

# Pengukuran Tinggi Gelombang Laut Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis *Internet of Things* (IOT)

Deddy Bakhtiar\*, Anadila Ashari, Ervina Nurlaila Herliany, Lia Julianti

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu  
Jl. W. R. Supratman, Kandang Limun, Bengkulu, 38371 Indonesia  
Email: deddybakhtiar@unib.ac.id

## Abstract

### Measurement of Ocean Wave Height Using Ultrasonic Sensor Based on The Internet of Things (IoT)

Disaster mitigation efforts in coastal areas require information on wave data in situ and accurately, for this reason technology is needed that can measure wave height data in realtime and continuously in order to monitor wave height easily. The purpose of this research is to develop a wave height measurement buoy device equipped with an underwater ultrasonic sensor with data transmission via the internet network. The research stages of developing an internet-based sea wave height measurement tool are designing hardware and software, collecting wave height data and testing the accuracy of the tool. The hardware is a floating buoy, IoT module consisting of JSN-SR04T ultrasonic sensor, ESP 8266 Wemos D1 microcontroller, battery, and router. This tool is connected to the ThingSpeak IoT platform as a database server so that it can be accessed in real time. The results showed that the hardware and software developed functioned well to measure data and send wave height data in real time and continuously. JSN-SR04T sensor measurement data and direct measurements have a significant relationship with a correlation coefficient of 0.56. The validation test results show that the measurement has a storage deviation or error of 8.32% due to the sensitivity of the sensor and the delay in sending data (delay) on average 2 seconds. The coefficient of determination shows that the corrected sensor data can explain 30.9% of the actual sea level data, and the remaining 69.1% is influenced by other factors.

**Keywords:** buoy, Platform IoT, JSN-SR04T sensor, ThingSpeak

## Abstrak

Upaya mitigasi bencana di kawasan pesisir membutuhkan informasi tentang data gelombang secara in situ dan akurat, untuk itu diperlukan teknologi yang dapat mengukur data tinggi gelombang secara realtime dan kontinu agar dapat memantau tinggi gelombang dengan mudah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan suatu perangkat wahana apung (buoy) pengukur tinggi gelombang yang dilengkapi sensor ultrasonik bawah air dengan transmisi data melalui jaringan internet. Tahapan penelitian pengembangan alat pengukuran tinggi gelombang laut berbasis internet yaitu melakukan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, pengambilan data tinggi gelombang dan uji akurasi pada alat. Perangkat keras yang dibuat berupa wahana apung buoy, modul IoT yang terdiri dari sensor ultrasonik JSN-SR04T, mikrokontroler ESP 8266 Wemos D1, baterai, dan router. Alat ini dihubungkan dengan platform IoT ThingSpeak sebagai server basis data sehingga dapat diakses secara realtime. Hasil penelitian menunjukkan perangkat keras dan perangkat lunak yang dikembangkan berfungsi dengan baik dapat melakukan pengukuran data dan pengiriman data tinggi gelombang secara real time dan terus menerus. Data pengukuran sensor JSN-SR04T maupun pengukuran langsung memiliki hubungan yang signifikan dengan koefisien korelasi sebesar 0,56. Hasil uji validasi menunjukkan pengukuran mengalami deviasi penyimpanan ataupun error sebesar 8,32 % disebabkan karena akibat sensitifitas pada sensor dan keterlambatan pengiriman data (delay) rata-rata 2 detik. Koefisien determinasi yang menunjukkan bahwa data sensor terkoreksi dapat menjelaskan sebesar 30,9% data ketinggian air laut sebenarnya, dan sisanya sekitar 69,1 % dipengaruhi oleh faktor lain.

