

WIRELESS MONITORING KETINGGIAN GELOMBANG LAUT BERBASIS SENSOR INERSIAL MEASUREMENT UNIT

Satria Gunawan Zain¹, Wanda Rahmawati²

¹satria.gunawan.zain@unm.ac.id,

²wandarahmawati@gmail.com^{21,2}Universitas Negeri Makassar

Received : 25 Apr 20

Accepted : 05 May 20

Published : 15 May 20

Abstract

Abstract: The development of a device for measuring sea wave height wirelessly using an inertial measurement unit (IMU) sensor is the focus of the discussion in this paper. The prototype of the developed device and the functional testing of the device design are presented in this case. The development of wireless sea wave height measuring devices was carried out by building devices, testing functionalities of each section, testing the range of devices and analyzing the data transmission of the accelerometer sensor and the gyroscope. In this paper is limited to the effectiveness of reading and sending wireless sensor data acceleration and changes in the angle of movement of ocean waves. The test results show the wave height measuring device from the form of raw data in the form of accelerometer and gyroscope can be effectively transmitted up to a range of 4 km.

Keywords: Sea Wave Height, Wireless monitoring, Inertial Measurement Unit.

Abstrak

Pengembangan perangkat pengukur ketinggian gelombang laut secara wireless menggunakan sensor inersial measurement unit (IMU) menjadi fokus pembahasan dalam makalah ini. Prototipe dari perangkat yang dikembangkan serta pengujian fungsional dari rancangan perangkat disajikan dalam makalah ini. Pengembangan perangkat pengukur ketinggian gelombang laut secara wireless dilakukan dengan membangun perangkat, menguji fungsional dari setiap bagian, menguji jarak jangkauan dari perangkat serta menganalisis pengiriman data sensor accelerometer dan gyroscope. Pada makalah ini dibatasi pada efektifitas pembacaan dan pengiriman secara wireless data sensor percepatan dan perubahan sudut dari pergerakan gelombang laut. Hasil pengujian menunjukkan perangkat pengukur ketinggian gelombang dari bentuk data mentah berupa accelerometer dan gyroscope dapat efektif dikirimkan sampai dengan jangkauan 3.8 km.

Kata kunci: Tinggi Gelombang Laut, Wireless monitoring, Inersial Measurement Unit.

*This is an open access article under the
CC BY-SA license*



1. PENDAHULUAN

Perangkat deteksi dini terjadinya tsunami menjadi suatu kebutuhan penting untuk dimiliki oleh sebuah negara dengan potensi bencana gempa dan tsunami yang tinggi seperti Indonesia. Detektor dini terjadinya tsunami yang digunakan oleh BMKG saat ini adalah sensor yang mendeteksi magnitudo dari getaran gempa dan posisi sumber gempa. Gempa dengan magnitudo di atas 7 menjadi indikator akan terjadinya tsunami sehingga parameter ini dijadikan acuan dalam memberikan *early warning system* terjadinya gelombang tsunami. Namun kejadian tsunami tidak selamanya diawali dengan gempa tektonik. Kejadian tsunami di serang tanggal 22 Desember 2018 terjadi akibat longsang dari tumpukan material gunung kratau sehingga menyebabkan kenaikan gelombang hingga 0.9 meter dipermukaan laut dan semakin tinggi saat mencapai darat. Dalam kejadian ini, BMKG luput dari pengamatan terjadinya tsunami karena tidak adanya getaran yang dapat dideteksi oleh sensor yang terpasang. Kelemahan dari sistem yang ada menyebabkan kebutuhan akan alternative teknologi yang dapat digunakan untuk deteksi tsunami yang tidak berasal dari gempa tektonik. Sistem pemantauan tinggi gelombang dapat menjadi alternatif deteksi dini terjadinya tsunami baik tsunami yang disebabkan oleh gempa tektonik maupun akibat erupsi dari gunung atau longsoran dari tumpukan material dengan volume besar.

