



JASEE

Journal of Application and Science on Electrical Engineering

<https://jurnal.widyagama.ac.id/index.php/jasee/index>



Rancang Bangun Instrumen Pengukur Tinggi Gelombang Permukaan Laut Menggunakan Sensor IMU GY955

Reynanda Bagus Widy Astomo¹, Indah Kurniawati², Aida Mahmudah³, Sya'ronni⁴

^{1, 2, 3, 4} Universitas Muhammadiyah Surabaya, Indonesia

Corresponding author, email: reynanda.bagus@um-surabaya.ac.id

Abstract

Ocean waves are an up and down movement of sea water that occurs due to several factors such as wind, sun and moon gravity, volcanic eruptions or earthquakes at sea, moving ships, and so on. Information about the structure of sea water waves off the coast is very useful for human activities related to the sea such as fishing, shipping, and other activities. Based on this, it is necessary to have a tool that can monitor the height of the tides and low tides. The purpose of making this device is to determine the characteristics of sea water waves directly (real time) in order to determine the right time to sail off it was found that there is a difference in the maximum wave height reading of ± 8 cm and an average difference of ± 5 cm. While the difference in readings of wave crests has a maximum difference of ± 7 cm and an average difference of ± 4 cm.

Keywords: IMU GY955, sea water waves, kalman filter.



p-ISSN : 2721-3625

e-ISSN : 2721-320X

1. PENDAHULUAN

Gelombang air laut merupakan fenomena alam yang sering terjadi di pesisir maupun lepas pantai. Peristiwa gelombang pasang dan surut pada air laut dapat diartikan sebagai fenomena naik dan turunnya permukaan air laut secara vertikal menyerupai kurva sinusoidal [1]. Daerah pantai merupakan tepi perairan yang dipengaruhi oleh air pasang tertinggi dan surut terendah. Garis pantai dapat didefinisikan sebagai garis batas pertemuan antara daratan dan lautan, dimana posisinya tidak tepat dan dapat berubah atau berpindah. Beberapa pantai bahkan memiliki potensi yang sangat besar sebagai daerah yang dimanfaatkan untuk kegiatan masyarakat [2]. Peningkatan pemanfaatan daerah pantai diiringi oleh meningkatnya masalah yang umum ada di daerah tepi pantai, seperti mundurnya garis pantai akibat erosi yang disebabkan oleh gelombang serta dampaknya bagi pemukiman yang ada di pesisir pantai. Gelombang laut merupakan salah satu parameter laut yang dominan terhadap laju mundurnya garis pantai. Gelombang laut terjadi karena hembusan angin di permukaan laut, perbedaan suhu di dalam air, perbedaan kadar garam, dan dapat disebabkan juga oleh letusan gunung berapi yang berada dibawah atau permukaan laut [3]. Proses mundurnya garis pantai dari kedudukan semula salah satunya disebabkan oleh besarnya intensitas gelombang dan arus laut, serta tidak adanya keseimbangan sedimen yang dapat bertambah maupun berkurang.

<https://doi.org/10.31328/jasee>

Received: 02-03-2023

Revised: 03-03-2023

Accepted: 28-03-2023 , published by ©UWG Press tahun

Beberapa daerah pantai umumnya memiliki gelombang yang cukup tinggi. Bahkan pada bulan-bulan tertentu, tinggi gelombang cukup besar dan dapat mengganggu aktifitas pengguna perairan. Hal ini berdampak pada terganggunya kegiatan masyarakat di pesisir maupun kegiatan nelayan [4].

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka dibutuhkan alat pendeteksi ketinggian gelombang air laut berbasis IoT (*Internet of Things*) serta menggunakan sumber energi secara independen. Komunikasi IoT akan berfungsi sebagai media pengiriman data, sehingga sistem tidak akan memerlukan kabel untuk proses transfer data (wireless). Penggunaan IoT dinilai lebih efektif, karena sistem monitoring gelombang air laut akan lebih sering diletakkan di area lepas pantai. Selain itu, pada perangkat juga terpasang sistem penghasil energi independen menggunakan sel surya (*photovoltaic / PV*). Penggunaan PV bertujuan sebagai penyedia energi listrik secara independen bagi komponen-komponen elektrik dan sensor yang ada di dalam perangkat. Sehingga ketika terdapat cahaya matahari, maka perangkat dapat dioperasikan menggunakan tegangan DC yang bersumber dari PV. Energi tersebut juga akan disimpan dalam baterai, sehingga saat cahaya matahari minim atau ketika malam hari, maka sumber energi perangkat elektrik akan disuplai oleh baterai.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Pengukuran Perubahan Kecepatan Gelombang

Pada sensor IMU (Inertial Measurement Unit), terdapat dua perangkat yang memiliki fungsi untuk mengukur kecepatan perubahan posisi yang diukur oleh accelerometer dan mengukur perubahan sudut diukur oleh gyroscope. Setelah menghilangkan efek dari percepatan gravitasi dan bias dari pembacaan sensor, komponen akselerasi di bagian *Z-axis* pada geografik koordinat akan diperoleh [5]. Perubahan koordinat dari sistem geografik $O - X_0Y_0Z_0$ ke sistem sensor $O - X_3Y_3Z_3$ bisa dinyatakan sebagai sudut Euler (φ, θ, γ) [6].

