

RANCANG BANGUN DAN UJI KINERJA INSTRUMEN PENDETEKSI GELOMBANG PERMUKAAN LAUT BERBASIS SENSOR TEKANAN

Nurhaliza Amalia Lestari^{1*}, Indra Jaya²

¹Program Studi Ilmu Kelautan Fakultas Pertanian, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa; Jl. Raya Palka Km 3 Sindangsari, Pabuaran, Kab. Serang Provinsi Banten; Telp : +62254 3204321 Fax : +62254

²Program Studi Ilmu dan Teknologi Kelautan Fakultas Perikanan, IPB University; Jl. Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga Bogor, 16680 West Java, Indonesia; Telp : +62 251 8622642

Keywords:

Waves; Instruments;
Detection; Wind.

Correspondent Email:

nurhaliza.amalia@untirta.ac.id

Abstrak. Gelombang permukaan laut merupakan gerakan acak yang terbentuk dari superposisi berbagai gelombang dengan frekuensi tertentu. Di Indonesia, ketersediaan data gelombang masih terbatas dan sulit diperoleh, sehingga menjadi hambatan dalam kegiatan monitoring serta penelitian kelautan. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengembangkan instrumen pendeteksi gelombang permukaan laut berbasis sensor tekanan, sekaligus mengevaluasi kinerjanya melalui uji laboratorium dan lapangan. Tahap perancangan meliputi integrasi komponen mekanik, sistem elektronik, dan perangkat lunak. Instrumen terlebih dahulu diuji pada kondisi laboratorium terkontrol, kemudian diterapkan di lapangan untuk menilai keandalannya. Selama pengoperasian, instrumen merekam tinggi muka air setiap 15 detik untuk 15 data, lalu masuk mode sleep selama 2 menit sebelum kembali merekam. Data hasil pengukuran secara otomatis dikirim ke database dan divisualisasikan dalam bentuk grafik tinggi gelombang. Hasil penelitian menunjukkan instrumen bekerja dengan baik, dengan tinggi gelombang maksimum yang tercatat sebesar 1,32 cm. Selama 100 burst length, frekuensi gelombang berada pada kisaran 1–7 Hz dengan energi relatif seragam pada 1–6 Hz. Hasil ini membuktikan sensor tekanan efektif mendeteksi gelombang permukaan laut dan instrumen yang dikembangkan berpotensi menjadi alat pemantau kondisi gelombang laut yang dapat diandalkan.



Copyright © [JITET](http://www.jitet.org) (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Abstract. Ocean surface waves are random motions formed by the superposition of various waves with specific frequencies. In Indonesia, wave data remain limited and difficult to access, creating obstacles for monitoring and marine research. This study aims to design and develop a pressure sensor-based instrument for detecting ocean surface waves and to evaluate its performance through laboratory and field tests. The design stage involved integrating mechanical components, electronic systems, and software. The instrument was first tested under controlled laboratory conditions and later deployed in the field to assess its reliability. During operation, the instrument records water surface elevation every 15 seconds for 15 data points, then enters sleep mode for 2 minutes before continuing measurements. The recorded data are automatically transmitted to a database and visualized as wave height graphs. Results show the instrument operated effectively, with a maximum recorded wave height of 1.32 cm. Across 100 burst lengths, wave frequencies ranged from 1–7 Hz with relatively uniform energy between 1–6 Hz. These findings confirm that pressure sensors are effective for surface wave

detection, and the developed instrument has strong potential as a reliable tool for continuous wave monitoring.

1. PENDAHULUAN

Gelombang permukaan laut adalah salah satu fenomena yang sangat kompleks dan mudah berubah dibandingkan dengan arus dan pasang surut, sehingga untuk memahami secara menyeluruh tentang perilaku dan karakteristik gelombang permukaan laut merupakan hal yang sulit. Gelombang tersebut pada hakekatnya adalah gelombang acak yang terbentuk karena berbagai macam jenis gelombang dengan frekuensi tertentu yang bersuperposisi satu sama lainnya. Sumber pembangkit gelombang tersebut terutama adalah angin, sehingga sering disebut dengan Gelombang Angin (*Wind Waves*) [1].

Penelitian terkait dengan perangkat pengukur ketinggian gelombang telah banyak ditemukan [2]. Pengukuran gelombang dilakukan dengan menggunakan wahana terapung seperti *wave buoy* [3][4], ultrasonik altimeter [5][6], *Advanced Synthetic Aperture Radar* (ASAR) [7], *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) [8]. Pada penelitian ini, dibuat rancang bangun instrumen pendeteksi gelombang permukaan laut dengan menggunakan sensor tekanan yang diletakkan di dasar perairan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan mampu memberikan solusi keterbatasan data gelombang laut dengan metode baru yaitu penggunaan sensor tekanan untuk melakukan pengukuran dan menyajikan data secara *real-time* data tinggi gelombang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

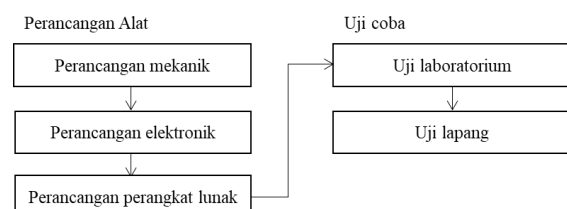
Gelombang laut adalah pergerakan naik dan turunnya air laut dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal [9]. Terdapat beberapa macam gelombang yang dibedakan oleh faktor pembangkitnya seperti angin (gelombang angin), gempa (tsunami), dan gaya tarik menarik antara bumi, bulan, dan matahari (gelombang pasang surut) [6].