Parameter utama terjadi tsunami adalah adanya kenaikan gelombang laut sekitar 0.5 meter dalam waktu kurang dari 20 detik dengan jarak 100 meter. Sehingga salah satu model yang dapat digunakan dalam deteksi dini terjadinya tsunami adalah pemantauan perubahan tinggi gelombang. Pemantau perubahan tinggi gelombang membutuhkan beberapa pemantau tinggi gelombang dengan jarak antar satu perangkat minimal 100 meter. Setiap saat data ketinggian permukaan laut dipantau dan dikumpulkan dan dikalkulasi secara *real time*.

Penelitian terkait dengan perangkat pengukur ketinggian gelombang telah banyak ditemukan. Penggunaan beberapa sensor seperti ultrasonik untuk mengukur level air bendungan [1], pengukuran level air pada tank penampungan [2]. Sensor Ultrasonik menjadi perangkat yang lumrah digunakan dalam mengukur ketinggian gelombang dan kedalaman air [3]. Pengukuran ketinggian gelombang dapat dikembangkan untuk aplikasi deteksi dini terjadinya tsunami.

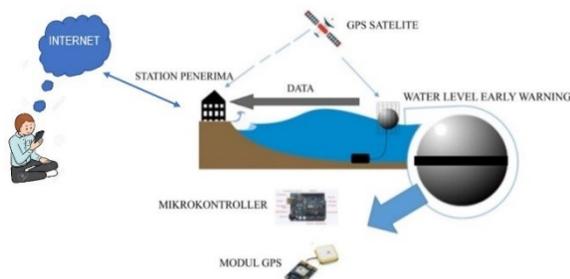
Penelitian terkait dengan deteksi tinggi gelombang air sebegini besar menggunakan sensor

ultrasonik [1]–[4]. Sensor ultrasonik ini membutuhkan kedudukan yang statis untuk dapat dengan jelas mengukur perubahan tinggi gelombang laut. Beberapa penelitian yang lain menggunakan sensor lidar dalam mengukur ketinggian air [5]. Namun sensor ini juga membutuhkan kedudukan statis sebagai pijakan dari sensor lidar. Saat ini belum banyak ditemukan penelitian terkait penggunaan sensor yang berdiri sendiri dengan kedudukan yang non statis yang dapat diletakkan di tengah laut.

Penelitian ini mengangkat sensor Inersial Measurement Unit (IMU) sebagai sensor ketinggian gelombang laut. Penggunaan IMU sebagai sensor posisi cukup banyak digunakan sebagai salah satu perangkat untuk membantu kontrol posisi dan kestabilan pada robot [6], navigasi pada pesawat [7][8]. Pada makalah ini dikaji penggunaan sensor IMU dan sistem wireless monitoring menggunakan telemetri LoRa dalam mengirimkan data sensor pembacaan perubahan posisi percepatan dari sensor akibat naik dan turunnya gelombang laut. Perangkat yang dikembangkan ini terdiri dari perangkat wireless sensor dan sistem monitoring secara nirkabel dalam jarak tertentu.

2. METODE

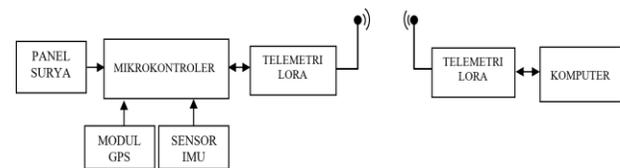
Wireless monitoring ketinggian gelombang laut berbasis inersial measurement unit merupakan perangkat yang dibangun menggunakan menggunakan module Arduino 101 sebagai perangkat pemrosesan *raw* data sensor IMU dan mengirimkan ke stasiun pemantau secara wireless menggunakan perangkat telemetri LoRa. Data yang dibaca dan dikirimkan ke pusat monitoring berupa data percepatan dari sensor *accelero* dan dan perubahan sudut dari sensor Gyroscope. Konsep besar dari sistem ini berupa pembacaan data ketinggian dari gelombang laut berdasarkan data sensor *accelerometer* dan gyroscope yang dikirimkan secara *realtime* ke pusat monitoring dan distribusi data informasi EWS. EWS ini dilengkapi dengan sistem notifikasi ke masyarakat berupa alarm dan informasi yang terhubung ke pada fasilitas penguat suara rumah ibadah dan kantor desa atau kelurahan. Secara umum sistem yang dibangun dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Pengembangan Early Warning System (EWS)