- Sudut φ merupakan perputaran dengan sumbu Z_0 dari sistem geografik sebagai sumbu tengah, dan $O - X_0Y_0Z_0$ diubah ke $O - X_1Y_1Z_1$.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} = R_z \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

- Sudut θ adalah perputaran dengan sumbu Y_1 dari sistem koordinat baru sebagai sumbu tengah dan $O - X_1Y_1Z_1$ dikonversikan ke $O - X_2Y_2Z_2$.

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = R_y \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

- Sudut γ adalah perputaran dengan sumbu X_2 dari sistem koordinat baru sebagai sumbu tengah dan $O - X_2Y_2Z_2$ dikonversikan ke $O - X_3Y_3Z_3$.

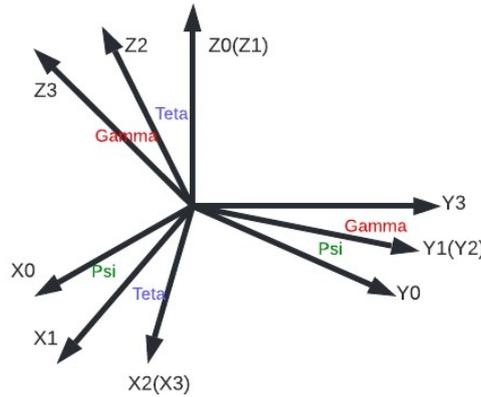
$$\begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma & \sin \gamma \\ 0 & -\sin \gamma & \cos \gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} = R_x \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Jika persamaan (1) (2) dan (3) dikombinasikan, maka didapatkan.

$$\begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{bmatrix} = R_x R_y R_z \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \varphi & A & B \\ \cos \theta \sin \varphi & C & D \\ -\sin \theta & \sin \gamma \cos \theta & \cos \gamma \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Dimana:



Gambar 1. Diagram konversi koordinat geografik ke sensor

$$A = \sin \gamma \sin \theta \cos \varphi - \cos \gamma \sin \varphi \tag{6}$$

$$B = \cos \gamma \sin \theta \cos \varphi - \sin \gamma \sin \varphi \tag{7}$$

$$C = \sin \gamma \sin \theta \sin \varphi - \cos \gamma \cos \varphi \tag{8}$$

$$D = \cos \gamma \sin \theta \sin \varphi - \sin \gamma \cos \varphi \tag{9}$$

Nilai output dari tiga sumbu akselerometer $[a_z \ a_y \ a_x]T$ dan nilai sudut φ, θ, γ dari tiga sumbu gyroscope dengan menggunakan persamaan (5) untuk memperoleh komponen percepatan (\ddot{A}_z) pada sumbu Z (koordinat geografik).

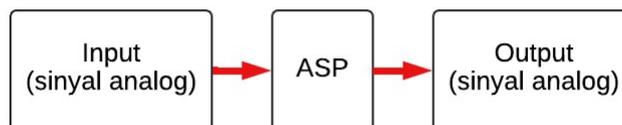
$$\ddot{A}_z = -\sin \theta a_{ax} + \sin \gamma \cos \theta a_{ay} + \cos \gamma \cos \theta a_{az} - g \tag{10}$$

2.2 Data Sampling dan Alisasing

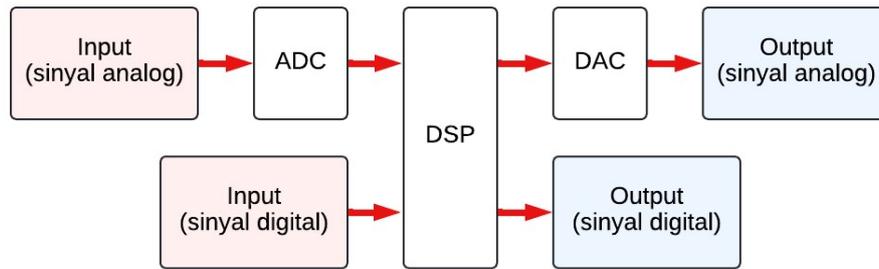
Dalam proses pengolahan sinyal analog, sinyal akan diinputkan ke *Analog Signal Processing* (ASP). Sinyal tersebut akan mengalami proses pengolahan seperti pemfilteran, penguatan, maupun kombinasi. Komponen utama sistem pengolahan sinyal digital yaitu berupa sebuah prosesor yang bekerja jika nilai inputnya berupa sinyal digital. Untuk sinyal input analog, maka diperlukan proses digitalisasi melalui perangkat *Analog to Digital Conversion* (ADC) [7]. Pada proses ini, sinyal analog harus melalui proses *sampling* (pengambilan cuplikan data), *quantizing* (proses pengubahan sinyal sample dari sifat *continuous* menjadi nilai yang bersifat diskrit), dan *coding* (pemograman). Hal ini berlaku untuk perangkat *Digital to Analog Converter* (DAC). Setelah sinyal analog disampling, maka akan didapatkan bentuk sinyal waktu diskrit. Untuk mendapatkan sinyal waktu dikrit yang mewakili sifat sinyal aslinya, proses sampling harus memenuhi syarat Nyquist [8].