Gelombang permukaan laut adalah salah satu fenomena yang sangat kompleks dan mudah berubah dibandingkan dengan arus dan pasang surut, sehingga untuk memahami secara menyeluruh tentang perilaku dan karakteristik

gelombang permukaan laut merupakan hal yang sulit. Gelombang tersebut pada hakekatnya adalah gelombang acak yang terbentuk karena berbagai macam jenis gelombang dengan frekuensi tertentu yang bersuperposisi satu sama lainnya. Sumber pembangkit gelombang tersebut terutama adalah angin, sehingga sering disebut dengan Gelombang Angin (*Wind Waves*) [1]. Prinsip terjadinya pembangkitan gelombang oleh angin adalah perpindahan energi dari angin ke air lewat permukaan air [10].

3. METODE PENELITIAN

Prosedur penelitian dilakukan mengikuti tahapan sesuai dengan Gambar 1. Tahapan penelitian dibagi menjadi tahap perancangan alat dan uji coba. Pada tahap perancangan alat dilakukan perancangan komponen mekanik, perancangan sistem elektronik, dan perancangan perangkat lunak. Selanjutnya pada tahap uji coba/kinerja akan dilakukan uji laboratorium dan uji lapang. Selain itu juga dilakukan tahap analisis data mendapatkan informasi tentang gelombang permukaan laut.

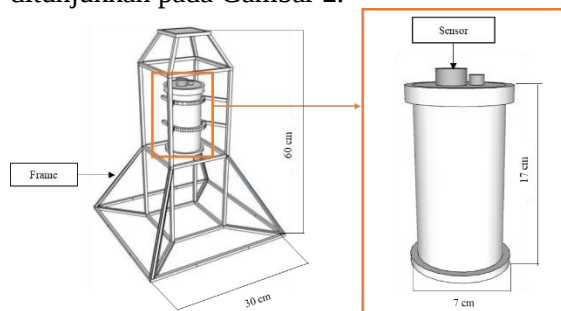


Gambar 1 Alur tahapan pembuatan instrumen pendeteksi gelombang permukaan laut

3.1 Perancangan Alat

Tahap awal penelitian adalah merancang mekanik instrumen pendeteksi gelombang menggunakan SketchUp sebagai gambaran awal desain. Mekanik terdiri dari dua bagian: rangka sensor dan rangka luar. Rangka sensor dibuat berbentuk silinder karena lebih hidrodinamis dibanding bentuk lain [11], dengan kompartemen elektronik di bagian dalam dan sensor tekanan ditempatkan di luar. Rangka luar berfungsi melindungi rangka sensor sekaligus sebagai pemberat agar instrumen stabil saat ditempatkan di dasar

perairan. Desain lengkap instrumen ditunjukkan pada Gambar 2.



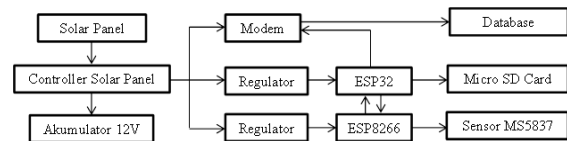
Gambar 2 Desain instrumen pendeteksi gelombang permukaan laut

Material yang digunakan untuk membuat rangka sensor adalah HDPE silinder yang yang dibentuk dengan menggunakan mesin bubut, sedangkan material yang digunakan untuk membuat rangka luar adalah *stainless steel* yang dibentuk dengan cara pengelasan. Material ini dipilih karena memiliki kemampuan anti korosi dan tahan terhadap tekanan.

Sistem elektronik instrumen pendeteksi gelombang terdiri dari dua mikrokontroler, yaitu ESP32 sebagai pusat kendali utama dan ESP8266 sebagai pengendali sensor dan data. Sensor yang digunakan adalah MS5837, dengan resolusi 2 mm di dalam air dan response time 0,5 ms. Sensor ini beroperasi pada tegangan 1,5–3,6 V dan mampu mendeteksi kedalaman hingga setara tekanan 30 bar. MS5837 dirancang tahan air dengan prinsip tekanan: semakin besar tekanan diterima, semakin besar nilai kedalaman yang terbaca. Hubungan tekanan dengan kedalaman bersifat linier, sehingga peningkatan kedalaman menghasilkan peningkatan tekanan, dan sebaliknya. Rumusan hubungan tersebut ditunjukkan pada persamaan berikut:

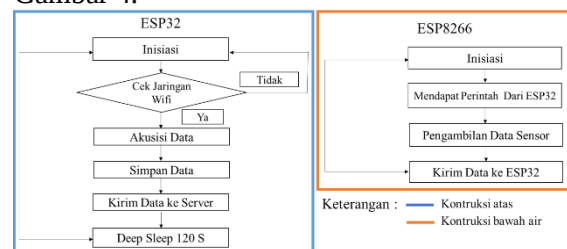
$$P = \rho gh \quad (1)$$

dimana ρ adalah masa jenis cairan, g (10 m/s²) adalah gravitasi, dan h adalah kedalaman cairan. Data yang didapatkan akan dikirimkan melalui modem ke database. Daya yang digunakan pada instrumen ini berasal dari akumulator 12 V yang dayanya diisi oleh solar panel. Hubungan fungsional rangkaian elektronik instrumen ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Perancangan hubungan fungsional elektronik pada instrumen

Perancangan perangkat lunak pada mikrokontroler dilakukan menggunakan Arduino IDE versi 1.8.2 yang kemudian diunduh ke ESP32 dan ESP8266. Perangkat lunak pada ESP32 memiliki fungsi untuk pusat kendali alat sehingga ESP32 ini diletakkan di konstruksi bagian atas, sedangkan ESP8266 sebagai pusat kendali sensor dan data berada di konstruksi bawah air. Informasi yang diberikan berupa data kedalaman perairan. Perancangan dan alur pemrograman instrumen pendeteksi gelombang permukaan laut dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Alur perancangan pemrograman pada mikrokontroler