Perangkat sistem wireless monitoring ketinggian gelombang terdiri dari perangkat mikrokontroler Arduino 101, sensor GPS NEO6M, Telemetry LoRa dengan sumber energi dari panel surya. Arduino 101 merupakan modul elektronik yang menggunakan prosesor Intel® Curie™ 32 bit. Modul Arduino 101 dilengkapi dengan module BMI160 yaitu sensor accelerometer 3-axis dan gyroscope 3-axis [9]. Selain itu arduino ini juga dilengkapi dengan *port serial*. Modul ini sangat berguna dalam komunikasi dengan beberapa perangkat bersamaan menggunakan koneksi data serial seperti modul GPS dan modul telemetry yang dipakai dalam perangkat yang dikembangkan. GPS dalam pengembangan sistem ini berfungsi untuk mengambil data posisi setiap saat dari perangkat.

Data posisi GPS bekerja berdasarkan penerimaan sinyal dari minimal empat satelit. Karena posisi perangkat di area terbuka sehingga data koneksi dengan minimal empat satelit GPS mudah diterjalin. GPS ini sangat dibutuhkan untuk mengetahui pergerakan sensor. Disisi lain berfungsi untuk mengetahui jika perangkatnya masih tetap ditempat atau telah dicuri. Data sensor dikirimkan oleh telemetry. Telemetry yang digunakan untuk mengirimkan data sensor secara real time menggunakan type Lora SX1278 Frekuensi 433 MHz dengan power transmitter 20 dBm. Untuk menyemplai sumber energi listrik dilaut lepas digunakan panel surya dan baterai penyimpan. Blok diagram dari pemngembangan alat ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok Diagram Perangkat Wireless Sensor Pengukur Ketinggian Gelombang

Data sensor accelerometer berupa data percepatan perubahan posisi dan gyroscope merupakan sensor yang mengukur perubahan sudut. Berdasarkan data percepatan maka nilai kecepatan dapat diketahui dengan integrasi seluruh data percepatan. Secara matematis dapat dituliskan persamaan untuk mendapataka nilai kecepatan dan posisi berdasarkan data percepatan seperti yang ditunjukkan pada persamaan 1-3 [10]. Posisi dari perangkat dapat diketahui dengan double integral pada nilai percepatan (persamaan 2) atau intergeral pada nilai kecepatan seperti yang ditunjukkan pada persamaan 3.

$$v_t = \int a^{\vec{}} dt \quad (1)$$

$$S_t = \iint a^{\vec{}} dt^2 \quad (2)$$

$$S_t = \int v^{\vec{}} dt \quad (3)$$

Dimana \vec{a} adalah vektor percepatan arah sumbu x,y, dan z. dan S_t dan V_t masing-masing adalah posisi dan kecepatan perubahan posisi.

Persamaan 1-3 merupakan konsep persamaan dasar dari perubahan percepatan ke kecepatan dan posisi. Namun pembacaan data sensor accelerometer dapat terdistorsi jika tidak mengintegrasikan dengan data perubahan sudut dan magnetometer. Penggabungan sensor accelerometer dengan gyroscope dan magnetometer menjadi sebuah sensor fusion untuk mendapatkan sudut pitch yaw dan roll [11].

Pengujian Perangkat

Pengujian sistem dilakukan dalam dua tahap yaitu tahap uji fungsional dan tahap uji jarak, tahap uji validasi data. Uji fungsional diantaranya adalah uji pembacaan data sensor accelero meter dan gyroscope yang telah ada dalam module embended Arduino 101, pengujian modul telemetry. Pengujian jarak adalah pengujian kemampuan dari telemetry mengirimkan

data baik maksimal jarak jangkauan data maupun banyaknya data yang dikirimkan. Pengujian jarak juga dilakukan dalam lingkungan *line of side* dan lingkungan *urban* untuk mengetahui efek dari inferensi akibat *multipath*. Tahap yang terakhir adalah uji validasi data. Tahapan ini dilakukan untuk mengetahui akurasi dari data sensor yang digunakan seperti data sensor GPS dan perhitungan data perubahan posisi berdasarkan data sensor accelerometer dan gyroscope serta penerapan algoritme McGwlich untuk perhitungan perubahan posisi. dengan menyandingkan data BMKG dengan data hasil pengukuran. Perbedaan data dihitung menggunakan rumus *Mean Absolute Error (MAE)* seperti pada persamaan 5.

$$MAE = \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - x_i|}{n} \quad (5)$$

Dimana y_i adalah nilai sebenarnya dari data BMKG dalam satu jam dan x_i adalah nilai pengukuran rata-rata dalam satu jam.