$$f_s > 2 \cdot f_i \tag{11}$$

Dimana f_s merupakan frekuensi sinyal sampling dan f_i merupakan frekuensi sinyal informasi sampling. Fenomena aliasing (kesalahan) pada proses sampling akan terjadi apabila proses frekuensi sinyal sampling tidak memenuhi kriteria diatas. Teori Sampling Nyquist merupakan teknik sampling untuk mendapatkan sinyal sampling yang bebas aliasing (kesalahan) [9]. Fekuensi sinyal sample paling sedikit harus memiliki 2 kali frekuensi sinyal yang akan di sampling.



Gambar 2. Sistem pengolahan sinyal analog

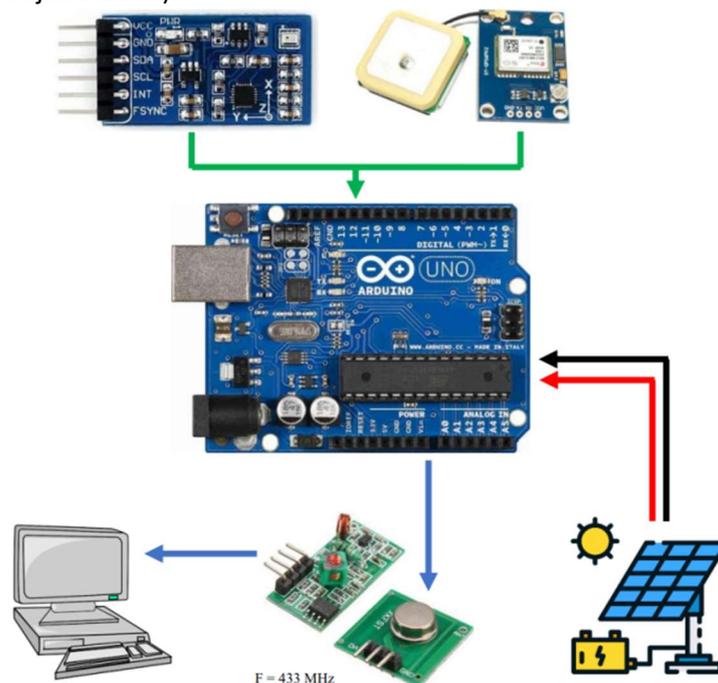


Gambar 3. Sistem pengolahan sinyal digital

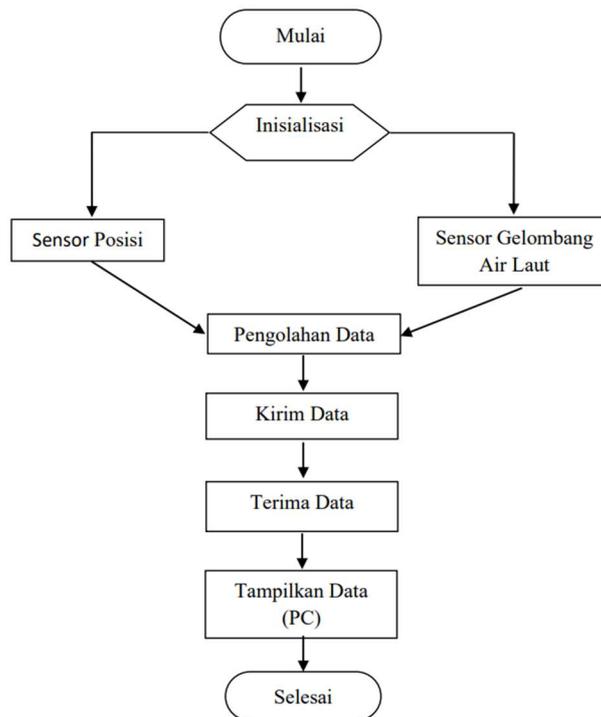
3. METODE

Diagram blok dari sistem monitoring gelombang air laut dapat dilihat dalam ilustrasi gambar 4, sedangkan diagram alir sistem ditunjukkan pada gambar 5.