Alur pemrograman pada ESP32 diawali dengan inisiasi data yang kemudian selanjutnya dilakukan pengecekan jaringan Wi-Fi. Keberadaan Wi-Fi menentukan jalannya alur pemrograman dimana jika jaringan Wi-Fi tidak ditemukan maka alur program akan kembali ke inisiasi. Namun apabila jaringan data ditemukan maka akan dilakukan akuisisi data untuk selanjutnya data akan disimpan di Micro SD Card. Data yang sudah disimpan kemudian akan dikirimkan ke Database. Setelah data dikirim alur pemrograman akan masuk ke mode hemat daya (*Deep Sleep*) selama dua menit dan kemudian akan mengulang ke langkah awal alur pemrograman. Sedangkan pada alur pemrograman pada ESP8266 diawali dengan inisiasi data yang kemudian selanjutnya ESP8266 mendapat perintah dari ESP32 untuk melakukan pengambilan data. Setelah pengambilan data dilakukan, data akan transmisikan ke ESP32 dan alur pemrograman pada ESP8266 akan kembali ke langkah awal

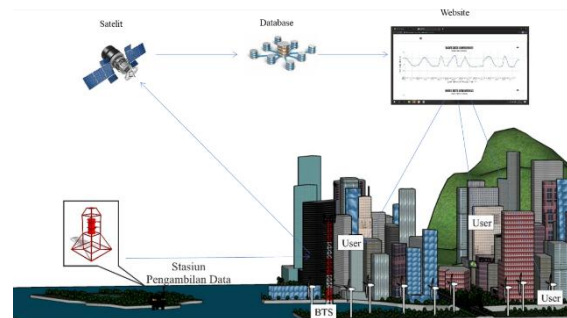
alur pemrograman.

3.2 Uji Kinerja

Uji laboratorium dilakukan setelah instrumen pendeteksi gelombang selesai dibuat, meliputi uji kedap dan uji pengiriman data. Uji kedap dilakukan dengan menempatkan instrumen di kolam sedalam 3 meter selama 2×24 jam menggunakan pemberat. Tujuannya untuk memastikan rangka sensor tahan terhadap kebocoran sehingga komponen elektronik terlindungi dari korsleting saat ditempatkan di dasar perairan. Uji kedap dinyatakan berhasil bila tidak ada air masuk ke dalam rangka sensor.

Selanjutnya, uji pengiriman data dilakukan dengan menyalakan instrumen dan memeriksa data yang terkirim ke *database*. Pengujian ini menilai ketepatan integrasi rangkaian elektronik dengan program/algoritma pendeteksian gelombang. Prosesnya dilakukan dengan mengunggah program ke mikrokontroler yang telah dirangkai dengan sensor dan diberi daya, sehingga data kedalaman air dapat dikirim ke *server* untuk dikonversi menjadi data tinggi muka air.

Uji lapang dilakukan di Pulau Pramuka, Kepulauan Seribu untuk menguji kinerja instrumen pendeteksi gelombang. Alat ditempatkan di dasar perairan pada kedalaman ≤ 10 meter menggunakan rangka sebagai pemberat sekaligusudukan sensor, lalu dipasak agar kokoh dan stabil. Parameter utama yang diperhatikan meliputi kestabilan alat, kinerja sistem elektronik, ketepatan program, dan akurasi sensor. Kestabilan diamati secara visual, sementara sistem elektronik dan algoritma diuji agar mampu berfungsi baik di perairan terbuka yang dinamis. Sensor bekerja dengan prinsip tekanan, di mana nilai tekanan yang diterima dikonversi menjadi kedalaman; semakin dalam perairan, semakin besar tekanannya. Instrumen kemudian mengukur tinggi muka air berdasarkan data tersebut. Perekaman dilakukan dengan interval 15 detik untuk 15 data (1 data/detik), setelah itu instrumen masuk mode *sleep* selama 2 menit sebelum kembali merekam secara berulang.



Gambar 5 Skema uji coba pengambilan data lapang

Pengembangan sistem instrumen berbasis telemetri sudah banyak dilakukan, baik dengan menggunakan media gelombang radio [12], GSM (*Global System for Mobile Communication*) [13], jaringan Wifi [14][15], maupun jaringan GPRS (*General Packet Radio Service*) [16]. Pada penelitian rancang bangun dan uji kinerja instrumen pendeteksi gelombang permukaan laut ini menggunakan media jaringan GSM sebagai media pengiriman datanya. Komponen utama yang digunakan sebagai pengirim datanya adalah modem dengan jaringan GSM yang akan mengirimkan data-data yang telah diakuisisi sensor. Pengiriman data dikendalikan oleh ESP32 yang terkoneksi dengan modem GSM untuk mengirimkan data sampai ke database server yang dituju. Gambar 5 merupakan gambaran uji pengambilan data lapang yang diterapkan pada rancang bangun.

