan kecepatan angin menjadi faktor penting dalam mendeteksi potensi tersebut. Penelitian ini bertujuan menguji sistem deteksi gelombang laut berbasis LoRa (Long Range) yang efisien dan andal. Sistem ini menggunakan sensor BNO055 untuk mendeteksi tinggi gelombang dan sensor anemometer untuk mengukur kecepatan angin laut. Data yang diperoleh kemudian diklasifikasikan menggunakan metode fuzzy Mamdani untuk menentukan hubungan antara kecepatan angin dan tinggi gelombang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor BNO055 memiliki akurasi 92%, anemometer 98,4%, dan metode fuzzy Mamdani menghasilkan tingkat kesalahan hanya 0,25%. Sistem ini diharapkan dapat digunakan sebagai alat pemantauan kondisi laut guna meningkatkan keselamatan, khususnya bagi nelayan dan pengguna transportasi laut.

Kata kunci: Gelombang Laut, Kecepatan Angin, LoRa, BNO055, Fuzzy Mamdani

ABSTRACT

Indonesia is an archipelagic country with most of its territory consisting of water, increasing the risk of water-related natural disasters. Seawater waves, influenced by tidal movements, are one such phenomenon, and wind speed significantly affects their height. Faster sea winds can generate higher seawater waves. To obtain related data, a system capable of detecting seawater wave height and wind speed is required. This study aims to test a LoRa (Long Range)-based seawater wave detection system that is both efficient and reliable. The system uses a BNO055 sensor to measure wave height and an anemometer to detect wind speed. The relationship between wind speed and seawater wave height is analyzed using the fuzzy Mamdani method. Results show the BNO055 sensor has 92% accuracy, the anemometer 98.4%, and the fuzzy Mamdani method yields an error rate of only 0.25%. This system is expected to enhance marine monitoring and safety efforts.

Keywords: Seawater Wave, Wind speed, LoRa, BNO055, Fuzzy Mamdani

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



1. PENDAHULUAN

Secara geografis, Indonesia merupakan negara kepulauan yang didominasi wilayah perairan, sehingga aktivitas di laut memiliki peran penting bagi masyarakat. Gelombang laut berpengaruh besar terhadap efisiensi dan keselamatan aktivitas kelautan **(Andreas, dkk, 2021)**. Gelombang laut merupakan gerakan naik-turun permukaan air yang terbentuk oleh berbagai faktor, seperti angin, gempa bumi, serta gaya gravitasi antara bumi, bulan, dan matahari **(Sianipar, dkk, 2021)**.

BMKG saat ini hanya memiliki 26 stasiun pemantauan ketinggian air laut, jumlah yang masih jauh dari kebutuhan sekitar 800 stasiun berdasarkan panjang garis pantai Indonesia **(Hartono, dkk, 2022)**. Gelombang laut yang tinggi dapat memicu bencana seperti tsunami **(Sriyanto, dkk, 2021)**, sehingga pemahaman karakteristik gelombang penting untuk peringatan dini dan mitigasi. Pemantauan gelombang juga berperan dalam memahami dinamika laut, dampak perubahan iklim, serta kondisi ekosistem laut **(Mukhlisin, dkk, 2023)**.

Hubungan antara kecepatan angin dan tinggi gelombang merupakan aspek yang penting dalam memahami dinamika laut, terutama untuk kebutuhan kelautan, transportasi maritim, dan pengelolaan pesisir **(Sofyan, dkk, 2024)**. Kecepatan angin berperan sebagai faktor utama pembentuk gelombang, karena angin yang kuat dan bertiup secara kontinu mampu mentransfer energi ke permukaan air sehingga menghasilkan gelombang yang lebih tinggi **(Sari, dkk, 2020)**. Memahami pengaruh kecepatan dan arah angin terhadap karakteristik gelombang sangat membantu dalam analisis data oseanografi dan prediksi cuaca laut. Terdapat korelasi positif antara kecepatan angin dan ketinggian gelombang, di mana peningkatan kecepatan angin akan meningkatkan potensi pembentukan gelombang yang lebih tinggi **(Dero, dkk, 2022)**. Selain itu, kecepatan angin juga memengaruhi bentuk dan pola gelombang yang terbentuk, baik gelombang pendek maupun panjang **(Widyani, dkk, 2024)**. Hal ini juga dapat dipengaruhi oleh perubahan kestabilan angin di permukaan laut **(Noptian, dkk, 2020)**.

Penelitian mengenai perangkat deteksi gelombang telah banyak dikembangkan. Beberapa sensor yang digunakan, seperti sensor ultrasonik, sering dimanfaatkan untuk mengukur level air pada bendungan atau tangki penampungan **(Windiasmoro, dkk, 2024)**. Sensor ultrasonik ini banyak dipakai untuk mengukur ketinggian gelombang dan kedalaman air **(Estu, dkk, 2023)**. Sensor ini memerlukan kedudukan statis yang jelas untuk mengukur perubahan ketinggian gelombang laut secara akurat. Ada juga penelitian yang menggunakan Inertial Measurement Unit (IMU) sebagai sensor untuk mengukur ketinggian gelombang laut **(Astomo, dkk, 2023)**. Selain itu, beberapa studi memanfaatkan sensor lidar untuk pengukuran ketinggian air. Namun, penggunaan sensor lidar juga membutuhkan kedudukan statis sebagai pijakan **(Parera, dkk, 2019)**. Saat ini, masih sedikit penelitian yang menggunakan sensor mandiri yang dapat ditempatkan di tengah laut. Sistem deteksi ketinggian gelombang air laut ini memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai aplikasi deteksi dini bencana tsunami **(Adityabrima, dkk, 2021)**.