- Power supply berfungsi sebagai perangkat yang memberikan sumber tenaga listrik ke semua komponen elektronik.
- Modul komunikasi wireless untuk mengirim dan menerima data dari alat ke PC.
- Sensor, terdiri dari sensor gelombang yang berfungsi untuk membaca nilai gelombang air laut, sensor posisi (GPS) yang berfungsi untuk memberi tahu posisi alat dilapangan.
- Mikrokontroler arduino untuk pengelola data dari keseluruhan sistem peralatan.
- PC sebagai media untuk menampilkan data yang telah dimonitoring pada alat di lapangan. Data yang ditampilkan berupa. Data sensor IMU (ketinggian gelombang) dan data sensor GPS (untuk mengetahui posisi objek berada).
- Sensor, terdiri dari sensor gelombang yang berfungsi untuk membaca nilai gelombang air laut, sensor posisi (GPS) yang berfungsi untuk memberi tahu posisi alat dilapangan.
- Mikrokontroler arduino untuk pengelola data dari keseluruhan sistem peralatan.
- PC sebagai media untuk menampilkan data yang telah dimonitoring pada alat di lapangan. Data yang ditampilkan berupa. Data sensor IMU (ketinggian gelombang) dan data sensor GPS (untuk mengetahui posisi objek berada).



Gambar 4. Perancangan hardware sistem monitoring gelombang air laut

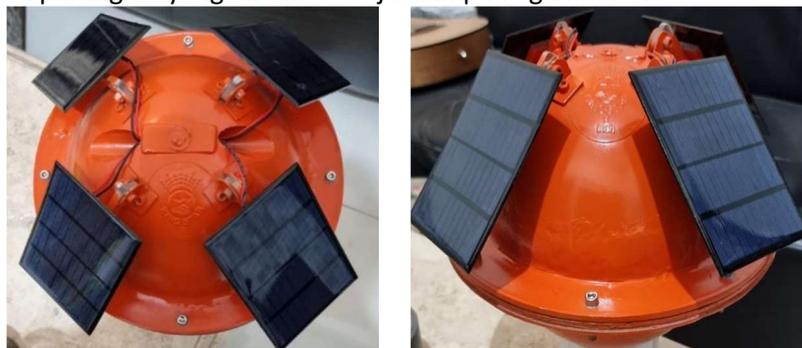


Gambar 5. Flowchart perancangan sistem monitoring gelombang air laut

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk merancang sistem monitoring ketinggian gelombang laut berbasis sensor GY955, tahap pertama yaitu harus mengetahui karakteristik sensor IMU GY955. Kekurangan utama sensor IMU yaitu berada pada karakteristik data yang diterima memiliki ripple atau riak ketika diterapkan untuk pengukuran ketinggian gelombang laut, sehingga informasi ketinggian puncak atau ketinggian rata – rata gelombang laut menjadi bias. Kelemahan tersebut dapat diminimalkan melalui filter sinyal, salah satunya adalah *Extended Kalman Filter* (EKF). Langkah selanjutnya yaitu menerapkan struktur *Extended Kalman Filter* (EKF) pada mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan pada penelitian ini adalah Arduino Uno, struktur EKF lalu diaplikasikan bersama dengan beberapa perangkat elektronik lain. Komponen sistem elektrik pada penelitian ini terdiri atas 4 komponen utama, diantaranya: Sensor IMU GY955, Sensor GPS, Mikrokontroler Arduino Uno, Modul Komunikasi Serial RF433 MHz, Baterai, dan Panel Surya.

Keseluruhan pembangkitan sistem elektronik mendapatkan daya dari baterai Litium Polimer (LiPo) yang berkapasitas 5000 mAh. Komponen elektronik tersebut kemudian diletakkan kedalam wadah (*buoy*) berbentuk bola pejal dengan pemberat di bagian bawah bola. Ilustrasi bentuk perangkat. Ilustrasi perangkat yang dibuat ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Desain perangkat sistem monitoring ketinggian gelombang air laut

a. Analisis Data Sensor *Inertial Measurement Unit* (IMU) GY955 dan Implementasi Metode *Extended Kalman Filter* (EKF)

Langkah awal untuk mendapatkan hasil *Extended Kalman Filter* (EKF) yang optimal dari data pada tabel pembacaan sensor ketinggian gelombang air laut (tabel 1) yaitu menentukan kondisi awal (*initial condition*) untuk parameter $k = 0$. Pada saat $k = 0$, maka nilai $x_0 = 0$ dan $P_0 = 1$. P_0 bernilai tidak sama dengan 0, karena jika $P_0 = 0$ maka diasumsikan tidak ada noise pada saat proses pengukuran. Asumsi ini dapat mengakibatkan hasil filter kalman bernilai 0 atau dapat disimpulkan tidak dapat meredam noise dengan optimal. Sehingga nilai P_0 harus dipilih dengan konstanta selain bilangan 0.

Gambar 7 menunjukkan grafik respon EKF yang lebih landai. Penggunaan sensor – sensor yang bersifat responsif akan menjadi lebih baik karena sensor yang responsif memiliki peluang riak yang lebih besar dan cenderung lebih intens menimbulkan riak (*ripple*) seperti halnya pada sensor ketinggian gelombang laut GY955 yang digunakan.