Pengujian akurasi dari modul GPS juga dilakukan dengan membandingkan data koordinat dari google maps dengan data pembacaan posisi dari modul GPS. Selisih dari pengukuran dengan data referensi posisi dihitung menggunakan persamaan euclidian (persamaan 6).

$$Selisih = \sqrt{(A_{Lat} - B_{lat})^2 + (A_{Lon} - B_{Lon})^2} \quad (6)$$

Dimana A_{lat}, A_{Lon} adalah koordinat referensi dan

B_{Lat}, B_{Lon} adalah koordinat pengukuran.

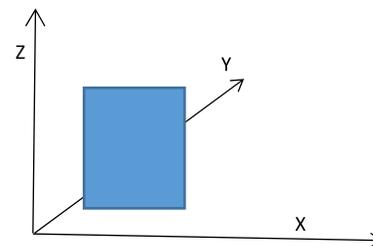
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pengujian Sensor IMU

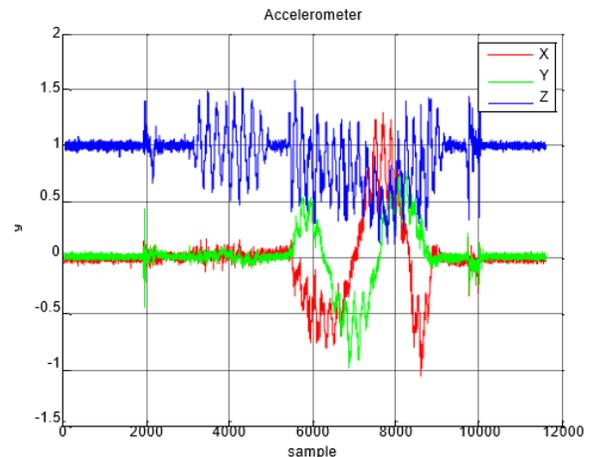
Uji fungsional ini menyajikan data pengujian pembacaan data *accelerometer* dan *gyroscope* terpasang secara *embended* pada mikrokontroler arduino 101. Pengujian pembacaan data sensor dilakukan dengan menggerakkan Arduino 101 ke arah atas dan bawah, ke arah samping kanan dan kiri, dan ke arah depan dan belakang. Terlihat pada Gambar 3 perubahan nilai percepatan pada saat sensor digerakkan ke atas bawah (Z) dan samping (X) serta depan (Y). Nilai awal saat sensor tidak digerakkan berada pada nilai 0. Terlihat data Z tidak berada pada titik offsetnya sehingga dibutuhkan normalisasi data ke titik nol. Normalisasi data ini dilakukan dengan mengurangi atau menambah data sumbu Z agar mencapai titik 0. Sumbu Y pada grafik Gambar 3b

menunjukkan perubahan nilai gravitasi atau percepatan dari perubahan gerak sensor. Ketiga data sensor berhasil didapatkan dan di visualisasikan dalam bentuk grafik.

Sensor yang terintegrasi dengan Arduino 101 adalah sensor gyroscope. Sensor ini mengukur perubahan sudut. Gambar 4a menunjukkan ilustrasi gerak sudut pich (Gz), Yaw(Gx) dan Roll (Gy). Data percepatan dan data perubahan sudut secara bersamaan diproses untuk mendapatkan data perubahan sudut yang mengindikasikan perubahan tinggi gelombang. Banyaknya data yang berhasil didapatkan dalam satu detik sekitar.



