

# Sistem *Monitoring* Tinggi Gelombang Lepas Pantai Untuk Mendeteksi Gejala Tsunami Menggunakan Sensor *Inertial Measurement Unit*

1<sup>st</sup> Muhamad Dhani Adam  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

dhaniadam@student.telkomuniversity.ac.id

2<sup>nd</sup> Muhammad Ary Murti  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

arymurti@telkomuniversity.ac.id

3<sup>rd</sup> Rahmat Awaludin Salam  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung,

Indonesiaawaludinsalam@telkomuniversity.ac.id

**Abstrak** - Seperti yang diketahui fenomena alam merupakan suatu hal yang tidak dapat dihindarkan oleh manusia, terkhusus anomali/perubahan alam. Anomali alam dapat menyebabkan kerugian berupa materi maupun nyawa. Salah satu fenomena alam yang terjadi adalah perubahan gelombang pasang surut laut. Dengan terjadinya bencana ini yang disebabkan fenomena alam, diberikan salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengurangi dampak yang diberikan dengan menyampaikan informasi dan peringatan kepada masyarakat terkait perubahan pasar surut gelombang laut terkhusus masyarakat yang tinggal di pesisir pantai. Sistem *monitoring* yang akan dirancang adalah sistem yang dapat memantau kondisi gelombang laut sehingga mengetahui fenomena alam yang terjadi dengan menyampaikan informasi berupa ketinggian gelombang laut dan status gelombang laut. Penelitian ini berhasil menggabungkan antara *smart sensor* BNO055, Arduino Nano dan TTGO LoRa sehingga menghasilkan *error* dari ketinggian gelombang sebesar 7,5% dan akurasi sebesar 92,5%. Pengiriman data yang dilakukan memiliki *interval* waktu kirim sebesar 1 menit dan data yang dikirimkan berupa SNR, *delay*, RSSI dan nilai ketinggian gelombang.

**Kata Kunci:** Tsunami, BNO055, Arduino Nano, TTGO LoRa, Gelombang Laut

## I. PENDAHULUAN

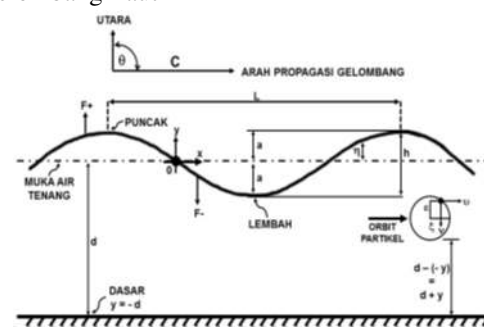
Indonesia dilewati oleh barisan gunung api aktif atau yang dikenal sebagai ring of fire. Hal ini menyebabkan negara Indonesia menjadi rawan terjadinya gempa. Jika gempa terjadi di bawah laut, maka akan memicu terbentuknya anomali gelombang laut yang berpotensi menimbulkan bencana alam tsunami.

Mengingat banyaknya jumlah korban jiwa pada peristiwa bencana tsunami tersebut, maka dibutuhkan sistem yang mampu memantau fenomena gelombang laut dan kondisi ketinggian gelombang laut, jika ketinggian gelombang mengalami anomali maka dapat membantu dalam mitigasi bencana yang akan terjadi. Dalam penelitian ini akan dibuat sistem monitoring tinggi gelombang air laut menggunakan modul *smart sensor* BNO055 yang merupakan salah satu jenis *Inertial Measurement Unit* (IMU) yang terintegrasi dengan beberapa sensor berupa *accelerometer*, *gyroscope*, dan *magnetometer*. Sistem ini akan membaca kondisi gelombang yang kemudian akan diolah menggunakan Arduino Nano sehingga menjadi data

ketinggian gelombang yang dapat diklasifikasikan berdasarkan karakteristik gelombang dan data akan dikirimkan menggunakan TTGO LoRa melalui jaringan LoRa yang tersedia.