Selain itu, teknologi transmisi data seperti LoRa juga berkembang pesat dengan jangkauan pengiriman yang luas dan konsumsi daya yang sangat rendah **(Lumintang, dkk, 2023)**. LoRa merupakan teknologi transmisi data digital yang menggunakan *chirp spread spectrum* dalam melakukan transmisi data sehingga memiliki ketahanan terhadap noise dan interferensi. Selain itu, dibandingkan dengan teknologi komunikasi data lainnya, LoRa memiliki konsumsi daya yang lebih rendah **(Ayuningtyas, dkk, 2020)**. LoRa mampu mengirimkan data jarak jauh hingga 22 km dengan antena *rubber duck* yang terjangkau pada kondisi *line of sight*

(LOS) di laut. Dengan penggunaan antena ber-gain lebih tinggi, jangkauan pengiriman data LoRa dapat diperluas hingga 28 km **(Setiawan, dkk, 2022)**.

Penelitian ini menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai mikrokontroler dengan 54 pin I/O digital, 16 pin input analog, dan 4 port UART **(Kholiq, dkk, 2024)**. NodeMCU ESP32 digunakan sebagai LoRa receiver karena mendukung konektivitas WiFi dan efisien untuk aplikasi IoT **(Yulianto, dkk, 2024)**. Modul Dragino LoRa Shield berfungsi sebagai transceiver nirkabel berbasis teknologi LoRa **(Saputro, dkk, 2020)**. Sensor BNO055 digunakan untuk pengukuran orientasi berbasis sistem 9 sumbu terintegrasi **(Kurnia, dkk, 2021)**. Sensor anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan angin secara mekanis **(Mardiyono, dkk, 2021)**. Motor stepper digunakan sebagai aktuator presisi dalam sistem gerak **(Utama, dkk, 2022)**, dan dikendalikan oleh driver L298N yang menyediakan tegangan serta pulsa penggerak sesuai kebutuhan **(Wibisono, 2021)**.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan model buoy untuk memantau kondisi perairan di laut Madura, meliputi ketinggian air, tinggi gelombang, dan kecepatan angin. Teknologi ini diharapkan menjadi alternatif deteksi gelombang dengan kemampuan menghasilkan data akurat dan mengirimkannya secara wireless melalui LoRa **(Adam, dkk, 2024)**. Sensor BNO055 dimanfaatkan untuk membaca tinggi gelombang air laut **(Rahman, dkk, 2021)**, sementara deteksi kecepatan angin berperan sebagai sumber informasi bagi nelayan agar lebih waspada saat berlayar **(Ratri, dkk, 2021)**. Dengan sistem ini, kondisi perairan di laut Madura diharapkan dapat termonitor dengan lebih baik.

2. METODE

2.1 Gelombang Air Laut

Gelombang laut merupakan fenomena dinamis yang menggambarkan gerakan naik turun permukaan air laut dengan pola menyerupai gelombang sinusoidal. Pemahaman mendalam tentang berbagai jenis gelombang ini sangat penting dalam pengelolaan sumber daya laut dan mitigasi risiko bencana yang terkait dengan perubahan dinamika laut **(Haiyqal, dkk, 2023)**. Berikut merupakan data klasifikasi gelombang air laut berdasarkan data dari BMKG.

Tabel 1. Kategori Gelombang Air Laut

Kategori	Tinggi Gelombang (m)
Tenang	<0.5 m
Rendah	0.5-1.25 m
Sedang	1.25-2.5 m
Tinggi	2.5-4.0 m
Sangat Tinggi	4.0-6.0 m
Ekstrem	6.0-9.0 m
Sangat Ekstrem	9.0-14.0 m

2.2 Kecepatan Angin

Angin sebagai fenomena pergerakan udara, merupakan hasil langsung dari perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin di atmosfer. Prinsip dasar ini menciptakan aliran udara yang mengarah dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah sebagai respon terhadap perbedaan tekanan atmosfer **(Myslenkov, dkk, 2021)**. Berikut merupakan klasifikasi kecepatan angin berdasarkan Skala Beaufort.

Tabel 2. Kategori Kecepatan Angin

Nomor Beaufort	Kekuatan Angin	Kecepatan rata-rata (km/jam)
0	Tenang	<1
1	Sedikit Tenang	1-5
2	Sedikit Hembusan Angin	6-11
3	Hembusan Angin Pelan	12-19
4	Hembusan Angin Sedang	20-29
5	Hembusan Angin Sejuk	30-39
6	Hembusan Angin Kuat	40-50
7	Mendekati Kencang	51-61
8	Kencang	62-74
9	Kencang Sekali	75-87
10	Badai	88-101
11	Badai Dahsyat	102-117
12	Badai Topan	>118

2.3 Logika Fuzzy

Logika fuzzy diperkenalkan pertama kali pada tahun 1965 oleh Prof. Lotfi A. Zadeh, seorang peneliti dari Universitas California di Berkeley dalam bidang ilmu komputer. Pada metode Mamdani, input dan outputnya berupa himpunan fuzzy. Metode ini menggunakan fungsi implikasi min dan agregasi max, sehingga sering disebut sebagai metode MIN-MAX (*min-max inferencing*). Untuk menghasilkan output, metode Mamdani melalui empat tahapan: fuzzifikasi, pembentukan aturan dasar, komposisi aturan, dan defuzzifikasi (Makhfudz, dkk, 2022).