Langkah berikutnya yaitu melakukan kalibrasi dengan metode pengambilan data sensor dan mengkonversi parameter data tersebut kedalam satuan sentimeter (cm). Untuk mendapatkan pembacaan ketinggian gelombang laut yang akurat, maka diperlukan proses kalibrasi atau penyesuaian output pada sensor GY955, yaitu akselerasi pada sumbu Z dengan ketinggian yang sudah diketahui nilai rialnya. Sebagai pembanding digunakan smartphone yang memiliki IMU sensor internal. Kemudian mengambil sampling data untuk mencari *gain* atau faktor pengali agar nilai keluaran sensor GY955 yang sebelumnya menggunakan satuan akselerasi m/s^2 kemudian diubah menjadi mm. Data hasil pengambilan sampling untuk sensor GY955 dan sensor IMU internal smartphone dapat dilihat pada gambar 8.

Masing-masing data posisi sumbu Z sensor IMU pada smartphone dibagi dengan data sumbu Z sensor GY955. Hasil pembagian dari kedua data tersebut kemudian dicari nilai rata-rata. Nilai tersebut akan digunakan sebagai faktor pengali.

Tabel 1. Sampel data pembacaan sensor ketinggian gelombang laut

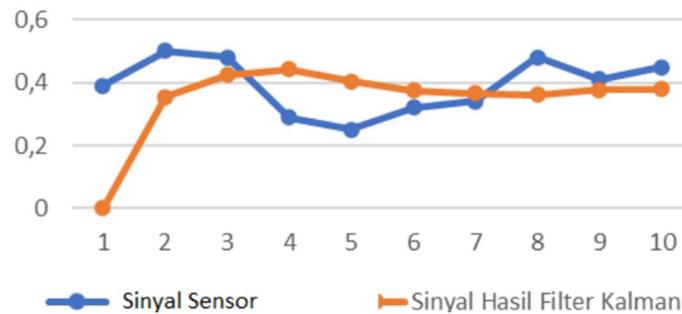
| Waktu (s) | Ketinggian (m) |
|-----------|----------------|
| 1 | 0,39 |
| 2 | 0,50 |
| 3 | 0,48 |
| 4 | 0,29 |
| 5 | 0,25 |
| 6 | 0,32 |
| 7 | 0,34 |
| 8 | 0,48 |
| 9 | 0,41 |
| 10 | 0,45 |

Tabel 2. Persamaan kalman Filter (update)

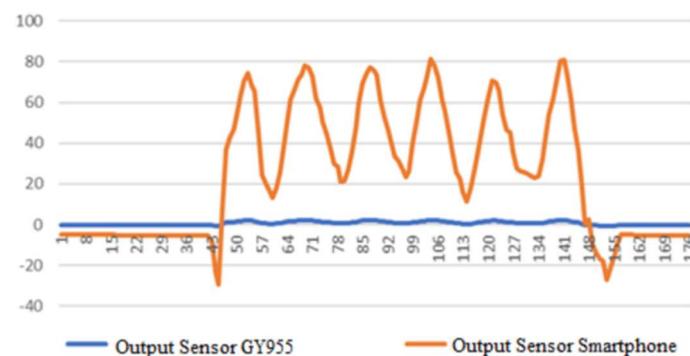
| Time Update (Prediksi) | Measurement Update (Koreksi) |
|------------------------|----------------------------------|
| $x_k^- = x_{k-1}$ | $K_k = \frac{P_k^-}{P_k^- + R}$ |
| $P_k^- = P_{k-1}$ | $x_k = x_k^- + K_k(z_k - x_k^-)$ |
| | $P_k = (1 - K_k)P_k^-$ |

Tabel 3. Perhitungan Kalman Filter

| K | z_k | x_{k-1} | P_{k-} | Time Update | Measu. Update | x_k | P_k |
|----|-------|-----------|----------|---------------|-----------------------|-------|-------|
| 1 | 0,39 | 0 | 1 | 0 / 1 | 0,909 / 0,355 / 0,091 | 0,355 | 0,091 |
| 2 | 0,50 | 0,355 | 0,091 | 0,355 / 0,091 | 0,476 / 0,424 / 0,048 | 0,424 | 0,048 |
| 3 | 0,48 | 0,424 | 0,048 | 0,424 / 0,048 | 0,287 / 0,442 / 0,032 | 0,442 | 0,032 |
| 4 | 0,29 | 0,442 | 0,032 | 0,442 / 0,032 | 0,246 / 0,405 / 0,024 | 0,405 | 0,024 |
| 5 | 0,25 | 0,405 | 0,024 | 0,405 / 0,024 | 0,319 / 0,375 / 0,020 | 0,375 | 0,020 |
| 6 | 0,32 | 0,375 | 0,020 | 0,375 / 0,020 | 0,335 / 0,365 / 0,016 | 0,365 | 0,016 |
| 7 | 0,34 | 0,365 | 0,016 | 0,365 / 0,016 | 0,477 / 0,362 / 0,014 | 0,362 | 0,014 |
| 8 | 0,48 | 0,362 | 0,014 | 0,362 / 0,014 | 0,406 / 0,377 / 0,012 | 0,377 | 0,012 |
| 9 | 0,41 | 0,377 | 0,012 | 0,377 / 0,012 | 0,449 / 0,380 / 0,011 | 0,380 | 0,011 |
| 10 | 0,45 | 0,380 | 0,011 | 0,380 / 0,011 | | 0,387 | 0,010 |