## II. KAJIAN TEORI

### A. Gelombang Laut



GAMBAR 1  
Gelombang Laut

Definisi gelombang laut yaitu bentuk fisik air laut dimana muka air tenang mengalami gerakan naik turun menyerupai garis sinusoidal karena adanya gaya pembangkit ( $F+$ ) dan gaya pengembali ( $F-$ ) sehingga gelombang laut memiliki tinggi ( $h = 2a$ ) dan panjang ( $L$ ) serta fluktuasi muka air dengan arah ( $\theta$ ) dan cepat rambat propagasi gelombang ( $C$ ) yang mempengaruhi gerak partikel air (*horizontal, vertical*) [1].

Gelombang diklasifikasikan beberapa macam tergantung kepada gaya pembangkitan seperti angin, gaya tarik menarik bumi, bulan, matahari dan gempa. Klasifikasi gelombang berdasarkan ukuran dan penyebabnya:

1. Riak (*ripples*) / gelombang kapiler (*capillary wave*) dengan panjang gelombang 1,7 meter dan periode kurang dari 0,2 detik disebabkan oleh adanya tegangan permukaan dan tiupan angin yang tidak terlalu kuat pada permukaan laut.
2. Gelombang angin (*seas/wind waves*) dengan panjang gelombang sampai kira-kira 130 meter dan periode 0,2-0,9 detik ditimbulkan angin.

3. Alun (*swell*) dengan panjang gelombang sampai ratusan meter dan periode 0,9-15 detik ditimbulkan oleh angin yang bertiup lama.
4. Gelombang pasang surut (*tidal wave*) dengan panjang gelombang beberapa kilometer dengan periode 5 jam, 12 jam, dan 25 jam oleh fluktuasi gaya gravitasi matahari dan bulan [2].

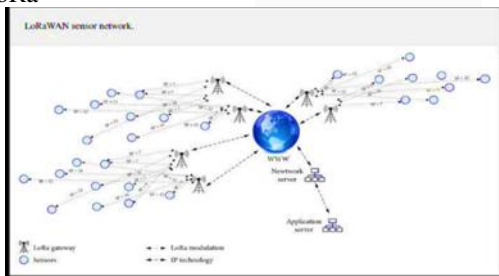
Dalam penelitian ini menggunakan tinggi gelombang yang dimana tinggi gelombang dari sebuah gelombang permukaan laut merupakan jarak antara puncak dan lembah gelombang tersebut.

**B. Sensor IMU**

Salah satu jenis sensor yang digunakan dalam perangkat elektronik adalah sensor *Inertial Measurement Unit* (IMU). Sensor IMU berfungsi untuk mengukur kecepatan, orientasi, dan gaya gravitasi dengan menggunakan komponen utama berupa *accelerometer* dan *gyroscope*. *Accelerometer* mengukur percepatan dengan cara mengintegrasikan percepatan benda terhadap waktu. *Gyroscope* berfungsi untuk mendeteksi gerakan sesuai dengan gerakan pengguna dengan *output* berupa kecepatan sudut dari sumbu x, y, dan z [3].

Pada penelitian ini menggunakan sensor IMU yang terintegrasi antara *accelerometer*, *gyroscope* dan *magnetometer*. Penggunaan sensor IMU diperlukan pada penelitian ini dikarenakan lokasi pengujian berada di lepas pantai. Disisi lain, sensor IMU lebih efisien karena sudah terintegrasi dengan baik antar sensor.

**C. LoRa**



GAMBAR 2  
LoRa Network

Arsitektur jaringan LoRaWAN yang mencakup LoRaWAN node, LoRaWAN Gateway, Network Server dan Application server. Data yang dikirimkan oleh sensor pada LoRaWAN node akan diterima oleh LoRaWAN Gateway, yang kemudian akan diteruskan oleh LoRaWAN Gateway ke Network Server. LoRaWAN Gateway berperan sebagai sistem yang menghubungkan device dengan Network Server atau dapat dikatakan berperan sebagai jembatan yang menghubungkan perangkat dan Network Server [4].