a. Gerak Sensor 3 D

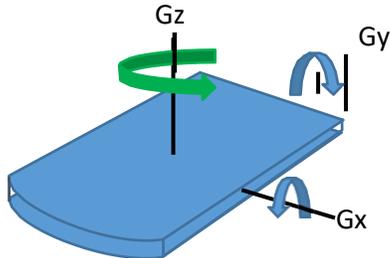


b. Data Sensor accelerometer 3 axis

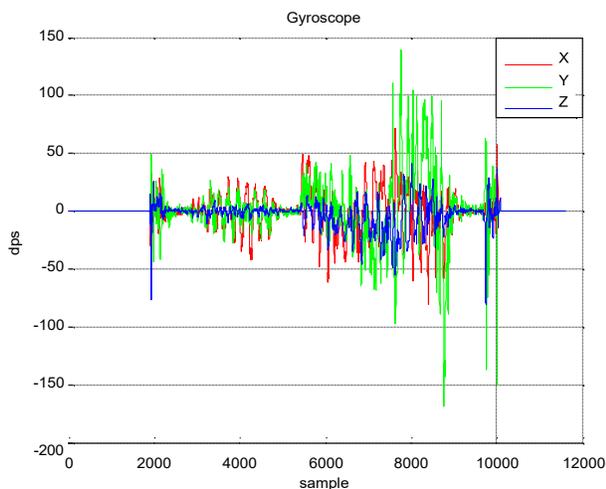
Gambar 3. Visualisasi pembacaan data sensor accelerometer

Sensor yang terintegrasi dengan Arduino 101 adalah sensor *gyroscope*. Sensor ini mengukur perubahan sudut. Gambar 4a menunjukkan ilustrasi gerak sudut pich (Gz), Yaw(Gx) dan Roll (Gy). Data percepatan dan data perubahan sudut secara bersamaan diproses untuk mendapatkan data perubahan sudut yang mengindikasikan perubahan

tinggi gelombang. Banyaknya data yang berhasil didapatkan dalam satu detik sekitar.



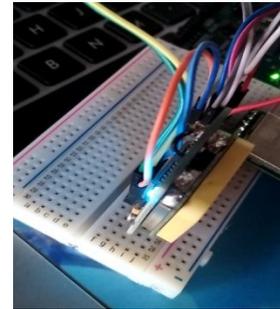
a. Gerak Sensor Rotasi



Gambar 4. Visualisasi Pembacaan Data Sensor Gyroscope

b. Pembacaan Data GPS

Pengujian GPS (Global Positioning System) dilakukan untuk memastikan bahwa data GPS dapat diakses oleh modul arduino 101. Penggunaan modul GPS dalam perangkat ini sangat penting untuk mengetahui pergerakan alat. Jika pembacaan data dari GPS error maka pergerakan alat tidak dapat diketahui posisinya dengan benar. Pengujian pembacaan data GPS dilakukan dengan menghubungkan modul GPS ke Arduino 101. Dengan menggunakan protoboard dan kabel jumper yang dibungkan dengan senso telah dapat menunjukkan tingkat keberhasilan dari pembacaan data GPS. Data GPS dapat memberikan informasi posisi dalam latitude dan longitude. GPS dalam berkomunikasi dengan modul arduino membutuhkan port serial.



Gambar 4. Pengujian GPS

Gambar 4 menunjukkan pengujian koneksi dan akses data dari modul GPS. Pengujian ini tidak hanya untuk memastikan data dapat diterima dengan baik namun juga dimanfaatkan untuk memastikan pin yang sesuai untuk koneksi dengan Arduino 101. Hasil pengujian dengan metode *wiring* ini dibutuhkan untuk tahapan selanjutnya yaitu pada pembuatan PCB perangkat secara keseluruhan.

Data pengujian dari modul GPS dapat dilihat pada Tabel 1. Kolom pertama pada tabel tersebut menunjukkan lokasi dari titik pengukuran. Kolom ke tiga dan keempat menunjukkan data pembacaan dari GPS. Kolom ke lima menunjukkan kesalahan perbedaan pengukuran dari data google map. Data selisih didapatkan dari persamaan selisih euclidian seperti pada persamaan 6.