Gambar 7. Kurva respon EKF terhadap sampel sinyal pembacaan sensor dengan R bias sebesar 0,1

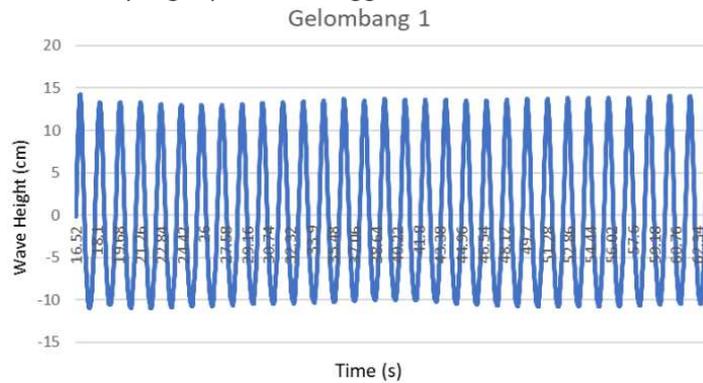


Gambar 8. Kurva pengambilan sampling data untuk proses kalibrasi

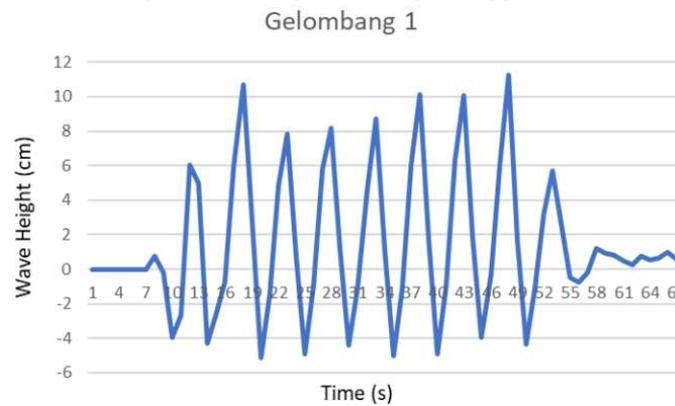
b. Analisis Data Perangkat

Hasil pembacaan sensor GY955 yang sudah dikonversi dalam satuan sentimeter (cm) dikirim melalui komunikasi serial I2C pada perangkat Arduino Uno, pada dasarnya sensor ini memiliki kemampuan untuk melakukan pembacaan akselerasi 3 sumbu yaitu sumbu X, Y, dan Z. Sedangkan

akselerasi yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah akselerasi sumbu Z yaitu pergerakan naik dan turun pada sensor. Data inilah yang diproses menggunakan *Extended Kalman Filter* (EKF).



Gambar 9. Grafik pembacaan gelombang menggunakan *Wave Gauges*



Gambar 10. Grafik pembacaan gelombang menggunakan perangkat monitoring ketinggian gelombang air laut

Data sumbu Z yang telah melalui proses kalman filter atau EKF selanjutnya akan ditransmisikan menggunakan modul RF 433MHz. Tahap berikutnya data akan ditampilkan pada Graphical User Interface (GUI) Visual Studio di monitor PC. Data pembacaan gelombang antara alat dan sensor *wave gauges* di laboratorium Hidrodinamika ditunjukkan pada gambar 9 dan 10.

Berdasarkan data hasil pembacaan antara *wave gauges* dengan perangkat monitoring ketinggian gelombang air laut, terlihat bahwa terdapat selisih pembacaan data yang cukup signifikan. Perbedaan pembacaan pada puncak gelombang diketahui memiliki perbedaan maksimal ± 8 cm dan perbedaan rata-rata sebesar ± 5 cm. Di sisi lain, perbedaan pembacaan puncak dan lembah gelombang memiliki interval nilai maksimal ± 7 cm dan interval rata-rata sebesar ± 4 cm. Perbedaan hasil pembacaan data disebabkan oleh beberapa hal, antara lain.

- Distribusi Berat Perangkat Monitoring Tidak Merata

Posisi tidak setimbang dikarenakan berat objek yang tidak merata merupakan salah satu penyebab perbedaan hasil pembacaan data gelombang antara *wave gauge* dengan perangkat sensor IMU GY955. Hal ini menyebabkan terjadinya deviasi pada nilai pembacaan. Posisi yang miring menyebabkan posisi sensor didalam alat sudah tidak sejajar lagi dengan permukaan air, sehingga sensor sudah mendeteksi interval pembacaan data posisi dari posisi awalnya.