3.3 Analisis Data

Data hasil pengukuran tinggi muka air dikirimkan ke database yang kemudian data ditampilkan menjadi grafik tinggi muka air atau grafik tinggi gelombang. Metoda *Fourier Transform* adalah suatu metoda untuk menguraikan suatu fungsi menjadi penjumlahan fungsi sinudoida sederhana. Dengan FFT kita dapat memodelkan pengamatan yang kompleks sebagai suatu model linear yang terdiri atas sejumlah kecil komponen yang dominan saja. Keberhasilan dari analisa FFT ini tergantung jumlah data pengamatan. Semakin banyak data pengamatan yang kita gunakan, akan semakin baik pendekatan model linear ini dalam mewakili sistem sebenarnya. Keuntungan pendekatan ini adalah memudahkan kita memisahkan signal dari noise atau mengisolasi signal tertentu. Signal adalah komponen data

yang kita inginkan untuk dianalisa dan umumnya merupakan komponen terbesar dari data. *Noise* dapat dikategorikan sebagai bagian kecil dari data yang tidak kita inginkan baik karena mempunyai karakteristik yang acak ataupun yang tidak dapat dijelaskan [17]. Metode ini digunakan untuk melihat perbedaan dari gelombang yang bekerja pada data hasil perekaman. Dalam metode *Fast Fourier Transform* (FFT), komponen fourier ($X(f_k)$) yang diberikan oleh [18] dalam [19]:

$$X(f_k) = \Delta t \sum_{t=0}^{N-1} x_t \exp(-i2\pi kt/N) \quad (2)$$

dimana:

- $X(f_k)$ adalah komponen fourier dari data deret waktu (s) pada frekuensi ke-k (f_k);
- N adalah jumlah data;
- Δt adalah selang waktu pengambilan data (1 hari);
- i adalah (bilangan imajiner);
- t adalah 0, 1, 2, ..., N.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Rancang Bangun

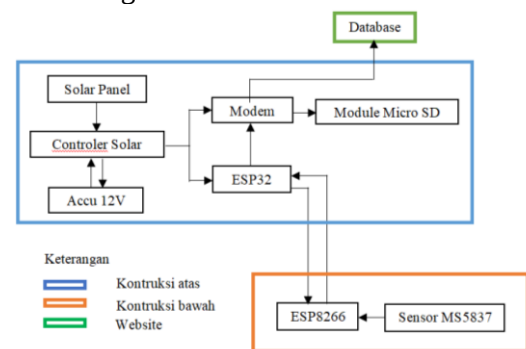
Instrumen pendeteksi gelombang permukaan laut telah berhasil dibuat, seperti pembuatan bagian mekanik, perangkaian rangkaian elektronik, dan pembuatan program. Gambar 6 merupakan tampilan instrumen pendeteksi gelombang permukaan laut.



Gambar 6 Hasil rancang bangun instrumen pendeteksi gelombang permukaan laut

Pembuatan instrumen pendeteksi gelombang permukaan laut dilakukan sebagai wadah sistem pendeteksian gelombang permukaan laut. Instrumen pendeteksi gelombang permukaan laut ini dibuat menggunakan bahan dasar *high density polyethylene* atau disebut juga HDPE,

sedangkan kerangka luar dibuat menggunakan bahan *stainless steel*. Pemilihan bahan dasar pembuatan rangka sensor dan rangka luar ini karena memiliki sifat yang tahan terhadap tekanan, dapat mempertahankan bentuk, serta anti korosi. Rangka sensor dibuat dengan menggunakan mesin bubut sedangkan rangka luar dibuat dengan proses pengelasan. Rangka luar berfungsi sebagai pemberat untuk penempatan di dasar perairan, juga untuk melindungi dan tempat melekatnya rangka sensor. Tabung instrumen pendeteksi gelombang permukaan laut atau rangka sensor dibuat dengan bentuk tabung silinder karena lebih hidrodinamis dibandingkan dengan bentuk lainnya [11]. Rangka sensor ini memiliki ukuran 17cm x 7cm, sedangkan rangka luarnya memiliki ukuran 60cm x 30cm sebagai pelindung sensor utama untuk meminimalkan kerusakan. Jarak dari sensor ke dasar kerangka luar adalah 30cm.

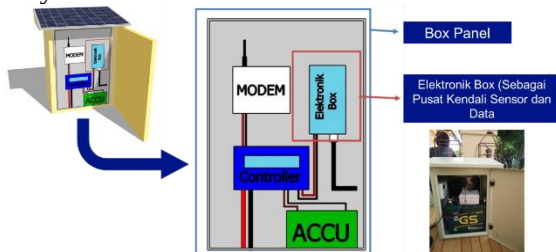


Gambar 7 Rangkaian elektronik instrumen pendeteksi gelombang permukaan laut

Komponen elektronik instrumen pendeteksi gelombang permukaan laut telah dirancang dengan dua buah fungsi utama, yaitu akuisisi sensor tekanan perairan dan pengiriman data ke database. ESP32 digunakan sebagai pusat kendali instrumen, sedangkan ESP8266 sebagai pusat kendali sensor dan data. Sensor yang digunakan yaitu MS5837, sensor ini digunakan sebagai sensor tekanan untuk mengetahui tinggi muka air. Spesifikasi sensor tekanan yang digunakan dapat dilihat pada lampiran 2. Data yang didapatkan akan dikirimkan melalui modem ke database. Seluruh rangkaian komponen elektronik yang telah dirancang dapat dilihat pada Gambar 7. Garis biru menunjukkan konstruksi instrumen bagian atas air yang terdiri dari ESP32, modem, *micro SD card*, akumulator 12V, dan *controller solar*

panel yang ditempatkan dalam kotak panel sedangkan solar panel ditempatkan di luar kotak panel agar tersinari oleh matahari untuk pengisian daya akumulator. Garis jingga menunjukkan konstruksi di bagian bawah air yang terdiri dari ESP8266 dan sensor MS5837 yang berada di dalam rangka sensor. Garis hijau menunjukkan *server* yang dituju untuk pengiriman data. ESP32 digunakan sebagai komponen utama yang terhubung dengan modem dan penyimpanan data dan terhubung dengan jaringan WiFi untuk mengirimkan data ke database.

Pemrograman rancang bangun dilakukan secara paralel, terdapat dua bagian pemrograman. Pertama pemrograman pada ESP32 yang bertugas sebagai akuisisi data sensor tekanan, menyimpan, dan mengirim data. Nilai kedalaman didapatkan melalui proses transmisi data dari ESP8266 ke ESP32 dengan menggunakan komunikasi serial. Kemudian ESP32 akan melakukan penyimpanan data ke micro sd card sebagai data backup yang selanjutnya data dikirimkan ke database melalui modem dengan menggunakan sinyal GSM.