**III. METODE**

**A. Proses Pengambilan Data**

Proses pengambilan data ketinggian gelombang secara matematis adalah sebagai berikut:

1. Data Akselerasi

*Smart* sensor BNO055 merupakan sensor yang dapat membaca akselerasi pada sumbu x, y, dan z. Untuk mendapatkan nilai ketinggian gelombang dibutuhkan terlebih dahulu data akselerasi gelombang yang dapat dihitung menggunakan formula sebagai berikut:

$$\alpha = \sqrt{aX^2 + aY^2 + aZ^2}$$

Nilai yang didapatkan masih dipengaruhi oleh nilai gravitasi, maka nilai gravitasi dihilangkan dengan cara mengurangi nilai a dengan nilai standar gravitasi ( $1g = 9,806 \text{ m/s}^2$ ) [5].

**2. Data Kecepatan Sudut**

Data kecepatan sudut didapatkan dari pembacaan sensor *gyroscope* yang dimana pembacaan data pada sumbu x, y, dan z dalam satuan rad. Oleh karena itu, nilai kecepatan sudut dihitung menggunakan formula sebagai berikut:

$$\omega = \sqrt{\omega X^2 + \omega Y^2 + \omega Z^2}$$

Satuan yang dipakai pada data kecepatan sudut adalah *rad/s* [5].

**3. Data Ketinggian Gelombang Laut**

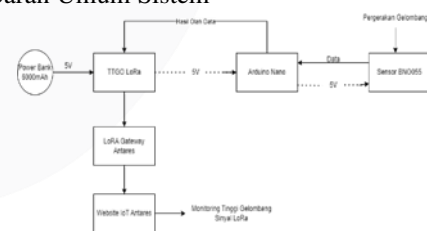
Dapat diperhatikan pada Gambar 3.7 bahwa data ketinggian gelombang laut dapat dihitung menggunakan percepatan gelombang bernilai maksimum, yaitu pada saat amplitude gelombang mencapai posisi puncak yang dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$a = \omega^2 \times y$$

$$y = \frac{a}{\omega^2}$$

Nilai  $a$  adalah nilai akselerasi,  $\omega$  adalah nilai kecepatan sudut, dan  $y$  adalah nilai amplitude atau puncak gelombang. Untuk mendapatkan nilai  $y$  dari formula 3.3 dapat diturunkan, sehingga menjadi formula 3.4 yang dapat untuk menentukan ketinggian gelombang [6].

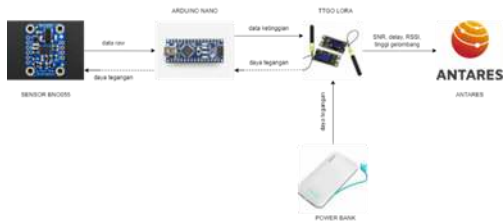
**B. Gambaran Umum Sistem**



GAMBAR 3  
Diagram Blok Sistem

Gambaran dari sistem yang telah dibentuk secara keseluruhan menggunakan beberapa komponen yang terintegrasi sehingga dapat bekerja sesuai dengan tujuan dari penelitian ini. Sistem yang dibuat memiliki fungsi untuk memonitoring tinggi gelombang dan status sinyal LoRa secara real-time dengan interval pengiriman setiap 1 menit.

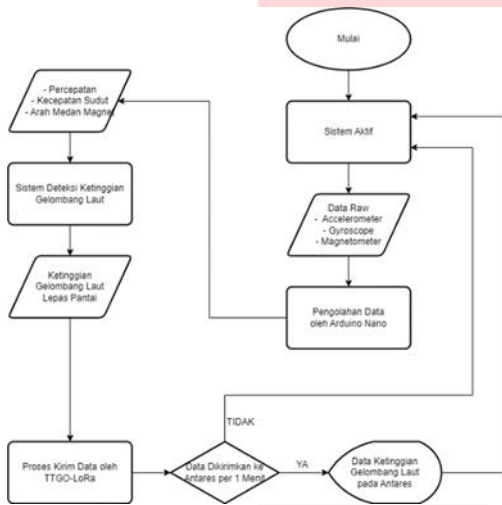
**C. Desain Perangkat Keras**



GAMBAR 4  
Desain Perangkat Keras

Desain yang dibuat dengan menghubungkan antara Arduino Nano dengan sensor BNO055 dan TTGO LoRa. Sedangkan *power bank* digunakan sebagai sumber daya listrik untuk menjalankan sistem. Selanjutnya *platform* Antares difungsikan untuk dapat menerima data dari hasil pengolahan data sehingga dapat *me-monitoring* ketinggian dan status sinyal LoRa.