**Kata kunci :** platform IoT, sensor JSN-SR04T, ThingSpeak, wahana apung

## PENDAHULUAN

Kawasan pesisir sangat rentan terhadap bencana seperti bencana tsunami (Ayunda et al., 2020) dan abrasi pantai yang menyebabkan perubahan garis pantai (Inaku et al., 2021). Upaya mitigasi bencana di kawasan pesisir tersebut sangat membutuhkan informasi atau data gelombang laut. Namun di Indonesia sulit untuk mendapatkan data pengamatan gelombang secara langsung (*in situ*) (Yuliani & Rejeki, 2020). Gelombang laut memiliki gerakan yang acak, dinamis dan kompleks, sehingga sulit untuk mengukur tinggi dan periode gelombang secara akurat (Noptian et al., 2020). Oleh karena itu banyak peneliti menggunakan model numeric dari data kecepatan angin untuk mendapatkan data gelombang (Wiratama et al., 2014; Wakkary et al., 2017). Meskipun demikian

data tinggi gelombang secara *real time* diperlukan agar dapat memantau tinggi gelombang dengan mudah untuk upaya mitigasi.

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengukur tinggi gelombang secara *in situ* adalah dengan menempatkan buoy yang dilengkapi sensor ultrasonik pengukur tinggi gelombang pada suatu perairan. Untuk mendapatkan data ketinggian gelombang secara *real time*, diperlukan suatu sistem perangkat dimana sensor dan perangkat lunak terhubung dengan internet untuk menghasilkan data pengukuran secara *real time*, yang disebut dengan *internet of things*(IoT) (Hartoto *et al.*, 2021).

Penggunaan sensor untuk pengukuran tinggi gelombang telah dilakukan beberapa peneliti seperti yang dilakukan Andreas *et al.* (2021) menggunakan sensor BNO055 untuk mendeteksi gelombang air laut. Sensor tersebut merupakan kombinasi dari tiga sensor, yaitu *accelerometer*, *gyroscope* dan *magnetometer*. Kemudian Setiawan *et al.* (2018) menggunakan sensor tekanan piezoresistif TMC19-100. Demikian pula Noptian *et al.* (2020) melakukan pengukuran tinggi muka air laut dengan sensor *accelerometer* berbasis IoT. Sedangkan Akram dan Fitria (2021) deteksi ketinggian air laut menggunakan NodeMCU dan Sensor *water level* berbasis IoT dan telegram messenger.

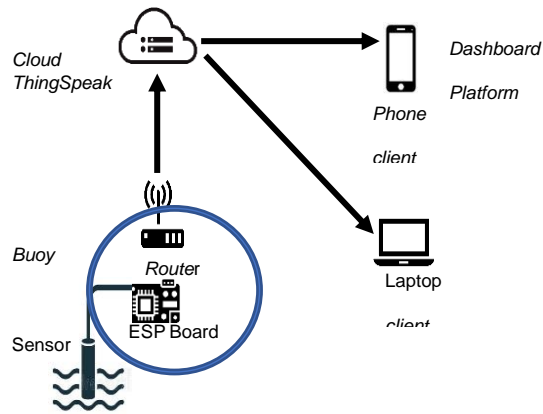
Pengukuran ketinggian gelombang sudah pernah dilakukan oleh beberapa penelitian menggunakan sensor ultrasonik untuk mengukur tinggi gelombang atau tinggi permukaan laut, seperti yang dilakukan Fadly dan Dewi (2019) menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 pada bangunan pantai. Kemudian Amdani (2019) mengukur tinggi gelombang laut secara *real time* dengan sistem pencatat data *offline* dan transduser ultrasonik HC-SR04. Diikuti oleh Adityabrima *et al.* (2021) menggunakan sensor dasar yaitu MPU6050 dan HC SR-04 untuk mendeteksi kecepatan gelombang dan tinggi gelombang. Agustin *et al.* (2022) melakukan hal yang sama membuat alat pemantau pasang surut berbasis IoT menggunakan NodeMCU ESP8266 dan HC-SR04 sebagai sensor pengukuran ketinggian air. Hartono *et al.* (2022) mengatakan, dengan menggunakan transduser ultrasonik MB-7383 atau bukan di bawah air, memberikan informasi tentang tinggi gelombang dan sifat permukaan laut dari gelombang ultrasonik. Batubara *et al.* (2023) memantau permukaan laut dengan Arduino Promini dan NodeMCU ESP8266 dan sensor ultrasonik SRF04. Sensor ultrasonik adalah semua sensor yang digunakan untuk mengukur jarak, bukan untuk penggunaan di bawah air, sehingga gelombang hanya dapat diukur di atas air.