Gambar 8 Kompartemen elektronik yang berada pada konstruksi bagian atas air

Gambar 8 merupakan kompartemen elektronik yang terdapat didalam kotak panel. Pada bagian ini terdiri dari ESP32 sebagai pusat kendali Instrumen yang terhubung dengan ESP8266 sebagai pusat kendali sensor dan data untuk melakukan akuisisi data dan micro sd card untuk penyimpanan data yang berada di dalam elektronik box, *controller* solar panel untuk mengatur pengisian daya dari solar panel, akumulator 12V sebagai sumber daya, dan modem untuk pengiriman data ke database. Sedangkan solar panel berada di luar kotak panel dan ditempatkan pada konstruksi yang lebih tinggi atau tidak terhalang kompartemen lain untuk memaksimalkan penangkapan

cahaya sebagai sumber pengisian daya akumulator.

Spesifikasi instrumen pendeteksi gelombang permukaan laut yang sudah berhasil dibuat dapat dilihat pada tabel 4. Terdapat dua mikrokontroler yang digunakan yaitu ESP32 dan ESP8266. Data direkam dengan interval waktu 15 detik per 15 data, kemudian alat akan masuk ke mode sleep selama 2 menit dan akan kembali melakukan perekaman data, begitu seterusnya. Instrumen ini dapat ditempatkan pada perairan dengan jenis air tawar, payau, dan laut. Parameter yang didapatkan yaitu nilai tekanan yang dikonversikan menjadi nilai kedalaman, karena nilai tekanan berbanding lurus dengan nilai kedalaman, dengan kedalaman maksimal yaitu 10 meter. Hal ini dikarenakan jenis komunikasi yang digunakan pada ESP32 dan ESP8266 adalah komunikasi serial sehingga hanya memungkinkan menggunakan kabel dengan panjang maksimal 10 meter. Apabila panjang kabel lebih dari 10 meter maka data yang didapatkan menjadi tidak akurat. Walaupun demikian, sensor yang digunakan memiliki kemampuan untuk mendeteksi kedalaman yang memiliki tekanan hingga 30 bar, sehingga instrumen ini bias saja ditempatkan pada perairan dengan kedalaman lebih dari 10 meter dengan mengganti jenis komunikasi yang digunakan antara ESP32 dan ESP8266. Sistem pengiriman data menggunakan sinyal GSM. Daya yang digunakan berasal dari akumulator 12 volt.

Tabel 3 Spesifikasi instrumen pendeteksi gelombang permukaan laut

Spesifikasi	Keterangan
1. Umum	
Circuit	2 chip mikrokontroler ESP32 dan ESP8266
Interval data	2 menit
Perairan	Air tawar, Laut, dan Payau
Parameter	Tekanan
Kedalaman maksimal	10 meter
Panjang kabel	10 meter
Media telemetri	Sinyal GSM
Power	Akumulator 12 volt 10 A
2. Rangka sensor	
Ukuran	Tinggi : 17 cm, dl : 7 cm, d2 : 5 cm, dd: 3.5 cm
Tebal HDPE	1.5 cm

Karet Oring	1 buah dl : 4.3 cm, dd : 4 cm 1 buah dl : 1.2 cm, dd : 1 cm 1 buah dl : 0.9 cm, dd : 0.7 cm
Berat	0.5 kg di udara
Bahan	HDPE (<i>Hight Density Polyethylene</i>) silinder padat
<i>Conector cable</i>	1 buah
3. Rangka luar	
Bahan	<i>Solid Stainless Steel</i>
Ukuran	Tinggi : 60 cm, lebar : 30 cm
Berat	2 kg di udara

Sensor tekanan yang digunakan memiliki resolusi mencapai 2 mm di dalam air dan response time hingga 0.5 ms. Suplai tegangan yang digunakan adalah 1.5V-3.6V. Maksimal kedalaman yang dapat dideteksi sensor ini adalah mencapai kedalaman dengan tekanan 30 bar. Sensor ini didesain tahan air dengan menggunakan prinsip tekanan yaitu semakin tinggi tekanan yang diterima sensor maka semakin tinggi nilai kedalamannya. Ketinggian atau kedalaman berbanding lurus dengan tekanan sehingga jika ketinggian atau kedalaman bernilai besar maka nilai tekanan akan menjadi besar pula, begitu juga sebaliknya.

4.2. Hasil Kinerja

Uji skala laboratorium yang pertama dilakukan adalah uji kedap. Uji kedap dimaksudkan untuk menguji kekedapan dari casing yang telah dibuat sehingga tidak terjadi kerusakan ataupun konsleting pada rangkaian elektronik didalamnya. Uji kedap dilakukan dengan cara menempatkan rangka sensor yang sudah dibuat ke dalam air untuk beberapa saat. Dengan pengujian kedap pada kedalaman 3 meter selama 2x24 jam, hasilnya tidak ditemukan tanda-tanda kebocoran pada *cassing* yang telah dibuat. Pada uji pengiriman data, instrumen dinyalakan, kemudian dilakukan pengecekan pada data yang dikirimkan ke database. Selanjutnya uji pengiriman data dilakukan untuk menguji ketepatan antara rangkaian elektronik dan program/algoritma yang sudah dibuat untuk pendeteksian gelombang permukaan laut sehingga sensor dapat mengirimkan data kedalaman air yang

kemudian nantinya akan dikonversikan menjadi data tinggi muka air. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengupload program yang sudah dibuat ke mikrokontroler yang sudah dirangkai dengan sensor dan telah dbiberi daya. Setelah dilakukan uji pengiriman data hasilnya didapatkan bahwa instrumen dapat merekam dan mengirimkan data ke database yang sudah disediakan.