D. Desain Perangkat Lunak



GAMBAR 5  
Desain Perangkat Lunak

*Input* untuk sistem ini yaitu kondisi gelombang laut yang berupa data *raw accelerometer*, *gyroscope* dan *magnetometer* kemudian pengolahan data dilakukan oleh Arduino Nano dimana proses perhitungan dilakukan sehingga mendapatkan data percepatan, kecepatan sudut dan arah medan magnet. Dari data yang didapatkan sebelumnya dapat ditentukan ketinggian gelombang laut lepas pantai. Setelah data ketinggian gelombang laut didapatkan sistem akan melakukan proses kirim data ke Antares. Untuk *output* dari sistem ini berupa data ketinggian gelombang laut dan status sinyal LoRa yang dikirimkan ke sistem *monitoring* Antares melalui TTGO LoRa dengan waktu pengiriman setiap 1 menit.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sensor IMU

Sebelum dilakukan pengujian tinggi gelombang pada perangkat, dilakukan lebih dulu pengujian pada sensor *Inertial Measurement Unit* (IMU). Pengujian bertujuan untuk mengetahui performa dan *error* terhadap sensor IMU yang dipakai sebelum dilakukan pengujian di lingkungan perairan.

Pengujian dilakukan terhadap tiga sensor yang terdapat pada sensor IMU berupa sensor *accelerometer*, *gyroscope* dan *magnetometer*.

TABEL 1  
Uji *Accelerometer*

Sumbu	Nilai asli (m/s <sup>2</sup> )	Rata-Rata Nilai Pengujian (m/s <sup>2</sup> )	Rata-Rata Error (%)
X	9,81	9,75	0,66
Y	9,81	9,81	0,24
Z	9,81	9,75	0,61
Rata-rata error			0,50

Dari hasil pengujian didapatkan tiga data pengujian pada sumbu x, sumbu y dan sumbu z, didapatkan juga *error* yang terjadi di ketiga titik, dimana *error* tertinggi didapatkan pada sumbu x yaitu 0,66% dan rata-rata *error* keseluruhan dari ketiga sumbu yaitu 0,50%.

TABEL 2  
Uji *Gyroscope*

Sumbu	Nilai asli (m/s <sup>2</sup> )	Rata-Rata Nilai Pengujian (m/s <sup>2</sup> )	Rata-Rata Error (%)
X	9,81	9,82	0,45
Y	9,81	9,81	0,06
Z	9,81	9,82	0,62
Rata-rata error			0,38

Dari hasil pengujian sensor *gyroscope* didapatkan rata-rata nilai pengujian di setiap titik sumbu x, sumbu y dan sumbu z. Didapatkan juga *error* tertinggi pada sumbu z yaitu 0,62%. Pada pengujian ini memiliki rata-rata *error* yaitu 0,38%.

TABEL 3  
Uji *Magnetometer*

Nilai Asli (Deg)	Rata-Rata Nilai Pengujian (deg)	Rata-Rata Error (%)	Arah Mata Angin
0	0,27	-	Utara
45	44,93	0,44	Timur Laut
90	90,33	0,44	Timur
135	135,57	0,42	Tenggara
180	179,80	0,22	Selatan
225	225,03	0,07	Barat Daya
270	270,57	0,21	Barat
315	315,37	0,12	Barat Laut
360	360,53	0,24	Utara
Rata-rata error		0,27	

Dari hasil pengujian arah medan magnet dapat disimpulkan rata-rata *error* keseleruhan yaitu 0,27%. Dimana *error* tertinggi didapatkan pada titik 45 derajat dan 90 derajat dengan nilai 0,44%.

B. Pengujian Waktu Kirim LoRa

Pengujian waktu kirim data dilakukan untuk mengetahui performa sistem dalam mengirimkan data ke Antares. Pengujian dilakukan dengan menggunakan waktu interval kirim dari 20 detik, 40 detik, dan 60 detik. Setiap interval

dilakukan pengujian sebanyak 50 kali pengambilan data yang dikirimkan ke Antares.