2.3.1. Persamaan Derajat gelombang air laut

Untuk menentukan tingkat gelombang air laut pada model fuzzy, digunakan fungsi keanggotaan seperti pada Persamaan (1). Fungsi ini mengubah nilai tinggi gelombang menjadi derajat keanggotaan sehingga dapat diproses dalam sistem inferensi fuzzy Mamdani.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \end{cases} \quad (1)$$

dimana:

1. a,b,c adalah titik-titik pada grafik fungsi keanggotaan.
2. $\mu(x)$ adalah derajat keanggotaan untuk nilai input x

2.3.2. Persamaan Derajat kecepatan angin

Untuk memetakan nilai kecepatan angin ke dalam himpunan fuzzy, digunakan fungsi keanggotaan pada Persamaan (2). Proses ini menghasilkan derajat keanggotaan yang mewakili kondisi kecepatan angin untuk inferensi fuzzy.

$$\mu(y) = \begin{cases} 0; & y \leq \alpha \text{ atau } y \geq c \\ \frac{y - \alpha}{b - \alpha}; & \alpha \leq y \leq b \\ \frac{c - y}{c - b}; & b \leq y \leq c \end{cases} \quad (2)$$

dimana:

1. α, b, c adalah titik-titik pada grafik fungsi keanggotaan.
2. $\mu(y)$ adalah derajat keanggotaan untuk nilai input y .

2.3.3. Persamaan Derajat Notifikasi

Untuk menentukan kategori notifikasi berdasarkan kombinasi input, digunakan fungsi keanggotaan pada Persamaan (3). Fungsi ini mengubah nilai keluaran fuzzy menjadi derajat keanggotaan yang sesuai dengan kondisi notifikasi.

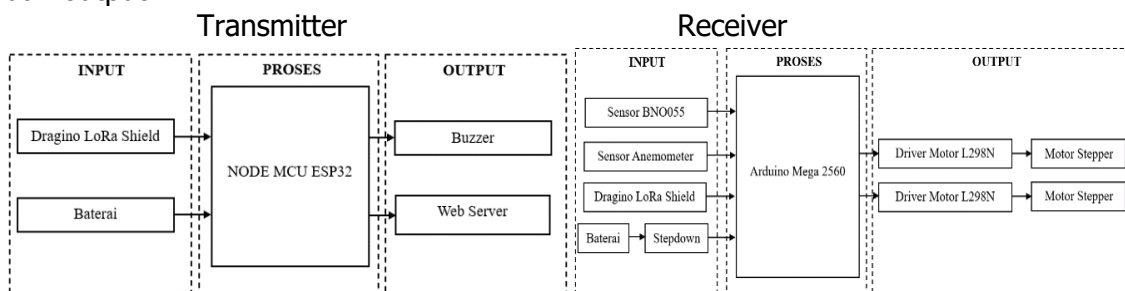
$$\mu(z) = \begin{cases} 0; & z \leq \alpha \text{ atau } z \geq c \\ \frac{z - \alpha}{b - \alpha}; & \alpha \leq z \leq b \\ \frac{c - z}{c - b}; & b \leq z \leq c \end{cases} \quad (3)$$

dimana:

1. α, b, c adalah titik-titik pada grafik fungsi keanggotaan.
2. $\mu(z)$ adalah derajat keanggotaan untuk nilai input z .

2.4. Blok Diagram Sistem Keseluruhan

Diagram sistem pada penelitian ini, yang menggambarkan konfigurasi bagian input, proses, dan output.

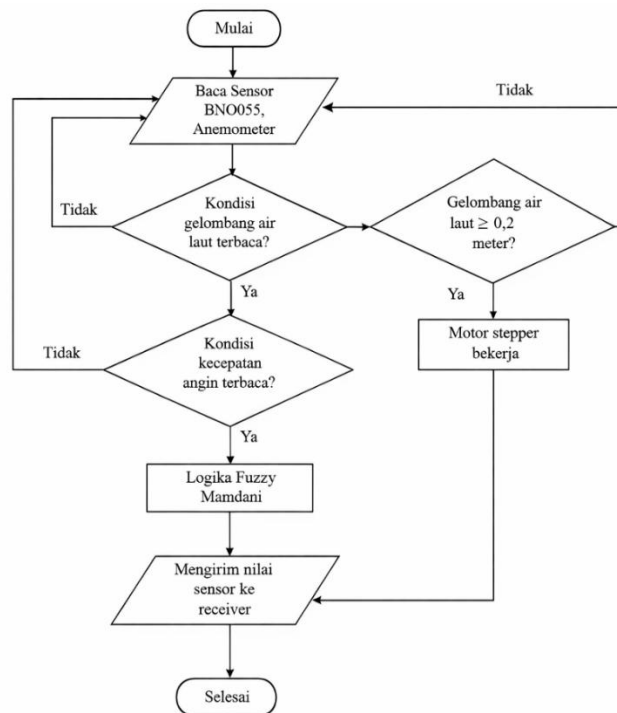


Gambar 1. Blok diagram sistem transmitter dan receiver

Gambar 1 menunjukkan blok Sistem input terdiri dari sensor BNO055 untuk mendeteksi gelombang laut dan anemometer untuk mengukur kecepatan angin. Data dari kedua sensor dikirim melalui LoRa transmitter ke LoRa receiver, lalu diteruskan ke web untuk menampilkan nilai sensor yang terbaca.

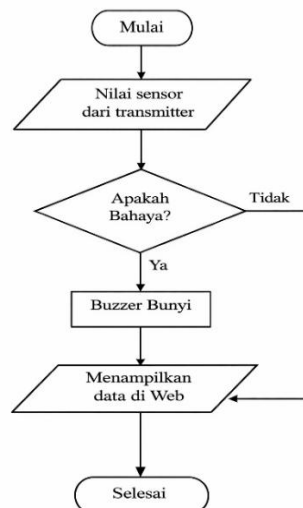
2.5. Diagram Alir Sistem Keseluruhan

Berikut merupakan flowchart dari sistem yang dibuat pada penelitian ini ditunjukkan pada dibawah ini:



Gambar 1. Flowchart Transmitter

Gambar 2 menunjukkan flowchart sistem yang diawali dengan pembacaan data dari sensor BNO055 dan anemometer. Data dari kedua sensor diproses menggunakan logika fuzzy Mamdani.