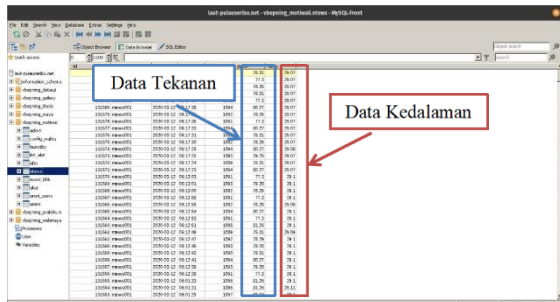
Uji lapang dilakukan di Perairan Pulau Pramuka. Instrumen disetting seperti yang terlihat pada Gambar 9. Alat diletakkan pada kedalaman kurang lebih 1 meter pada saat pasang. Bagian rangka luar akan terekspose pada saat surut namun hal ini tidak berpengaruh selama sensor masih berada di dalam air/terendam.



Gambar 9 Peletakan instrumen pendeteksi gelombang permukaan laut di perairan Pulau Pramuka

Peletakan instrumen pendeteksi gelombang permukaan laut memiliki beberapa syarat yang harus terpenuhi yaitu kedalaman perairan tidak lebih dari 10 m karena komunikasi yang digunakan antara ESP32 dan ESP8266 adalah komunikasi serial sehingga hanya memungkinkan menggunakan kabel dengan panjang maksimal 10 m karena jika lebih dari 10 m maka akan berpengaruh pada data sehingga data menjadi tidak akurat, peletakan kotak Panel di daerah yang memiliki sinyal GSM serta panel surya yang tersinari cukup. Jika diperlukan, perlu dibuat bangunan sebagai tempat kotak panel dan solar panel. Selain itu beberapa hal lain yang harus diperhatikan dalam penempatan instrumen pendeteksi gelombang permukaan laut yaitu pastikan sensor tertanam kuat pada dasar sehingga tidak goyang / bergerak akibat terkena gelombang yang akan sangat berpengaruh terhadap konsistensi data dan juga pastikan sensor tidak mudah tertimbun substrat atau sedimen lainnya yang juga akan mempengaruhi kualitas dan daya tahan sensor. Untuk itu alat yang dipasang dengan rangka luar sebagai tempat melekatnya

rangka sensor, pelindung rangka sensor, dan juga sebagai pemberat. Selain menggunakan pemberat, alat ini juga dipasang di dasar perairan sehingga lebih kokoh. Akurasi sensor yang digunakan adalah 2 mm.



The screenshot shows a MySQL database interface with a table containing two main sections: 'Data Tekanan' (Pressure Data) and 'Data Kedalaman' (Depth Data). The 'Data Tekanan' section includes columns for 'id', 'id_alat', 'tanggal', 'waktu', 'press', and 'temp'. The 'Data Kedalaman' section includes columns for 'id', 'id_alat', 'tanggal', 'waktu', 'depth', and 'temp'. The data is organized into rows, with each row representing a single measurement at a specific time and location.

Gambar 10 Tabel nilai tekanan dan kedalaman pada database server

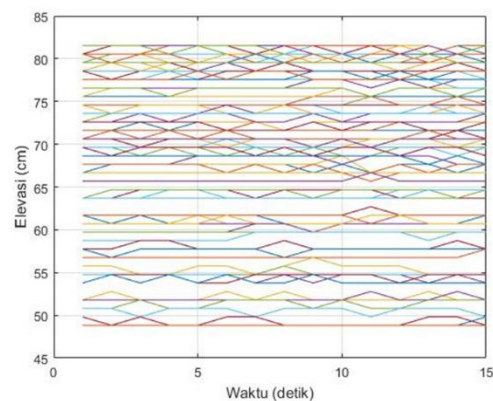
Data ditransmisikan dengan menggunakan jaringan GSM dan kemudian disimpan pada database server. Gambar 10 merupakan tampilan dari MySQL Front menunjukkan data yang berhasil ditransmisikan ke database server. Gambar tersebut menampilkan tabel yang menyimpan data tekanan yang diterima sensor dan data nilai kedalaman. Instrumen ini memiliki format data untuk bisa terintegrasi dengan tabel pada database. Format data yang ditunjukkan pada tabel 4 yang terdiri atas id, id_alat, tanggal, waktu, *press*, *depth*, dan *temp*.

Tabel 4 Format data pada tabel database server

No.	Nama kolom	Tipe data	Keterangan/fungsi
1	id	<i>bigint</i>	Nomor urut data
2	id_alat	<i>varchar</i>	Identitas alat
3	tanggal	<i>date</i>	Menunjukkan tanggal perekaman data
4	waktu	<i>time</i>	Menunjukkan waktu perekaman data
5	<i>press</i>	<i>int</i>	Menampilkan nilai tekanan yang diterima sensor
6	<i>depth</i>	<i>float</i>	Menampilkan nilai kedalaman
7	<i>temp</i>	<i>float</i>	Menampilkan nilai suhu

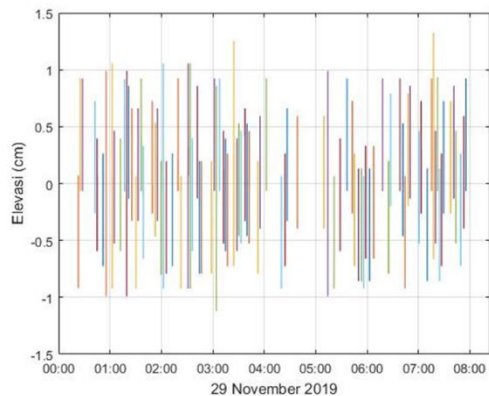
Hasil data uji lapang menunjukkan bahwa instrumen pendeteksi gelombang permukaan laut dapat merekam data tinggi muka air dan membentuk grafik tinggi muka air dengan baik. Instrumen ini merekam data tinggi muka air dan mengirim data ke database. Data direkam dengan interval waktu 15 detik per 15 data atau

1 data/detik, kemudian alat akan masuk ke mode *sleep* selama 2 menit dan akan kembali melakukan perekaman data, begitu seterusnya. Gambar 11 adalah contoh data hasil perekaman alat di perairan Pulau Pramuka secara timeseries. Data yang ditampilkan merupakan tinggi muka air per-series selama 100 series. Gambar tersebut menunjukkan bahwa tinggi muka air yang dihasilkan berkisar antara 45-85 cm.