Pengukuran tinggi gelombang laut menggunakan sensor untuk mendapatkan data tinggi gelombang pada perairan yang lebih jauh dari pantai atau di daerah pesisir diperlukan wahana apung seperti *buoy*. Penggunaan wahana apung (*buoy*) untuk pengukuran gelombang sudah pernah dilakukan oleh Astuti dan Jaya (2014) dan Munandar *et al.* (2018) menggunakan sensor *accelerometer* yang diletakkan pada sebuah pelampung (*buoy*). Namun penelitian tersebut belum berbasis IoT dan tidak menggunakan sensor jenis *ultrasonic*. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengembangkan suatu perangkat wahana apung (*buoy*) pengukur tinggi gelombang yang dilengkapi sensor ultrasonik bawah air dengan transmisi data melalui jaringan internet.

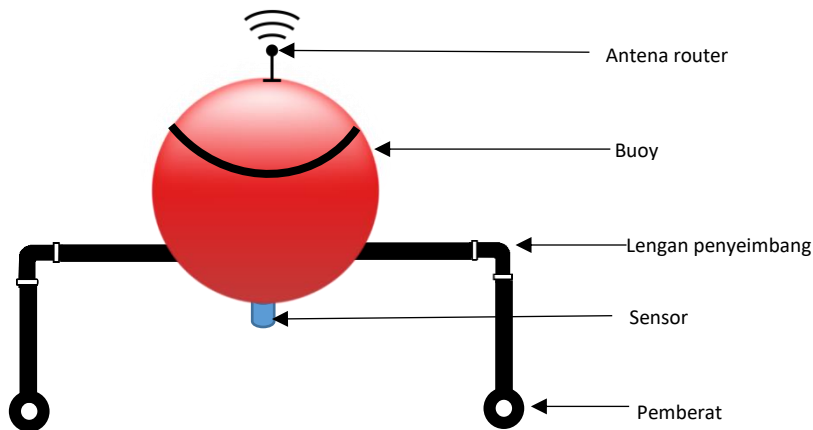
## MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September-November 2023. Uji coba alat dilakukan di Pantai Tapak Paderi Kota Bengkulu. Alat dan Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari *buoy*, mikrokontroler ESP 8266 Wemos D1 mini, sensor ultrasonik JSN-SR04T, modem, *powerbank* 10.000 mAh, breadboard, kabel jumper, tiang berskala untuk pengukuran tinggi gelombang sebagai control/pembanding, pipa paralon 1 inch (untuk pembuatan lengan *buoy*), elbow 1", dan pemberat beton.

Tahapan penelitian untuk pengukuran tinggi gelombang air laut berbasis IoT terdiri dari beberapa tahapan yaitu melakukan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, pengambilan data tinggi gelombang dan uji akurasi pada alat. Diagram sistem pengukuran gelombang laut pada smart buoy berbasis IoT bisa di lihat pada Gambar 1 dan desain buoy sebagai wahana apung dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 1.** Konsep sistem pengukuran Gelombang laut pada *smart buoy* berbasiskan IoT



**Gambar 2.** Desain Smart Buoy

Buoy ini berfungsi sebagai kompartemen kedap air tempat meletakkan perangkat elektronik. Pada bagian atas *buoy* dipasang antena dari router untuk pengiriman data dan pada bagian bawah dipasang sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air/gelombang. *Buoy* juga dilengkapi dengan empat lengan, dimana pada bagian bawah lengan diberi pemberat yang berfungsi sebagai stabilisator *buoy*.