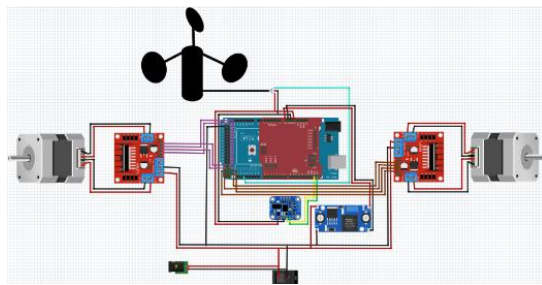
Gambar 2. Flowchart Receiver

Pada Gambar 3 merupakan *flowchart* dari *receiver* yang mana akan digunakan sebagai penerima data dari sensor pada alat yang digunakan untuk mendeteksi gelombang air laut

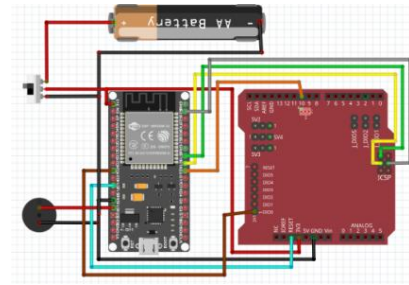
dan kecepatan angin di laut. Pada *receiver* ini dilengkapi dengan *buzzer* yang digunakan sebagai peringatan bahaya. Bahaya disini diperuntukkan untuk klasifikasi dari gelombang air laut dan kecepatan angin dalam keadaan bahaya atau tidak. Dengan demikian dapat memberikan informasi kepada para nelayan bahwasannya gelombang air laut tinggi yang menandakan dalam bahaya.

2.6. Perancangan *Hardware*

Pada Gambar 4 merupakan desain elektronik sistem yang menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai mikrokontroler, yang memiliki 54 pin digital I/O, 15 pin PWM, 16 input analog, dan 4 UART, serta dilengkapi sensor BNO055 dan sensor anemometer sebagai pendeteksi utama.



(a) Wiring Transmitter



(b) Wiring Receiver

Gambar 4. Wiring Perangkat

Pada Gambar 4 Sistem ini terhubung dengan rangkaian receiver yang menggunakan NodeMCU ESP32, modul LoRa sebagai penerima data, buzzer sebagai indikator bahaya, dan baterai sebagai sumber daya.

2.7. Perancangan *Software*

Pada Gambar 6 merupakan desain tampilan website. Pada tampilan website ini digunakan untuk memonitoring tinggi gelombang air laut, kecepatan angin, dan notifikasi. Tampilan website ini merupakan tampilan dari data yang dikirim dari *transmitter* ke *receiver* yang kemudian di tampilkan pada website.

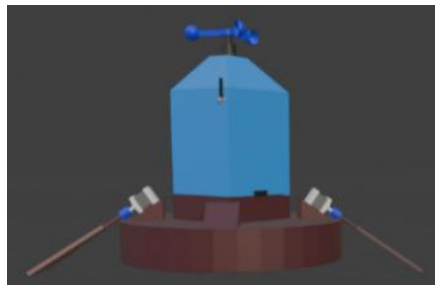


Gambar 5. Tampilan Website

2.8. Perancangan *Mekanik*

Gambar 7 menunjukkan perancangan alat pada penelitian ini. Komponen yang digunakan meliputi Arduino Mega 2560 sebagai mikrokontroler, sensor BNO055 untuk membaca tinggi gelombang, sensor anemometer untuk mengukur kecepatan angin, serta motor stepper untuk

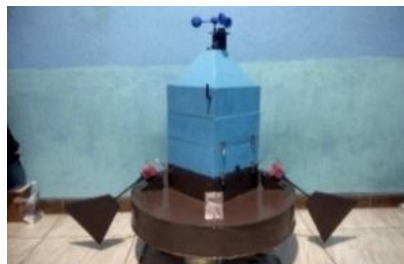
menjaga kestabilan alat di laut. Pengiriman data dilakukan melalui modul komunikasi LoRa yang terintegrasi pada sistem.



Gambar 6. Perancangan Mekanik

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Sensor BNO055



Gambar 7. Kalibrasi Sensor BNO055

Pada sensor BNO055 ini yang akan digunakan untuk mengukur ketinggian gelombang air laut. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor dalam mengukur jarak perpindahan pada sumbu X, Y, dan Z. Untuk mencapai tujuan tersebut, digunakanlah alat ukur berupa penggaris sebagai pembanding antara nilai yang dibaca oleh sensor dengan nilai sebenarnya. Berdasarkan hasil kalibrasi, sensor BNO055 mendeteksi perubahan tinggi gelombang pada kisaran 0–0,13 meter (13 cm) dengan rata-rata error 8% dan akurasi 92%. Nilai ini diperoleh dari pengujian langsung terhadap penggaris sebagai pembanding pada setiap perubahan ketinggian.