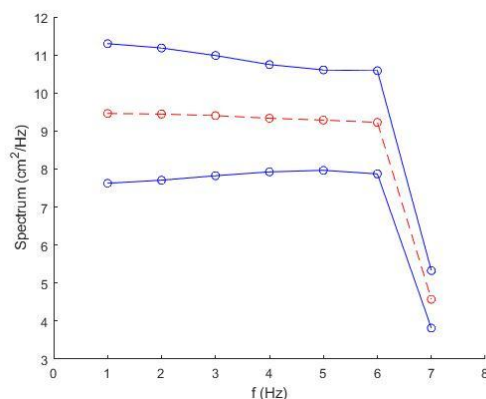
Gambar 11 Data tinggi muka air per-series berdasarkan burst length

Data setiap *burst length* tersebut kemudian dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai fluktuasi tinggi gelombang berdasarkan waktu pengukuran yang ditampilkan pada Gambar 12. Kode program pengolahan data data dilihat pada Lampiran 3. Berdasarkan Gambar tersebut, dari data yang didapat dan hasil analisa dapat kita lihat bahwa tinggi maksimum gelombang yang teramati dalam periode waktu tersebut sebesar 1.32 cm. Berdasarkan grafik tersebut pula, dapat dijelaskan bahwa gelombang yang terjadi dipermukaan laut tidak sederhana gelombang sinusoidal. Hal ini dikarenakan, gelombang permukaan yang diperoleh merupakan gabungan dari gelombang acak yang bervariasi berdasarkan panjang gelombang dan periodenya. Tinggi gelombang Kepulauan Seribu pada saat pengamatan dipengaruhi oleh instrumen yang diletakkan di area yang telah terlindungi oleh *breakwater*. [20] menjelaskan bahwa Pemecah gelombang (*breakwater*) adalah bangunan yang digunakan untuk melindungi daerah perairan dari gangguan gelombang.



Gambar 12 Fluktuasi tinggi gelombang di perairan Pramuka

Spektrum dihasilkan dari pengolahan FFT seperti yang terlihat pada Gambar 13. Gambar 13 menunjukan bahwa selama 100 *burst length* frekuensi gelombang yang dihasilkan yaitu berada pada interval 1-6 Hz, dengan energi yang praktis sama pada setiap frekuensinya, kecuali pada $f=7$ Hz. Berdasarkan [21], nilai periode yang dihasilkan menunjukkan bahwa gelombang yang terjadi di kepulauan Seribu dipengaruhi oleh angin. Nilai periode tersebut selanjutnya dikelompokkan berdasarkan gelombang pembangkitkannya yang dilihat dari periode gelombang tersebut. Periode 1-7 detik dikelompokkan menjadi gelombang angin berdasarkan pembagian kelompok yang ditunjukan pada Tabel 5 dikarenakan masih termasuk kedalam gelombang dengan periode antara 10-15 detik.



Gambar 13 Spektrum energy hasil analisis data. Garis merah putus-putus menunjukkan nilai rata-rata, sementara 2 garis biru bersambung menunjukkan nilai maksimum dan minimum dengan simpangan baku.

Tabel 5 Klasifikasi tipe gelombang berdasarkan periode

Tipe Gelombang	Periode
Gelombang Kapiler	$<10^{-1}$ detik
Gelombang Angin	<15 detik
Alun	<30 detik
Surf beat	1-5 menit
Sieche	10-2 jam
Pasang Surut	12-24 jam

Sumber : modifikasi Tirozzi et al (2007) [21]

Spektrum gelombang permukaan akan mendistribusikan periode dan akan mendistribusikan gelombang permukaan yang terukur menjadi energi gelombang yang berbeda berdasarkan frekuensi ataupun periode dari panjang gelombang seperti yang diperlihatkan Gambar 13. [22] menyebutkan bahwa spektrum akan memberikan distribusi energi gelombang berdasarkan frekuensi gelombang dari panjang gelombang yang ada dipermukaan laut.

5. KESIMPULAN

Pembuatan rancang bangun instrumen pendeteksi gelombang permukaan laut untuk pendeteksian gelombang laut ekstrem telah berhasil dilakukan dan mampu bekerja dengan baik. Instrumen memiliki tinggi 60 cm dan lebar 30 cm dengan kerangka. Uji lapang telah dilaksanakan di Pulau Pramuka Kepulauan Seribu dan data berhasil ditransmisikan dalam bentuk grafik tinggi muka air dengan baik. Data yang telah dianalisis menunjukkan bahwa tinggi maksimum gelombang yang teramati adalah sebesar 1.32 cm dan selama 100 frekuensi gelombang yang dihasilkan yaitu berkisar 1-7 Hz dengan energi gelombang yang relatif sama pada frekuensi 1-6 Hz.