Uji akurasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor pada *buoy* yang diterima perangkat IoT dengan hasil pengukuran langsung menggunakan papan skala tinggi air. Sebelumnya juga dilakukan pengujian sistem sensor pengukuran dan pengiriman data melalui internet dilakukan pada kolam ikan untuk mengetahui apakah sistem telah berfungsi dengan baik sekaligus untuk kalibrasi data hasil pengukuran. Hasil pengukuran tinggi gelombang secara langsung dengan papan skala dan pengukuran sensor kemudian dianalisis dengan menghitung selisih pengukuran keduanya untuk mengetahui tingkat keakuratan pengukuran. Selisih absolut menunjukkan selisih perbedaan antara variabel yang dibandingkan. Selisih absolut di sini disebut sebagai Nilai Selisih (Barlas, 1996) dengan persamaan berikut:

$$\text{Selisih absolut (Ea)} = |\bar{S} - \bar{A}|$$

Dimana  $\bar{S}$  adalah rata-rata nilai hasil pengukuran sensor dan  $\bar{A}$  adalah nilai hasil pengukuran langsung

Selisih relatif menunjukkan besarnya tingkat perbedaan dengan membandingkan selisih absolut terhadap nilai aktualnya (dinyatakan dalam %) (Barlas, 1996). Selisih relatif di sini disebut dengan Nilai Persentase Selisih. Semakin kecil perbedaan/selisih relatifnya, maka nilai perkiraan yang diperoleh akan semakin baik

$$\text{Selisih relatif (Er)} = \frac{|\bar{S} - \bar{A}|}{\bar{A}} \times 100\%$$

Guna mengetahui trend sebaran data dari hasil pengukuran langsung dengan nilai hasil pengukuran sensor pada *smart buoy bersifat linier*, maka dilakukan analisis regresi untuk mengetahui hubungan linier dan mendapatkan persamaan pendugaan nilai ketinggian permukaan air laut yang sebenarnya dari hasil pengukuran sensor dengan rumus (Sugiyono, 2007):

$$Y = a + bX$$

$$b = \frac{n \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

$$a = \frac{(\sum Y_i)(\sum X_i^2) - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

$$r = \frac{n \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{\sqrt{[n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2][n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2]}}$$

Dimana Y adalah nilai dugaan ketinggian sebenar, X adalah nilai pengukuran sensor terkoreksi, a dan b adalah konstanta regresi, dan r adalah koefisien korelasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan alat pengukur tinggi gelombang laut dilakukan melalui perancangan perangkat keras dengan menkonstruksi buoy dan merakit perangkat elektronik yang digunakan, setelah selesai perancangan perangkat keras maka dilakukan perancangan perangkat lunak. Perangkat lunak yang dimaksud adalah dengan membuat *coding* pada Arduino IDE, yang berfungsi untuk aktivasi semua alat pada mikrokontroler dengan membuat *coding* di arduino IDE. Pengujian system dari program (*coding*) yang dibuat telah dilakukan untuk memastikan perangkat berhasil menerima data pada sensor dan mengirim datanya melalui platform IoT ThingSpeak, script program (*coding*) yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 3. Platform IoT Thingspeak yang digunakan telah mampu menunjukkan kemampuan akuisisi data dan visualisasi dengan baik dengan konektivitas yang stabil, hal sesuai dengan yang dikemukakan Noptian *et al.* (2020) bahwa kemampuan penting platform IoT adalah pada tingkat konektivitas dan manajemen jaringan, manajemen perangkat, akuisisi data, visualisasi pemrosesan, integrasi dan penyimpanan.

Sebelum dilakukan pengukuran langsung di lapangan, terlebih dahulu dilakukan pengujian di kolam untuk mengetahui stabilitas buoy dan kedalaman draft buoy yang terendam air untuk koreksi kedalaman transduser. Uji coba dikelam juga untuk menguji system pengukuran dan pengiriman data pada perangkat elektronik di buoy sudah berkerja dengan baik. Setelah pengujian di kolam, dilakukan pengujian lapangan di pantai. Pengukuran di lapangan dilakukan dengan dua cara yaitu