No.	Google Maps	Modul GPS	Selisih
1.	Lat =-5,185555 Lon = 119,434288	Lat=-5.2067031 Lon=119,434288	0,021209281
2.	Lat =-5,174447 Lon = 119,450094	Lat=-5.17446 Lon=119,450094	0,0022204
3.	Lat =-5,187931 Lon=119,438192	Lat=-5.1869819 Lon=119,438192	0,008804306
4.	Lat=-5,183819 Lon=119,453973	Lat=-5.1862975 Lon=119,453973	0,00282899
5.	Lat=-5,229265 Lon=119,466343	Lat=-5.2293315 Lon=119,466343	0,001495579
6.	Lat=-5,183412 Lon=119,432205	Lat=-5.1834277 Lon=119,432205	0,002195256
7.	Lat=-5,241784 Lon=119,380198	Lat=-5.2419927 Lon=119,380198	0,004238341
8.	Lat=-5,594112 Lon=120,461408	Lat=-5.5956953 Lon=120,461408	0,038171151
9.	Lat=-5,582057 Lon=120,448576	Lat=-5.5956964 Lon=120,448576	0,013680978

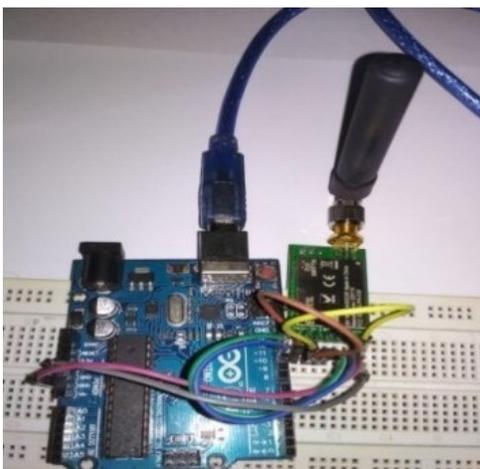
10.	Lat=-5,609088 Lon=120,449746	Lat=-5.6116348 Lon=120,449746	0,006947718
-----	---------------------------------	----------------------------------	-------------

Data koordinat google map diambil menggunakan HP Vivo 1802 dengan sistem operasi android 8.1.0. Perangkat pembaca data koordinat GPS menggunakan modul GPS berada pada posisi yang sama saat koordinat GPS google maps diambil. Pada saat bersamaan data pembacaan koordinat GPS direkam. Selisih dari pengukuran dan pembacaan data GPS terlihat pada kolom keempat. Selisih perubahan posisi berdasarkan nilai MAE untuk posisi latitude adalah sebesar 0,00426371 dan untuk posisi longitude adalah sebesar 0,00675378. Nilai ini menunjukkan nilai yang dapat ditoleransi sehingga memungkinkan untuk menggunakan modul GPS

c. Pengujian Modul LoRa

Pengujian Modul LoRa (*Long Range Wireless Data Telemetry*) bertujuan untuk

mentransmisikan data dari modul LoRa pengirim ke modul LoRa Penerima sebagai pusat pelaporan data *wireless sensor* pada operator sistem. Modul telemetri oRa ini menggunakan port serial sebagai media komunikasi dengan Arduino 101. Selain itu modul ini memiliki pin M0 dan M1 yang diset pada nilai 0 untuk menjalankan mode 0 telemetri.



Gambar 5. Pengujian Telemetri LoRa

Jarak untuk melakukan komunikasi antara modul LoRa pengiriman dan modul LoRa terbatas.

Modul LoRa ini hanya mampu berkomunikasi dengan jarak maksimal 15 kilo meter (tanpa ada halangan). Namun, jika dibatasi oleh suatu penghalang (gedung atau bukit) kekuatan jarak komunikasinya berkurang dan melemah maksimal 4 kilo meter. Data pengujian seperti yang ditampilkan dalam Tabel 2. Dilakukan dengan menentukan titik-titik pengukuran pada google maps. Kemudian pengukuran dilakukan pada titik tersebut. Pada kolom ketiga dalam tabel tersebut menunjukkan data pengukuran di area padat penduduk sedangkan pada kolom keempat menunjukkan data pengujian pada area laut lepas. Pada pengujian darat dilakukan untuk mengetahui area yang memungkinkan untuk penempatan stasiun monitoring. Sedangkan pada pengujian diluar untuk mendapat gambaran kemungkinan pelekatakan beberapa sensor yang dapat saling menukarkan data pengamatannya.