Tabel 3. Sumbu X, Y, Z Sensor BNO055

Sumbu X (°)	Sumbu Y (°)	Sumbu Z (°)
359,75	-6,19	3,13
0,00	-7,06	2,81
359,44	-7,44	3,56

Tabel 4. Kalibrasi Sensor BNO055

Penggaris (cm)	Tinggi Gelombang (m)	Selisih	Error (%)
2	0,03	1	50
3	0,04	1	30
4	0,04	0	0
5	0,05	0	0
8	0,08	0	0
9	0,09	0	0
10	0,1	0	0
11	0,11	0	0
13	0,13	0	0
Rata-rata selisih		0,2	8
Rata-rata selisih		0,2	8

Tabel diatas merupakan hasil pengujian perbandingan nilai sensor bno055 dengan penggaris. Pada pengukuran tinggi gelombang air laut menggunakan beberapa rumus untuk mencari nilai tinggi gelombang air laut sebagai berikut:

X derajat ke radian:

$$X_{rad} = X \times \left(\frac{\pi}{180}\right) \quad (4)$$

Y derajat ke radian:

$$Y_{rad} = Y \times \left(\frac{\pi}{180}\right) \quad (5)$$

Perubahan ketinggian sumbu X:

$$h_x = r \times \sin(X) \quad (6)$$

Perubahan ketinggian sumbu Y:

$$h_y = r \times \sin(Y) \quad (7)$$

Ketinggian dari sumbu X dan Y:

$$h = \sqrt{(h_x)^2 + (h_y)^2} \quad (8)$$

3.2 Pengujian Sensor *Anemometer*

Pengujian sensor *anemometer* dilakukan untuk menentukan seberapa akurat dan efektif sensor *anemometer* dalam mendeteksi berbagai tingkat kecepatan angin yang berbeda. Hasil pengujian ini diharapkan dapat memberikan data mengenai kemampuan sensor dalam mengukur kecepatan angin.

Tabel 5. Kalibrasi Sensor Anemometer

Sensor Anemometer (km/jam)	Anemometer Digital (km/jam)	Selisih	Tingkat Error (%)
12,21	12,4	0,19	1,5
12,21	12,1	0,11	0,9
12,21	12,4	0,19	1,5
12,21	12,4	0,19	1,5
12,21	12,3	0,09	0,7
Rata-rata selisih 15 data sample		0,2	1,6

s

Tabel diatas merupakan hasil pengujian perbandingan nilai sensor *anemometer* dengan *anemometer* digital yang telah di ukur. Presentase error pengukuran didapatkan dari perhitungan dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Error} = \frac{(\text{Sensor Anemometer} - \text{Anemometer Digital})}{\text{Anemometer Digital}} \times 100\% \quad (10)$$

Berdasarkan hasil pengujian, sensor anemometer mampu mengukur kecepatan angin dalam rentang 0 hingga 14,25 km/jam. Proses kalibrasi dilakukan dengan mengaktifkan sensor anemometer dan anemometer digital secara bersamaan pada kondisi angin nyata di lapangan, di mana hasil pembacaan sensor dibandingkan langsung dengan alat digital sebagai acuan. Dari beberapa kali pengujian diperoleh rata-rata selisih pembacaan sebesar 0,2 km/jam dengan rata-rata tingkat kesalahan sebesar 1,6%. Dengan demikian, tingkat akurasi sensor anemometer mencapai 98,4%, dengan resolusi pembacaan sekitar 0,1 km/jam.

3.3 Pengujian Motor Stepper Nema 17

Motor stepper NEMA 17 digunakan dalam penelitian ini untuk menjaga kestabilan pelampung berdasarkan tinggi gelombang laut yang dibaca oleh sensor BNO055. Pengujian dilakukan untuk memastikan motor berfungsi dengan baik. Terdapat dua motor stepper NEMA 17 yang akan bergerak bersamaan saat gelombang mencapai 0,2 meter guna menstabilkan pelampung.

3.4 Pengujian *Dragino LoRa Shield*

Pada penelitian ini, *Dragino LoRa Shield* berfrekuensi 915 MHz digunakan untuk komunikasi data antar perangkat. Peran transmitter adalah mengirim data sensor dari pelampung, sementara receiver menerima data tersebut sebelum diteruskan ke website.

```

14:30:10.112 -> Orientation: X (Roll): 0.12 Y (Pitch): -3.41 Z (Yaw): 1.98
              -> Tinggi Gelombang: 0.03 meter
              -> RPM: 55
              -> Kecepatan Angin: 1.92 km/jam
14:30:10.214 -> Notifikasi: Aman
14:30:13.004 -> Orientation: X (Roll): -0.08 Y (Pitch): -3.75 Z (Yaw): 2.20
              -> Tinggi Gelombang: 0.05 meter
              -> RPM: 85
              -> Kecepatan Angin: 3.15 km/jam
14:30:13.118 -> Notifikasi: Waspada Ringan

```

Gambar 8. LoRa Transmitter

Pada gambar diatas merupakan data yang akan dikirim oleh *transmitter* ke *receiver*. Berdasarkan program yang dibuat untuk mengirimdata sensor melalui lora, *transmitter* akan mengirimkan data berupa tinggi gelombang, kecepatan angin, dan notifikasi. Seperti halnya

pada gambar diatas dikirim tinggi gelombang 0,02 meter, kecepatan angin 2,04 km/jam, dan notifikasi aman yang dikirim ke lora *receiver*.

```
-> Received data:
GELOMBANG:0.03,ANGIN:1.92,NOTIFIKASI:Aman
Tinggi Gelombang: 0.03 meter, Kecepatan Angin: 1.92 km/jam, Notifikasi: Aman

-> Received data:
GELOMBANG:0.04,ANGIN:2.35,NOTIFIKASI:Aman
Tinggi Gelombang: 0.04 meter, Kecepatan Angin: 2.35 km/jam, Notifikasi: Aman

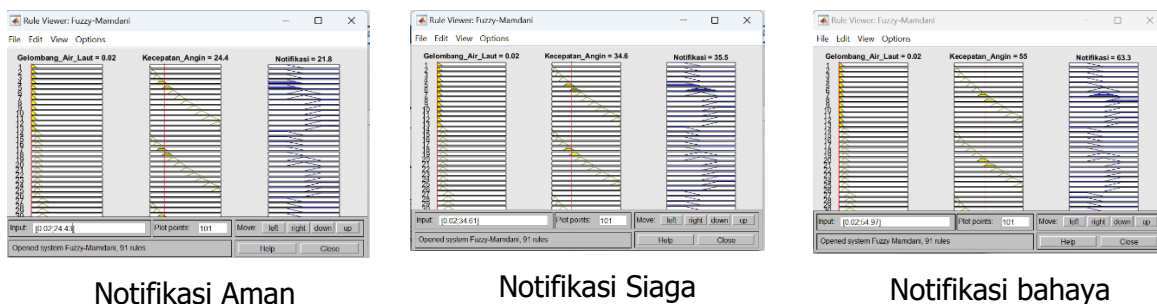
-> Received data:
GELOMBANG:0.05,ANGIN:3.15,NOTIFIKASI:Waspada Ringan
Tinggi Gelombang: 0.05 meter, Kecepatan Angin: 3.15 km/jam, Notifikasi: Waspada Ringan
```