pengukuran langsung dengan menggunakan tiang berskala dan di sebelah tiang diletakkan buoy yang merupakan alat yang akan diuji. Hasil pengukuran data sensor dan pengukuran secara langsung dapat dilihat pada Gambar 4.

```
#include <ThingSpeak.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
const char* ssid = "IOT";
const char* password = "1234567890";
unsigned long myChannelNumber = 2;
const char* server = "api.thingspeak.com";
const char* apiKey = "W3AMLC0Z5EEJ2012";
const int trigPin = D4; // D1
const int echoPin = D3; // D2
WiFiClient client;

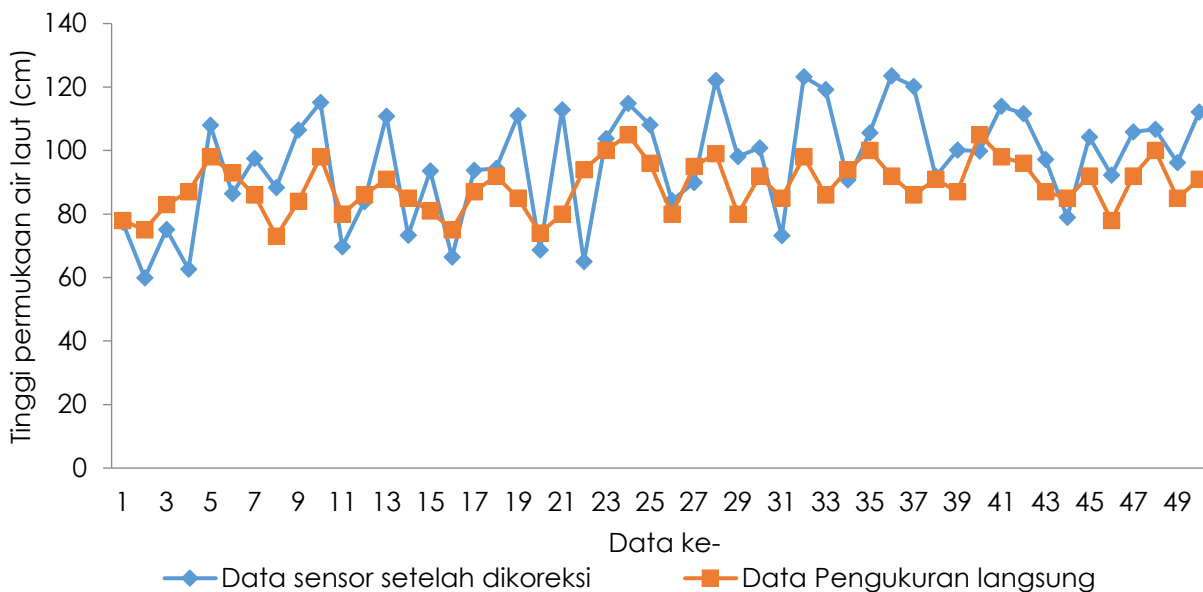
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(500);
  WiFi.begin(ssid, password);
  Serial.println("");
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.print(".");
    delay(500);
  }
  Serial.println("");
  Serial.print("Successfully connected to: ");
  Serial.println(ssid);
  ThingSpeak.begin(client);
}

void loop() {
  float distance;
  // Measure distance using ultrasonic sensor
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  distance = pulseIn(echoPin, HIGH) * 0.0343 / 2; // Calculate distance in centimeters
  ThingSpeak.setField(1, distance);
  int x = ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber, apiKey);
  if (x <= 500) {
    Serial.println("channel update sukses :");
  }
  else {
    Serial.println("gagal update channel. kode error : " + String(x));
  }
  Serial.print("Distance: ");
  Serial.print(distance);
  Serial.println(" cm. Sent to ThingSpeak.");
  client.stop();
  Serial.println("Waiting...");
  // Thingspeak needs a minimum 15-second delay between updates
  delay(15000);
}
```