Tabel 2. Pengujian Jarak Telemetri LoRa

No.	Jarak (km)	Penghalang	Tanpa Penghalang
1.	1	Data Terkirim	Data Terkirim
2.	2	Data Terkirim	Data Terkirim
3.	3	Data Terkirim	Data Terkirim
4.	4	Tidak Terkirim	Data Terkirim
5.	5	Tidak Terkirim	Data Terkirim
6.	6	Tidak Terkirim	Data Terkirim
7.	7	Tidak Terkirim	Data Terkirim
8.	7.6	Tidak Terkirim	Tidak Terkirim

Pengujian modul LoRa telah dilakukan pada beberapa titik lokasi yang berbeda. Tabel 3 menunjukkan data pengujian untuk area urban dimana multipath sangat tinggi terjadi. Skenario pengujian dilakukan dengan meletakkan stasiun monitoring pada suatu tempat yaitu lokasi A kemudian perangkat sensor disimpan pada lokasi B. Jarak yang terukur pada peta google ditunjukkan pada kolom ke tiga Persentasi penerimaan data didapatkan dari perhitungan kesamaan data pengiriman dan penerimaan data sensor. Data persentasi dihitung menggunakan persamaan 6. Dari hasil pengujian diketahui kemampuan dari telemetri untuk area urban dapat diandalkan untuk jangkauan maksimal 3.8 km

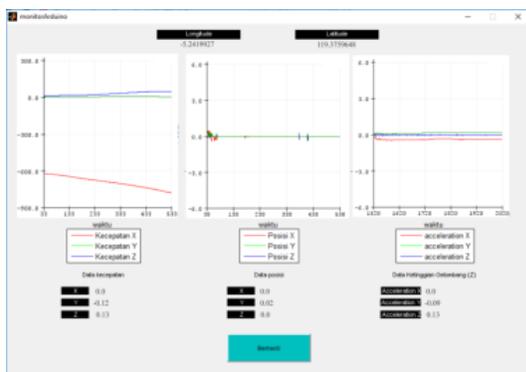
lebih data jarak tersebut menyebabkan distorsi data bahkan data tidak diterima sama sekali.

d. Pengujian Perangkat Monitoring

Perangkat wireless monitoring ini terdiri dari penerima LoRa yang terhubung dengan komputer yang dilengkapi dengan Grafical Unit Interface (GUI). Data yang diterima diproses dan ditampilkan dalam bentuk Grafik dan data mentah. Gambar 6b menunjukkan tampilan GUI yang menampilkan tiga buah grafik yaitu grafik data percepatan perubahan posisi, grafik posisi atau ketinggian gelombang dan data kecepatan perubahan posisi dalam bentuk 1 dimensi. Gambar 6a menunjukkan sensor wireless yang diletakkan pada tengah laut. Perangkat tersebut mengirimkan raw data accelero, gyroscope dan posisi GPS secara kontinu. Data posisi diproses pada stasiun monitoring.



a. Perangkat Pengukur Ketinggian Gelombang



b. GUI Sistem Monitoring

Gambar 6. Sistem Monitoring ketinggian Gelombang

Hasil pengolahan ketinggian yang bersalah dari raw data sensor disandingkan dengan data BMKG yang dilakukan di pantai Galesong, Takalar tanggal 31 Mei 2019. Hasil pengujian dan perbandingan data BMKG dapat dilihat pada Tabel 5. Terlihat pada tabel kolom pertama menunjukkan hasil pengukuran dari perangkat yang digunakan, kolom kedua menunjukkan data BMKG yang dimonitoring setiap jamnya. Terlihat dalam tabel data pengukuran dari perangkat yang dikembangkan memiliki kesesuaian sebesar 80%.