Gambar 9. LoRa Receiver

Berdasarkan tampilan pada gambar, terlihat bahwa unit *receiver* telah berhasil menerima paket data telemetri yang dikirimkan oleh *transmitter* dengan sempurna. Paket informasi yang diterima mencakup parameter utama sistem, yakni tinggi gelombang, kecepatan angin, serta status notifikasi hasil pengolahan. Secara spesifik, data menunjukkan nilai tinggi gelombang sebesar 0,02 meter dan kecepatan angin 2,04 km/jam, yang kemudian diterjemahkan sistem menjadi notifikasi kondisi 'Aman'. Keberhasilan ini memverifikasi bahwa proses komunikasi data berjalan sinkron sesuai algoritma program, memastikan integritas data terjaga sebelum dilanjutkan ke tahap pengiriman ke website.

3.4 Pengujian Fuzzy Mamdani

Pengujian ini bertujuan untuk memvalidasi akurasi dan kinerja sistem notifikasi kondisi laut yang dirancang menggunakan algoritma logika *fuzzy* metode Mamdani. Sistem bekerja dengan memproses dua variabel input utama, yaitu tinggi gelombang dan kecepatan angin, yang kemudian dipetakan melalui aturan inferensi yang telah ditetapkan. Berdasarkan hasil pengolahan logika tersebut, sistem akan mengklasifikasikan tingkat risiko secara otomatis dan menghasilkan luaran berupa tiga kategori status notifikasi, yaitu Aman, Siaga, dan Bahaya, guna memberikan informasi keselamatan yang presisi.



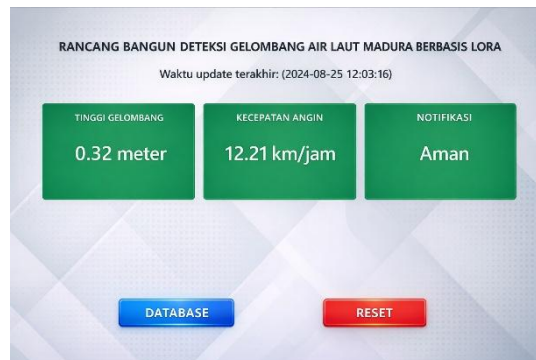
Gambar 10. Rule Viewer Fuzzy Mamdani

Berdasarkan hasil Rule Viewer, perubahan nilai tinggi gelombang dan kecepatan angin berpengaruh terhadap keluaran notifikasi. Saat nilai kedua parameter meningkat, sistem menampilkan kondisi Bahaya, sedangkan pada nilai rendah sistem menunjukkan Aman. Dari hasil pengujian diperoleh tingkat kesalahan 0,25%.

3.6 Pengujian Software

Pengujian perangkat lunak ini difokuskan untuk memvalidasi integrasi dan keandalan komunikasi data antara sistem perangkat keras dengan antarmuka website. Proses pengujian dilakukan secara langsung melalui platform web untuk memastikan bahwa transmisi data tidak hanya berjalan efisien, tetapi juga mempertahankan stabilitas koneksi yang optimal. Melalui pengujian ini, dievaluasi pula kemampuan antarmuka pengguna dalam menyajikan visualisasi

data sensor yang terkirim secara *real-time*, serta memastikan responsivitas sistem dalam menampilkan notifikasi status yang akurat berdasarkan hasil pembacaan sensor.



Gambar 11. Tampilan Website

3.7 Pengujian Keseluruhan

Pengujian ini bertujuan memantau tinggi gelombang, kecepatan angin, dan kinerja notifikasi. Pengujian tinggi gelombang dilakukan untuk melihat perubahan kondisi perairan di Kamal, Bangkalan, sedangkan pengujian kecepatan angin untuk mengetahui fluktuasi angin di wilayah tersebut. Uji notifikasi memastikan sistem dapat memberikan peringatan sesuai kondisi, yaitu aman, siaga, atau bahaya.



Gambar 12. Pengujian 1

Berikut merupakan data yang diperoleh dari pengujian sistem secara keseluruhan yang dilakukan dengan cara meletakkan alat deteksi di pinggir laut Kamal, Bangkalan-Madura dari pukul 08:54-1154 WIB, data yang diperoleh ini merupakan data *real-time* yang dikirim melalui komunikasi LoRa dan di *upload* ke web untuk mengetahui secara langsung terhadap nilai yang didapatkan.

Tabel 6. Pengujian 1

Waktu	Tinggi Gelombang (meter)	Kecepatan Angin (km/jam)	Notifikasi
08:54	0,26	0	Aman
08:59	0,05	0	Aman
09:04	0,23	0	Aman
09:09	0,27	0	Aman
09:14	0,27	0	Aman
09:19	0,32	0	Aman
09:24	0,09	0	Aman
09:29	0,26	0	Aman

Hasil pengujian pertama menyatakan perairan Kamal, Bangkalan dalam kondisi Aman dan stabil. Rata-rata tinggi gelombang tercatat di bawah 0,3 m, sementara kecepatan angin 0 km/jam.