Berdasarkan tabel 4 yang nilainya didapatkan melalui konversi nilai yang terbaca oleh sensor IMU pada sumbu Z dan hasilnya telah dikonversi ulang menjadi nilai sudut (derajat), dapat diketahui bahwa dari hasil pembacaan sudut terdapat kemiringan sebesar $\pm 8,4^\circ$ yang didapatkan dengan nilai rata-rata saat alat sudah dikenai gelombang. Nilai-nilai yang diberi warna merah merupakan acuan posisi alat saat selesai dikenai gelombang.

Sedangkan nilai-nilai yang diberi warna biru pada tabel 4 merupakan nilai awal saat alat dianggap dalam posisi setimbang, kemudian nilai yang diberi warna hitam merupakan nilai saat alat

Tabel 4. Perbandingan Posisi Perangkat saat Berada di Permukaan Air dengan Posisi Ideal

| No | Posisi Ideal (°) | Posisi Sensor (°) | No | Posisi Ideal (°) | Posisi Sensor (°) |
|----|------------------|-------------------|----|------------------|-------------------|
| 1 | 0,00 | 4,00 | 35 | 20,40 | 28,80 |
| 2 | 0,00 | 4,00 | 36 | 56,40 | 64,80 |
| 3 | 0,00 | 4,00 | 37 | 2,40 | 10,80 |
| 4 | 0,00 | 4,00 | 38 | 24,00 | 32,40 |
| 5 | 0,00 | 4,00 | 39 | 78,00 | 86,40 |
| 6 | 0,00 | 4,00 | 40 | 27,60 | 36,00 |
| 7 | 0,00 | 4,00 | 41 | 78,00 | 86,40 |
| 8 | 6,55 | 14,95 | 42 | 63,60 | 72,00 |
| 9 | 9,36 | 17,76 | 43 | 42,00 | 50,40 |
| 10 | 34,8 | 43,20 | 44 | 70,80 | 79,20 |
| 11 | 78,00 | 86,40 | 45 | 34,80 | 43,20 |
| 12 | 2,40 | 10,80 | 46 | 20,40 | 28,80 |
| 13 | 24,00 | 32,40 | 47 | 6,00 | 14,40 |
| 14 | -1,20 | 7,20 | 48 | 13,20 | 21,60 |
| 15 | -4,80 | 3,60 | 49 | -1,20 | 7,20 |
| 16 | 6,00 | 14,40 | 50 | -4,80 | 3,60 |
| 17 | 16,80 | 25,20 | 51 | 60,00 | 68,40 |
| 18 | 70,80 | 79,20 | 52 | 24,00 | 32,40 |
| 19 | 63,60 | 72,00 | 53 | 38,40 | 46,80 |
| 20 | 9,60 | 18,00 | 54 | -4,80 | 3,60 |
| 21 | 20,40 | 28,80 | 55 | 42,00 | 50,40 |
| 22 | 34,80 | 43,20 | 56 | 67,20 | 75,60 |
| 23 | 2,40 | 10,80 | 57 | 9,60 | 18,00 |
| 24 | -1,20 | 7,20 | 58 | 49,20 | 57,60 |
| 25 | 31,20 | 39,60 | 59 | 78,00 | 86,40 |
| 26 | 74,40 | 82,80 | 60 | 85,20 | 93,60 |
| 27 | 34,80 | 43,20 | 61 | 34,80 | 43,20 |
| 28 | 56,40 | 64,80 | 62 | 16,81 | 25,21 |
| 29 | 49,20 | 57,60 | 63 | 70,66 | 79,06 |
| 30 | 78,00 | 86,40 | 64 | 48,90 | 57,30 |
| 31 | 52,80 | 61,20 | 65 | 59,78 | 68,18 |
| 32 | 67,20 | 75,60 | 66 | 71,34 | 79,74 |
| 33 | -1,20 | 7,20 | 67 | 52,33 | 60,73 |
| 34 | 60,00 | 68,40 | | | |

sedang dikenai gelombang. Di sisi lain, nilai yang diberi warna merah merupakan nilai saat alat dianggap sudah melewati gelombang dan seharusnya kembali ke posisi awal (0°).

- *Sample Rate* dan Efek Aliasing pada Data

Pada hasil pengambilan data, didapatkan bahwa dapat dilihat bahwa terdapat selisih nilai perbedaan yang cukup tinggi. Hal itu dapat dilihat dari hasil grafik pengukuran gelombang menggunakan alat dan menggunakan *wave gauges*. Hal ini disebabkan oleh kemampuan komponen yang mempengaruhi nilai sampling rate yang dimiliki oleh alat yang hanya mampu mendeteksi nilai dalam satuan terkecil yaitu 1 detik, sedangkan alat *wave gauges* mampu mengukur dan mencatatkan hasil pembacaan nilai dalam waktu 0,02 detik. Sehingga, ketika *wave gauges* dapat mencatatkan

pengukuran satu siklus lengkap gelombang dalam 1,5 detik. Sedangkan perangkat yang di desain hanya mampu mencatat satu siklus lengkap gelombang dalam waktu 5 detik.