**Gambar 3.** Codingan program pada alat yang sudah di upload pada arduino IDE

**Tabel 1.** Nilai rata-rata dan selisih hasil pengukuran langsung dengan pengukuran sensor

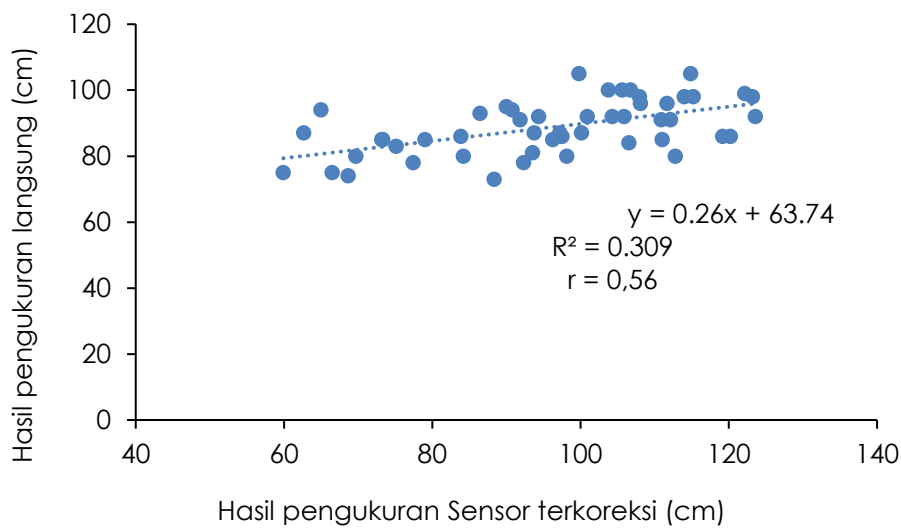
Komponen	Data pengukuran langsung	Data pengukuran sensor
Nilai minimum (cm)	73	59,90
Nilai maksimum (cm)	105	123,58
Rata-rata (cm)	88,8	96,19
Selisih absolut (Ea) (cm)	7,39	
Selisih relatif (Er) (%)	8,32	



**Gambar 4.** Data hasil pengukuran sensor JSN-SR04T dan data pengukuran langsung

Berdasarkan Gambar 4 terlihat bahwa bentuk gelombang antara hasil pengukuran sensor dan pengukuran langsung telah memiliki pola yang hampir sama, meskipun terdapat beberapa data yang memiliki perbedaan atau selisih. Hasil data pengukuran bisa mengalami deviasi penyimpangan pada data tinggi gelombang disebabkan karena akibat sensitifitas pada sensor serta pengiriman data yang *loss* kepadatan aliran trafik pada jaringan (Batubara *et al.*, 2023).

Nilai rata-rata tinggi gelombang dari hasil pengukuran langsung (menggunakan papan skala) sebesar 88,8 cm sedangkan nilai rata-rata tinggi gelombang dari hasil pengukuran sensor JSN-SR04T pada buoy sebesar 96,19 cm. Hal ini berarti terdapat selisih pengukuran sebesar 7,39 cm (Tabel 1). Nilai rata-rata error atau selisih relatif yang diperoleh dari hasil pengukuran sensor terhadap data pengukuran langsung sebesar 8,32 %, menurut Barlas (1996) jika nilai rata-rata error < 10 % maka termasuk dalam kategori alat ukur dengan akurasi tinggi. Berdasarkan nilai rata-rata error tersebut, maka alat ukur tinggi gelombang yang dibuat memiliki tingkat akurasi sebesar 91,68 % sehingga dikatakan valid. Sementara itu Fadly dan Dewi (2019) mendapatkan nilai rata-rata error sebesar 1,83 % dari hasil pengujian alat pengukur tinggi muka air dengan sensor ultrasonik HC-SR04, nilai rata-rata error yang lebih rendah hal ini karena sensor yg digunakan di pasang menggantung di atas permukaan air, sedangkan yang digunakan dalam penelitian ini sensor diletakkan pada buoy yang berada di air sehingga sangat dipengaruhi oleh pergerakan gelombang. Hal yang berbeda diperoleh Purwanto *et al.* (2019) memperlihatkan Sensor JSN-SR04T memiliki rata-rata error 1,28%, lebih rendah dibandingkan sensor HC-SR04 dengan rata-rata error 2,48%. Hubungan hasil pengukuran langsung dan pengukuran dari sensor serta sebaran plot datanya dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Grafik hubungan ketinggian air laut sebenarnya dengan ketinggian sensor

Hasil plotting sebaran data pengukuran langsung dan pengukuran sensor (Gambar 5) memperlihatkan sebaran data yang bervariasi namun mengikuti pola garis linier. Berdasarkan hasil analisis regresi linier diperoleh persamaan pendugaan nilai ketinggian permukaan air yang sebenarnya, yaitu:  $y = 0,26x + 63,74$ . Koefisien korelasi ( $r$ ) yang diperoleh adalah 0,56, yang berarti menunjukkan ada hubungan yang positif dengan tingkat hubungan yang agak rendah (Yuantari dan Handayani, 2017). Koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang diperoleh adalah 0,309, yang menunjukkan bahwa data sensor dapat menjelaskan sebesar 30,9% data ketinggian air laut sebenarnya, dan sisanya sekitar 69,1 % dipengaruhi oleh faktor lain.