Pada penelitian ini data pembanding belum bisa menunjukkan data yang presisi. Data yang berhasil didapatkan terbatas pada data setiap jamnya. Data yang dihasilkan dari pengukuran menggunakan perangkat yang dikembangkan dapat menghasilkan data yang lebih banyak dalam satu detiknya. Perangkat yang dikembangkan dapat menghasilkan data pengukuran hingga 10 data setiap detiknya. Namun dari segi akurasi perangkat dan pengolahan raw data masih perlu ditingkatkan. Penggunaan algoritma mecGwich memerlukan data sensor tambahan yaitu data sensor magnetometer. Sedangkan dalam penelitian ini data tersebut tidak disediakan. Sehingga pada penelitian berikutnya penggunaan sensor magnetometer sangat perlu untuk ditambahkan.

4. Kesimpulan dan Saran

1. Perangkat yang dikembangkan secara fungsional terpenuhi pengiriman data hingga radius 3,8 km.
2. Data accelero dan gyroscope yang terintegrasi pada modul Arduino 101 dapat diakses dan dikirimkan secara realtime.
3. Perangkat monitoring pengamatan data sensor berhasil dibangun dengan menerapkan sistem filterisasi data untuk memvisualisasikan data sensor secara grafik dan direpresentasikan dalam bentuk tabel.
4. Peningkatan akurasi pengukuran ketinggian gelombang dengan memproses raw data accelero dan gyroscope membutuhkan data sensor magnetometer.

Daftar Pustaka

- [1] H. Jawas, N. M. A. E. D. Wirastuti, and W. Setiawan, "Prototype Pengukuran Tinggi Debit Air Pada Bendung Dengan Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis Arduino Mega 2560," *J. SPEKTRUM*, vol. 5, no. 1, p. 1, 2018, doi: 10.24843/spektrum.2018.v05.i01.p01.

- [2] A. Roy, K. P. Singh, and A. Kumar, "Automatic Water Level Indicator Using Ultrasonic Sensor and Gsm," no. 5, pp. 261–269, 2018.
- [3] D. Kurniadi, M. B Abdani, D. Ramadhani, and E. Juliastuti, "Pengukuran Kedalaman Air dan Deteksi Objek dengan Gelombang Ultrasonik," *J. Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, vol. 10, no. 1, p. 37, 2018, doi: 10.5614/joki.2018.10.1.4.
- [4] M. Minasi, "Using Ultrasonic Sensing to Monitor Level in Tanks," *Texas Instruments Appl. Rep.*, vol. SNAA270, no. July, pp. 1–28, 2015.
- [5] T. Fax, "Penggunaan Sensor Ultrasonik Sebagai Pendeteksi Ketinggian Air Sungai Pada Sistem Peringatan Dini," pp. 143–147, 2011.
- [6] A. Mifsud, M. Benallegue, and F. Lamiroux, "Stabilization of a compliant humanoid robot using only inertial measurement units with a viscoelastic reaction mass pendulum model," *IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, vol. 2016-Novem, pp. 5405–5410, 2016, doi: 10.1109/IROS.2016.7759795.
- [7] L. Zhang, Z. Zhai, L. He, P. Wen, and W. Niu, "Infrared-inertial navigation for commercial aircraft precision landing in low visibility and gps-denied environments," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 2, 2019, doi: 10.3390/s19020408.
- [8] H. Xing, J. Li, B. Hou, Y. Zhang, and M. Guo, "Pedestrian Stride Length Estimation from IMU Measurements and ANN Based Algorithm," *J. Sensors*, vol. 2017, 2017, doi: 10.1155/2017/6091261.
- [9] P. Core, S. Subsystem, P. R. Accelerator, S. S. Interfaces, and P. Management, "Intel® Curie™ Module," no. March, pp. 1–79, 2017.
- [10] K. Seifert and O. Camacho, "Implementing positioning algorithms using accelerometers," *Free. Semicond.*, pp. 1–13, 2007, [Online]. Available: http://perso-etis.ensea.fr/~pierandr/cours/M1_SIC/AN3397.pdf.
- [11] J. H. P. de Vree, T. a. m. Spierings, and A. J. M. Plasschaert, "Materials Science A Simulation Model for Transient Thermal Analysis of Restored Teeth," *J. Dent. Res.*, vol. 62, no. 6, pp. 756–759, 1983, doi: 10.1177/00220345830620061401.