Berdasarkan hasil nilai di atas, diketahui bahwa frekuensi pada wave gauges sebesar 0,66 Hz dan frekuensi pada perangkat sebesar 0,2 Hz. Perbedaan tersebut menyebabkan terjadinya fenomena aliasing atau terjadinya efek yang menyebabkan sinyal yang terdeteksi tidak sama dengan sinyal aslinya, karena sinyal yang terdapat efek aliasing akan menyebabkan sinyal aslinya yang direkonstruksi akan memiliki efek distorsi (gangguan). Nilai frekuensi alat yang akan menyampling nilai frekuensi wave probe harus memenuhi syarat Nyquist yaitu frekuensi alat harus 2 kali lebih besar dari nilai frekuensi wave gauges. Sehingga dibutuhkan komponen yang memiliki kemampuan aktual membaca frekuensi minimal sebesar 1,4 Hz atau mampu menyampel satu gelombang dalam waktu 0,75 detik.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis penelitian, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

Pada hasil pengujian alat didapatkan hasil nilai yang memiliki penyimpangan yang cukup besar. Hal itu disebabkan oleh permasalahan teknis dibagian mekanikal yang harus diperhitungkan apabila akan membangun sebuah alat yang akan dioperasikan didalam air. Dan juga disebabkan oleh keterbatasan kemampuan komponen pada alat yang digunakan.

Berdasarkan data hasil pembacaan antara wave gauges dengan perangkat monitoring ketinggian gelombang air laut, nampak bahwa terdapat selisih pembacaan data. Perbedaan pembacaan pada puncak gelombang diketahui memiliki perbedaan maksimal ± 8 cm dan perbedaan rata-rata ± 5 cm. Sedangkan perbedaan pembacaan puncak-lembah gelombang memiliki perbedaan nilai maksimal ± 7 cm dan perbedaan rata-rata ± 4 cm. Perbedaan hasil pembacaan data disebabkan oleh beberapa hal seperti distribusi berat perangkat yang tidak merata dan sample rate dan efek aliasing pada data.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada laboran labolatorium Hidrodinamika Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang telah memberikan kesempatan bagi peneliti untuk melakukan pengujian alat monitoring ketinggian gelombang air laut.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] O. Sri Suharyo, "RANCANG BANGUN ALAT PENGUKUR GELOMBANG PERMUKAAN LAUT PRESISI TINGGI (A PROTOTYPE DESIGN)," *Appl. Technol. Comput. Sci. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 18–29, Oct. 2018, doi: 10.33086/atcsj.v1i1.6.
- [2] R. Fadly and C. Dewi, "Pengembangan Sensor Ultrasoic Guna Pengukuran Pasang Surut Laut Secara Otomatis dan Real Time," vol. 23, no. 1, p. 16, 2019.
- [3] Azhari, M. I. Jumarang, and A. Muid, "Pembuatan Prototipe Alat Ukur Ketinggian Air Laut Menggunakan Sensor Inframerah Berbasis Mikrokontroler Atmega328," *POSITRON*, vol. 4, no. 2, Nov. 2014, doi: 10.26418/positron.v4i2.8729.
- [4] Z. Lin, T. A. A. Adcock, and M. L. McAllister, "Estimating ocean wave directional spreading using wave following buoys: a comparison of experimental buoy and gauge data," *J. Ocean Eng. Mar. Energy*, vol. 8, no. 1, pp. 83–97, Feb. 2022, doi: 10.1007/s40722-021-00218-7.

- [5] J. Shepherd, D. James, H. Espinosa, D. Thiel, and D. Rowlands, "A Literature Review Informing an Operational Guideline for Inertial Sensor Propulsion Measurement in Wheelchair Court Sports," *Sports*, vol. 6, no. 2, p. 34, Apr. 2018, doi: 10.3390/sports6020034.
- [6] A. R. Anwary, H. Yu, and M. Vassallo, "Optimal Foot Location for Placing Wearable IMU Sensors and Automatic Feature Extraction for Gait Analysis," *IEEE Sens. J.*, vol. 18, no. 6, pp. 2555–2567, 2018, doi: 10.1109/JSEN.2017.2786587.
- [7] M. Pauzan and V. Zubaidi, "Penggunaan Pin ADC (Analog to Digital Converter) pada Mikrokontroler ATmega8535 untuk Menghasilkan Catu Daya Digital," p. 6.
- [8] S. D. Domizio et al., "A data acquisition and control system for large mass bolometer arrays," *J. Instrum.*, vol. 13, no. 12, pp. P12003–P12003, Dec. 2018, doi: 10.1088/1748-0221/13/12/p12003.
- [9] G. Karanikoloudis, P. B. Lourenço, N. Mendes, J. B. Serra, and R. Boroschek, "Monitoring of Induced Groundborne Vibrations in Cultural Heritage Buildings: Miscellaneous Errors and Aliasing through Integration and Filtering," *Int. J. Archit. Herit.*, vol. 15, no. 1, pp. 205–228, 2021, doi: 10.1080/15583058.2020.1802532.