Salah satu faktor yang diduga mempengaruhi rendahnya koefisien determinasi adalah adanya keterlambatan pengiriman data sensor yang seharusnya data diterima rentan waktu 15 detik tetapi mengalami keterlambatan hingga 2 detik pengiriman. Hal yang sama juga dilaporkan Agustin *et al.* (2022) data yang diterima dari *ThingSpeak* melalui jaringan internet mengalami interval *delay* 15-19 sekon, dikarenakan lemahnya jaringan hotspot seluler untuk mengirim data ke server *ThingSpeak*, sehingga banyak data yang mengalami keterlambatan perekaman. Dugaan penyebab kehilangan data ini berkaitan dengan masalah pada penyedia telekomunikasi atau server komunikasi, sebuah aspek yang perlu diselidiki lebih lanjut (Kusuma *et al.*, 2024).

## KESIMPULAN

Rancangan alat monitoring gelombang laut berbasis IoT dengan menggunakan mikrokontroler ESP8266 Wemos D1 dan sensor JSN-SR04T berhasil dibuat dan dapat berfungsi dengan baik. Data yang diperoleh dikirimkan melalui jaringan internet ke *website ThingSpeak* dengan interval waktu pengiriman data 15 detik tetapi juga mengalami keterlambatan pengiriman hingga 2 detik. Hasil uji validasi menunjukkan pengukuran mengalami deviasi penyimpanan ataupun error sebesar 8,32 % atau tingkat disebabkan karena akibat sensitifitas pada sensor dan keterlambatan pengiriman data (*delay*) rata-rata 2 detik. Alat ukur tinggi gelombang yang dibuat memiliki tingkat akurasi sebesar 91,68 % sehingga dikatakan valid. Koefisien determinasi yang menunjukkan bahwa data sensor terkoreksi dapat menjelaskan sebesar 30,9% data ketinggian air laut sebenarnya, dan sisanya sekitar 69,1 % dipengaruhi oleh faktor lain.

## DAFTAR PUSTAKA

Adityabrima, M.D., Setianingsih, C., & Saputra, R.E. (2021). Deteksi Tinggi Rendah Gelombang Air Laut Menggunakan Algoritma Fuzzi Dan Teknologi Iot. *eProceedings of Engineering*, 8(5), 6194-6200.