Gambar 13. Pengujian 2

Berikut merupakan data yang diperoleh dari pengujian sistem secara keseluruhan yang dilakukan dengan cara meletakkan alat deteksi di tengah laut Kamal, Bangkalan-Madura dari pukul 09:23-12:03 WIB, data yang diperoleh ini merupakan data *real-time* yang dikirim melalui komunikasi LoRa dan di *upload* ke web untuk mengetahui secara langsung terhadap nilai yang didapatkan.

Tabel 7. Pengujian 2

Waktu	Tinggi Gelombang (meter)	Kecepatan Angin (km/jam)	Notifikasi
09:23	0,04	0	Aman
09:28	0,28	0	Aman
09:33	0,17	2,04	Aman
09:38	0,24	0	Aman
09:43	0,19	6,11	Aman
09:48	0,32	6,11	Aman
09:53	0,28	0	Aman
09:58	0,25	8,14	Aman

Hasil deteksi menunjukkan perairan Kamal, Bangkalan dalam kategori Aman, dengan rata-rata tinggi gelombang di bawah 0,3 m dan kecepatan angin maksimum 8,14 km/jam.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, sensor BNO055 untuk tinggi gelombang memiliki error 8% dengan akurasi 92%, sedangkan anemometer mencatat error 1,6% dan akurasi 98,4% untuk pengukuran kecepatan angin. Metode fuzzy Mamdani yang digunakan untuk klasifikasi kondisi laut menunjukkan tingkat kesalahan sangat rendah, yaitu 0,25%, sehingga notifikasi kondisi dapat diberikan dengan akurasi tinggi. Selain itu, sistem berbasis baterai 12 V 8 Ah mampu beroperasi sekitar 16 jam dalam kondisi normal, menandakan efisiensi daya yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

Adam, M. D., Murti, M. A., & Salam, R. A. (2024). Sistem Monitoring Tinggi Gelombang Lepas Pantai Untuk Mendeteksi Gejala Tsunami Menggunakan Sensor Inertial Measurement

- Unit. *e-Proceeding of Engineering*, 11(1), 452–456.
- Adityabrima, M. D., Setianingsih, C., & Saputra, R. E. (2021). Deteksi Tinggi Rendah Gelombang Air Laut Menggunakan Algoritma Fuzzy Dan Teknologi Iot High and Low Sea Waves Detection Using Fuzzy Algorithm and Iot Technology. *e-Proceeding of Engineering*, 8(5), 6194–6200.
- Alifia Sekar Ratri, Vecky C. Poekoel, & Arthur M. Rumagit. (2021). Design Of Weather Condition Monitoring System Based On Internet Of Things. *Jurnal Teknik Informatika*, 17(1), 1–10. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/informatika>
- Andreas, M. R., Saputra, R. E., & Setianingsih, C. (2021). Purwarupa Alat Pendeteksi Gelombang Air Laut Berbasis Internet of Things. *e-Proceeding of Engineering*, 8(2), 2031–2044.
- Astomo, R. B. W., Kurniawati, I., Mahmudah, A., & Sya'ronni. (2023). Rancang Bangun Instrumen Pengukur Tinggi Gelombang Permukaan Laut Menggunakan Sensor IMU GY955. *JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering*, 4(01), 26–36. <https://doi.org/10.31328/jasee.v4i01.277>
- Ayuningtyas, A. S., Uke, I., Usman, K., & Alinursafa, I. (2020). Analisis Perencanaan Jaringan LoRa (Long Range) Di Kota Surabaya LoRa (Long Range) Network Planning Analysis In Surabaya City. *e-Proceeding of Engineering*, 7(2), 1–9.
- Dero, A. I., Abdullah, R. M., & Nuary, Z. A. (2022). Variasi Gelombang, Arus Permukaan, Dan Angin Di Laut Halmahera Bagian Barat. *Jurnal Widya Climago*, 4(2), 45-53.
- Estu, D. S., Yantidewi, M., Rusdi, B. M., Adikuasa, M. B., & Khoiro, M. (2023). Alat Monitoring Ketinggian Air Laut Berbasis IOT dengan Nodemcu ESP32 DAN HC-SR04 IOT-Based Sea Water Level Monitoring Tool with Nodemcu ESP32 and HC-SR04. *Jurna Kolaboratif Sains*, 6(7), 585–597. <https://jurnal.unismuhpalu.ac.id/index.php/JKS>
- Haiyqal, S. V., Ismanto, A., Indrayanti, E., & Andrianto, R. (2023). Karakteristik Tinggi Gelombang Laut pada saat Periode Normal, El Niño dan La Niña di Selat Makassar. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(1), 190–202. <https://doi.org/10.14710/jkt.v26i1.17003>
- Hartono, R., Murti, M. A., & Alinursafa, I. (2022). *Sistem Pemantauan Ketinggian Gelombang Dan Ketinggian*.
- Kholiq, A., Lamidi, Amrinsani, F., Triwiyanto, T., Mahdy, H. A., Nazila, R., & Abdullayev, V. (2024). Development of Adaptive PD Control for Infant Incubator Using Fuzzy Logic. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 5(3), 756–765. <https://doi.org/10.18196/jrc.v5i3.21510>
- Kurnia, M. H., Saputra, R. E., & Setianingsih, C. (2021). High-Low Detection of Sea Water