Penambahan panjang kabel dan penggantian jenis komunikasi yang digunakan antara ESP32 dan ESP8266 akan sangat baik dilakukan pada penelitian selanjutnya, hal ini dimaksudkan agar instrumen dapat ditempatkan pada perairan yang lebih dalam dan lebih bervariasi lokasi penempatannya. Untuk pengukuran dan pemantauan aktual gelombang permukaan durasi pengambilan data disarankan minimal 1 menit dengan frekuensi pengambilan 1 Hz. Uji sensitifitas sensor tekanan juga perlu dilakukan pada tahapan uji laboratorium untuk

memastikan kinerja sensor yang akan digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. Sri Suharyo, "Rancang Bangun Alat Pengukur Gelombang Permukaan Laut Presisi Tinggi (A PROTOTYPE DESIGN)", ATCSJ, vol. 1, no. 1, pp. 18–29, Oct. 2018.
- [2] Satria Gunawan Zain and Wanda Rahmawati, "Wireless Monitoring Ketinggian Gelombang Laut Berbasis Sensor Inersial Measurement Unit", *J. of Embedded Systems, secur. and intell. Systems*, vol. 1, no. 1, pp. 33–40, May 2020.
- [3] S. Tyrberg, O. Svensson, V. Kurupath, J. Engstrom, E. Stromstedt and M. Leijon, "Wave Buoy and Translator Motions—On-Site Measurements and Simulations," in *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 36, no. 3, pp. 377–385, July 2011.
- [4] E. Munandar, I. Jaya, dan A. S. Atmadipoera, "Rancang Bangun Dan Uji Kinerja Wave Buoy Sebagai Alat Pengukur Tinggi Gelombang Pesisir", *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, vol. 10, no. 1, pp. 1–14, Apr. 2018, doi: 10.29244/jitkt.v10i1.21664.
- [5] K. H. Christensen, J. Röhrs, B. Ward, I. Fer, G. Broström, Ø. Sætra, Ø. Breivik, "Surface wave measurements using a ship-mounted ultrasonic altimeter", *Methods in Oceanography*, vol. 6, pp. 1–15, 2013.
- [6] R. Hartono, M. A. Murti, and I. linursafa, "Sistem Pemantauan Ketinggian Gelombang Dan Ketinggian Permukaan Air Laut Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan LPWAN LoRa", *SNISTEK*, vol. 4, pp. 157–163, Jan. 2022.
- [7] J. Li, A. Saulter A, "Assessment of The Updated Envisat ASAR Ocean Surface Wave Spectra with Buoy and Altimeter Data", *Remote Sensing of Environment*, vol. 126, pp. 72–83, 2012.
- [8] A. Bouferrouk, J. Saulnier, G. H. Smith, L. Johannig, "Field measurements of surface waves using a 5-beam ADCP", *Ocean Engineering*, vol. 112, pp.173–184, 2016.
- [9] C. Mulyabakti, J. D. Mamoto, M. I. Jasin, "Analisis karakteristik gelombang dan pasang surut pada daerah pantai PAAL kecamatan Likupang Timur kabupaten Minahasa Utara", *Jurnal Sipil Statik*, vol. 4, no. 9, pp. 585–594, 2016.
- [10] L. H. Holthuijsen, "Waves In Oceanic And Coastal Waters", Cambridge University Press, Cambridge CB2 8RU, UK, 405p, 2007.
- [11] A. T. Nugroho, "Rancang bangun dan uji lapang peraut (profilor) suhu dan salinitas dengan sistem telemetri", Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2018.
- [12] D. F. Arrafi, "Pemanfaatan Telemetri Untuk Sistem Pengendali Suhu Pada Kumbung Jamur Berbasis Lora", *JITET*, vol. 13, no. 1, Jan. 2025.
- [13] D. Dasril, H. Indou, and R. Suppa, "Prototype Alat Pendeteksi Banjir Menggunakan Arduino Berbasis Iot", *JITET*, vol. 12, no. 3, Aug. 2024.
- [14] F. T. Kirana, and S. Suryono, "Rancang Bangun Sistem monitoring Kadar Salinitas Air Menggunakan Wireless Sensor Systems (WSS)," *Youngster Physics Journal*, vol. 5, no. 4, pp. 227–234, Oct. 2016.
- [15] D. Dasril, H. Indou, and R. Suppa, "Prototype Alat Pendeteksi Banjir Menggunakan Arduino Berbasis Iot", *JITET*, vol. 12, no. 3, Aug. 2024.
- [16] J. Manurung, M. Alagusri, "Sistem Keamanan Sepeda Motor Berbasis Gps Dan Android", *Sigma Teknika*, vo. 2, no.2, pp. 242–249, 2019.
- [17] D. Arief, "Metoda fast fourier transform dalam Analisa", *J Oseana*, vol. 17, no. 2, pp. 61–67, 1992.
- [18] J. S. Bendat, A.G. Piersol, "Random data analysis and measurement procedure", John Wiley and Sons Inc. New York, 366p, 1971.
- [19] M. C. Wattimena, A.S. Atmadipoera, M. Purba, A.K. Larrouy, "Variabilitas intra-musiman arus dekat-dasar di laut Halmahera", *J Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, vol. 6, no. 2, pp. 267–281, 2014.
- [20] M. K. Manansang, L. A. Hendratta, A. K. T. Dundu, "Analisis Pengaruh Breakwater Terhadap Transpor Sedimen Pantai Sindulang 1 Sampai Tumumpa 2" *Jurnal Sipil Statik*, vol. 6, no. 2, pp. 113–124, 2018.
- [21] B. Tirozzi, S. Puca, S. Pittalis, A. Bruschi, S. Morucci, E. Ferraro, S. Corsini, "Neural networks and sea time series: reconstruction and extreme-event analysis", *Springer Science & Business Media*, 2007.
- [22] R. H. Stewart RH, "Introduction to physical oceanography", Texas A & M University, 2002.