TABEL 4  
Uji Waktu Kirim LoRa

	Rata-Rata Delay (ms)	Rata-Rata RSSI (dbm)	Rata-Rata SNR (dB)	Data Loss
Interval 20 Detik	473,3	-108,88	12,5	6%
Interval 40 Detik	359,1	-106,3	12,5	8%
Interval 60 Detik	389,6	-111,8	11,2	4%

Dengan hasil pengujian yang dilakukan maka disimpulkan pengiriman paket/data cukup baik, walau masih terdapat paket/data loss yang disebabkan jangkauan sinyal LoRa tidak maksimal yang dapat menyebabkan terganggunya proses dalam *gateway*.

### C. Pengujian Tinggi Gelombang

Pengujian dilakukan di atas permukaan air dan dilakukan pembuatan gelombang secara manual setelah itu membandingkan nilai pengujian yang didapatkan dengan nilai dari alat ukur sederhana.

TABEL 5  
Uji Tinggi Gelombang

No	Nilai Sebenarnya (cm)	Rata-Rata Pengujian (cm)	Rata-Rata Error (%)
1	10	11,1	13,6
2	20	19,4	7,3
3	30	30,5	6,3
4	40	41,2	5,5
5	50	53,9	8,5
6	60	60,6	5,8
7	70	72,2	5,2
Rata-Rata Error Keseluruhan			7,5

[4] R. A. Prabowo, "Rancang Bangun Lorawan Gateway Untuk Komunikasi Perangkat Dalam Gedung Design and Build Lorawan Gateway for Device Communication in Building,". (2021).



GAMBAR 6  
Grafik Pengujian Tinggi

Dari pengujian tinggi gelombang oleh perangkat didapatkan kesimpulan bahwa nilai gelombang tidak akurat 100% dikarenakan pengujian dilakukan secara manual sehingga terjadi *human error* pada gerakan pengujian perangkat yang dilakukan sehingga didapatkan *rata-rata error* dari seluruh poin pengujian sebesar 7,5% tetapi hasil *error* sebesar ini pengujian tinggi gelombang yang dilakukan oleh perangkat cukup layak untuk digunakan.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian, pengukuran dan pengujian yang dilakukan pada sistem pemantauan tinggi gelombang lepas pantai, didapatkan kesimpulan pada pengujian waktu kirim data, perangkat membutuhkan waktu kirim (delay) dari perangkat ke platform Antares adalah pada rentang 350 ms – 480 ms. Pengujian tinggi gelombang yang dilakukan oleh perangkat memperoleh nilai error sebesar 7,2% dan nilai akurasi sebesar 92,8%. Secara garis besar keluaran dari perangkat yaitu mengirimkan data ketinggian gelombang lepas pantai dan data status sinyal LoRa.

## REFERENSI

- [1] Anggara, P. D., Adrianto, D., Pranowo, W. S., & Alam, T. M. "Analisis Karakteristik Gelombang Laut Guna Mendukung Data Informasi Operasi Keamanan Laut Di Wilayah Laut Natuna Dan Laut Natuna Utara". (2017).
- [2] Pandiangan, J., Adrianto, D., Andreas, L. D., Lufti Ibrahim, A., Pengajar Prodi, D. S., dari Dinas Hidro-Oceanografi, P., & Pengajar Prodi D-III Hidro-Oceanografi, D. "Pengukuran Muka Air Laut Dengan Sistem Telemetri Menggunakan Alat Luwes (Live Uninterrupted Water Sensor) Studi Kasus Teluk Jakarta". (2016).
- [3] A. H. Kurniawan & M. Rivai. "Sistem Stabilisasi Nampan Menggunakan IMU Sensor Dan Arduino Nano". (2018).
- [5] Rahman, R. A., Ary Murti, M., Budiman, F. "Sistem Monitoring Tinggi Permukaan Air Laut Untuk Mendeteksi Potensi Tsunami

- Menggunakan Smart Sensor BNO055 Sea Level Monitoring System for Tsunami Potential Detection Using Smart Sensor BNO055”. (2021).
- [6] S. Darmawan, B. Irawan, C. Setianingsih & M. A. Murty. “Design of Detection Device for Sea Water Waves with Fuzzy Algorithm Based On Internet of Things,”. (2020).