- Waves With Multi-Sensor System Based on Iot. *e-Proceeding of Engineering*, 8(5), 6175–6182.
- Lumintang, A. A. D. C. L., Yuniza, S. I. Edy Prasetyo Hidayat, Anggara Trisna Nugraha, & Rini Indarti. (2023). Rancang Bangun Pendeteksi Kebakaran Dini Pada Kapal Ikan Berbasis Iot Dengan Komunikasi LoRa. *Jurnal 7 Samudra*, 8(1), 15–26. <https://doi.org/10.54992/7samudra.v8i1.136>
- Makhfudz, N., Susilowati, E., & Aspriyani, R. (2022). Implementasi Fuzzy Inference System (FIS) Tipe Mamdani dan Sugeno Untuk Prakiraan Cuaca Menggunakan Matlab Implementation of Mamdani and Sugeno Type Fuzzy Inference System (FIS) for Weather Forecasting Using Matlab. *Jurnal Teknologika (Jurnal Teknik-Logika-Matematika) Implementasi*, 1–11.
- Mardiyono, M., Sari, R. E., & Dini, O. N. (2021). Wind speed monitoring and alert system using sensor and weather forecast. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1108(1), 012029. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1108/1/012029>
- Mukhlisin, M., Irvawansyah, I., Daniel, A., Hafid, A. A., & BJ, B. (2023). Sistem Akuisisi Data Tinggi Gelombang Laut Berbasis Iot. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 9(2), 111. <https://doi.org/10.31884/jtt.v9i2.430>
- Myslenkov, S., Zelenko, A., Resnyanskii, Y., Arkhipkin, V., & Silvestrova, K. (2021). Quality of the wind wave forecast in the black sea including storm wave analysis. *Sustainability (Switzerland)*, 13(23). <https://doi.org/10.3390/su132313099>
- Noptian, S. R., Suhendi, A., Salam, R. A., Elektro, F. T., & Telkom, U. (2020). *Sistem Monitoring Ketinggian Permukaan Air Laut Menggunakan*. 7(2), 4517–4522.
- Parera, J. B., Haris, A., & Ontowirjo, J. (2019). The Use of the Internet of Things on Early Detection of Potential Tsunami. *Jurnal Teknik Informatika*, 1–8.
- Rahman, R. A., Ary Murti, M., & Budiman, F. (2021). Sistem Monitoring Tinggi Permukaan Air Laut Untuk Mendeteksi Potensi Tsunami Menggunakan Smart Sensor Bno055. *e-Proceeding of Engineering*, 8(5), 4546–4553.
- Saputro, A. K., Anditya, A. R., Ulum, M., Sukri, H., Alfita, R., & Ibadillah, A. F. (2020). Application of LoRa (Long Range Access) in optimizing internet of things using MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) for fish feed monitoring. *Proceeding - 6th Information Technology International Seminar, ITIS 2020, June*, 224–228. <https://doi.org/10.1109/ITIS50118.2020.9321021>
- Sari, V., & Maulidany, D. A. (2020). Prediksi Kecepatan Angin Dalam Mendeteksi Gelombang Air Laut Terhadap Skala Beaufort Dengan Metode Hybrid ARIMA-ANN. *Statistika*, 8(1), 8–

17. <http://jurnal.unimus.ac.id>
- Setiawan, J. D., Paryanto, & Rakha, H. M. (2022). Pengujian Sistem Monitoring Kondisi Lingkungan Perairan Dengan Memperhatikan Konsumsi Daya Dan Jarak Pengiriman Data Dengan Menggunakan Wahana Buoy. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(1), 103–116. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm>
- Sianipar, J. P., Saputra, R. E., & Setianingsih, C. (2021). Waves With Multi-Sensor System Based on Web Application Using Naive Bayes Algorithm. *e-Proceeding of Engineering*, 8(5), 6183–6188.
- Sofyan, I. R. M., Sartika, Al Imran, H., & Syamsuri, A. M. (2024). Analisis Tinggi Gelombang Pada Seawall Untuk Pencegahan Abrasi Pantai Seruni Kabupaten Bantaeng. *Arus Jurnal Sains dan Teknologi*, 2(1), 1–8. <https://doi.org/10.57250/ajst.v2i1.299>
- Sriyanto, S. P. D., Angmalisang, P. A., Manu, L., Schadu, J. N. W., Sondak, C. F. A., Mantiri, R. O. S. E., Luasunaung, A., & Sumilat, D. A. (2021). Automatic tsunami arrival detection algorithm for sea level observation system. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 9(4), 180–190. <https://doi.org/10.14710/jtsiskom.2021.14009>
- Utama, S. R., Firdausi, A., & Hakim, G. P. N. (2022). Control and Monitoring Automatic Floodgate Based on NodeMCU and IOT with Fuzzy Logic Testing. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 3(1), 14–17. <https://doi.org/10.18196/jrc.v3i1.11199>
- Wibisono, A. (2021). Wheeled robot design with brain wave headset control system. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 2(4), 322–327. <https://doi.org/10.18196/jrc.24100>
- Widyani, A. P., Amalya, A., Radityo A, S., Suwignyo, T., Ismanto, A., & Maslukah, L. (2024). Pengaruh Siklon Tropis Dahlia Terhadap Karakteristik Gelombang Laut di Pesisir Selatan Banten Menggunakan Pemodelan SWAN. *Buletin Oseanografi Marina*, 13(3), 327–340. <https://doi.org/10.14710/buloma.v13i3.58022>
- Windiasmoro et al. (2024). Rancang Bangun Prototype Sistem Monitoring Pintu Air Otomatis Pengendali Banjir Berbasis Internet of Things . Rancang Bangun Prototype Sistem Monitoring Pintu Air Otomatis Pengendali Banjir Berbasis Internet of Things Rizki Dwi Windiasmoro Lusia Rakhmawati. *Jurnal Teknik Elektro*, 41–48.
- Yulianto, R. D., Haryudo, S. I., Rakhmawati, L., & Rijanto, T. (2024). Perancangan Dan Pembuatan Prototype Water Spray Pembersih Panel Surya Berbasis Internet of Things. *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 26(3), 139–146. <https://doi.org/10.14710/transmisi.26.3.139-146>