- Agustin, R.D., Sucahyo, I. & Yantidewi, M. (2022). Rancang Bangun Alat Monitoring Pasang Surut Air Laut Berbasis IoT dengan NodeMCU ESP8266 dan HC-SR04 JIIF. *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, 6(2), 147-157.
- Akram, R., & Fitria, L. (2021). Build Internet of Thing Based Sea Level Detection System. *Journal of Informatics and Telecommunication Engineering*, 4(2), 325-334.
- Amdani. (2019). Rancang Bangun Alat Ukur Tinggi Gelombang Air Laut Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno. *Jurnal Teknik kelautan dan perikanan Karawang Systematics*, 1(2), 130-139.
- Andreas, M.R., Saputra, R.E., & Setianingsih, C. (2021). Purwarupa Alat Pendeteksi Gelombang Air Laut Berbasis Internet of Things. *eProceedings of Engineering*, 8(2), 2031-2044.
- Astuti, K.D. & Jaya, I. (2014). Rancang Bangun, Uji Coba dan Analisis Hasil Pengukuran Instrumen Pengukur Tinggi Gelombang Permukaan Laut (Design, Testing and Results Analysis of Sea Surface Wave Height). *Journal of Marine Sciences*, 19 (3):165-170.
- Ayunda, G., Ismanto, A., Hariyadi, H., Sugianto, D.N., & Helmi, M. (2020). Analisis penalaran run-up gelombang tsunami menggunakan pemodelan numerik 2D di Pesisir Kota Bengkulu. *Indonesian Journal of Oceanography*, 2(3), 253-260.
- Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review: The Journal of the System Dynamics Society*, 12(3), 183-210.
- Batubara, M.A., Sidiq, M. R., Ulvan, A., & Melvi, M. (2023). Rancang Bangun Sistem Monitoring Ketinggian Muka Air Laut Menggunakan Arduino Pro Mini dan NodeMCU ESP8266. *Jurnal Teknologi Riset Terapan*, 1(1), 25-35.
- Fadly R, & Dewi C. (2019). Pengembangan Sensor Ultrasonic Guna Pengukuran Pasang Surut Laut Secara Otomatis dan Real Time. *Jurnal Rekayasa*, 23 (1), 1-16.
- Hartono, R., Murfi, M.A., & Alinursafa, I. (2022). Sistem Pemantauan Ketinggian Gelombang Dan Ketinggian Permukaan Air Laut Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan LPWAN LoRa. *Prosiding Seminar Nasional Ilmu Sosial Dan Teknologi*, 4, 157-163.
- Hartoto, D.N.P., Fadly, R., & Zakaria, A. (2021). Studi Akurasi Sensor Ultrasonik Tipe US-015 Untuk Pengukuran Pasang Surut Air Laut Daerah Bergelombang. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 8(1), 33-52.
- Inaku, D.F., Nurdin, N., & Satari, D.Y. (2021). Perubahan Garis Pantai pada Musim Timur dan Barat kaitannya dengan Karakteristik Gelombang di Pesisir Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan. *Jurnal Kelautan Tropis*, 24(3), 302-310.
- Kusuma, H.A., Egistian, F., Cintra, A.K.A., & Setyono, D E.D. (2024). Tidal Analysis and Implementasion of an Internet of Things (IoT) Sea Level Monitoring Device in Coastal Region. *Jurnal Kelautan Tropis*, 27(1), 93-102.
- Munandar, E., Jaya, I., & Atmadipoera, A. S. (2018). Rancang bangun dan uji kinerja wave buoy sebagai alat pengukur tinggi gelombang pesisir. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(1), 1-14.
- Noptian, S. R., Suhendi, A., & Salam, R.A. (2020). Sistem Monitoring Ketinggian Permukaan Air Laut Menggunakan Accelerometer Berbasis IoT. *eProceedings of Engineering*, 7(2): 4517-4522
- Purwanto, H., Riyadi, M., Astuti, D.W.W., & Kusuma, I.W.A.W. (2019). Komparasi sensor ultrasonik HC-SR04 dan JSN-SR04T untuk aplikasi sistem deteksi ketinggian air. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, 10(2), 717-724.
- Setiawan, A., Pranowo, W.S., & Monang, S. (2018). Pembangunan Purwarupa Alat Ukur Gelombang Menggunakan Sensor Tekanan Dilengkapi Telemetry: Construction of a Prototype of Wave Measurement Tool Using a Pressure Sensor Equipped with Telemetry. *Jurnal Hidropilar*, 4(2), 85-94.
- Sugiyono. (2007). *Statistika untuk Penelitian*. Alfabeta, Bandung. 390 hal.
- Wakkary, A.C., Jasin, M.I., & Dundu, A.K. (2017). Studi Karakteristik Gelombang Pada Daerah Pantai Desa Kalinaung Kab. Minahasa Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 5(3), 167-174
- Wiratama, G.N.W., Jumarang, M.I., & Muliadi, M. (2014). Studi Faktor Penentu Akresi dan Abrasi Pantai Akibat Gelombang Laut di Perairan Pesisir Sungai Duri. *Prisma Fisika*, 5(3), 138-144.
- Yuantari, M.G.C., & Handayani, S. (2017). *Buku ajar: Biostatistika Deskriptif dan Inferensial*. Badan Penerbit Universitas Dian Nuswantoro. 147 hal.
- Yuliani, A.D., & Rejeki, H.A. (2020). Pengaruh Gelombang Terhadap Abrasi di Pesisir Kabupaten Demak, Kendal, dan Kota Semarang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 2(4), 378-385.