

Portable Tidal Monitoring System for Coastal Observation in North Sulawesi

(Perancangan Sistem Monitoring Pasang Surut Portabel untuk Peningkatan Data Observasi BMKG di Pesisir Sulawesi Utara)

Christian Mala^{1*}, Alfet Luasunaung², Patrice Kalangi², Robert Bara², Rosita Lintang², Stephanus Mandagi², Deiske A. Sumilat², Intan Pangerti³

1. Program Studi Ilmu Perairan, Pascasarjana, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Sulawesi Utara
2. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Sulawesi Utara
3. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

*Penulis Korespondensi: zevanoojr@gmail.com

ABSTRACT

Tidal data play a critical role in supporting maritime weather forecasting and providing disaster-related information, such as early warnings for tidal flooding. However, the limited distribution of tide gauge instruments across Indonesia remains a significant challenge in obtaining comprehensive data. This study aims to design and implement a portable tidal measurement device as an alternative solution to enhance data availability. The system is developed to monitor sea level heights in the operational area of the Bitung Maritime Meteorological Station, North Sulawesi, utilizing a JSN-SR04T ultrasonic sensor as the primary measurement instrument. The collected data are transmitted wirelessly using an ESP8266 NodeMCU module connected to the internet via a modem, subsequently stored in a database, and displayed through an Internet of Things (IoT)-based user interface. The device calibration was conducted by comparing the prototype's measurements with those obtained from the standard Automatic Weather Station (AWS) at Bitung Maritime Station. Performance testing was carried out at Manado Port from October 5, 2022 to October 7, 2022. The observational data were validated using the Root Mean Square Error (RMSE) method to evaluate measurement accuracy. Validation results indicate that the closer the RMSE value approaches zero, the higher the accuracy of the data produced.

Keywords: tidal monitoring, internet of things, ultrasonic sensor

ABSTRAK

Data pasang surut laut merupakan komponen krusial dalam mendukung prediksi cuaca maritim serta penyediaan informasi kebencanaan, seperti peringatan dini banjir rob. Namun demikian, keterbatasan distribusi alat pengamatan pasang surut di Indonesia masih menjadi kendala dalam memperoleh data yang komprehensif. Penelitian ini merancang dan mengimplementasikan perangkat pengukur pasang surut portabel sebagai solusi alternatif untuk meningkatkan ketersediaan data. Sistem dirancang untuk memantau ketinggian muka air laut di wilayah Stasiun Meteorologi Maritim Bitung, Sulawesi Utara, dengan memanfaatkan sensor ultrasonik JSN-SR04T sebagai alat ukur utama. Data hasil pengukuran dikirim secara nirkabel menggunakan modul ESP8266 NodeMCU yang terhubung ke jaringan internet melalui modem, kemudian disimpan dalam basis data dan ditampilkan melalui antarmuka berbasis Internet of Things (IoT). Kalibrasi perangkat dilakukan dengan metode komparatif terhadap alat standar Automatic Weather Station (AWS) Maritim Bitung. Uji performa perangkat dilaksanakan di Pelabuhan Manado selama 5 Oktober hingga 7 Oktober 2022. Data hasil pengamatan divalidasi menggunakan metode Root Mean Square Error (RMSE) untuk mengukur tingkat akurasi. Hasil validasi menunjukkan bahwa semakin mendekati nilai nol pada RMSE, maka tingkat akurasi data semakin tinggi.

Kata kunci: pasang surut laut, internet of things, sensor ultrasonic

PENDAHULUAN

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) berperan penting dalam menyediakan informasi meteorologi maritim, termasuk peringatan dini gelombang tinggi, banjir pesisir, dan prakiraan cuaca pelabuhan (WMO, 2014). Sebagai negara maritim, Indonesia memiliki risiko tinggi terhadap bencana hidrometeorologis, seperti banjir pasang, akibat pergerakan bulan atau cuaca ekstrem. Data pasang surut sangat diperlukan untuk mendukung peringatan dini bencana serta kegiatan perikanan dan pelayaran (Andrea, 2020). Namun, distribusi alat pengamatan pasang surut di Indonesia masih terbatas, dan umumnya hanya dipasang di pelabuhan yang terlindung gelombang, sehingga tidak mewakili kondisi di area pesisir (Lambert, 2020).

Hal ini diperparah oleh kurangnya validasi data observasi dengan sistem pemodelan numerik global, yang menyebabkan ketidaktepatan dalam validasi prakiraan (Setiawan, 2022). Selain itu keterbatasan infrastruktur pengamatan di daerah terpencil menghambat deteksi dini perubahan pasang surut yang dapat berdampak pada kegiatan ekonomi pesisir (Nurhadi, 2023).

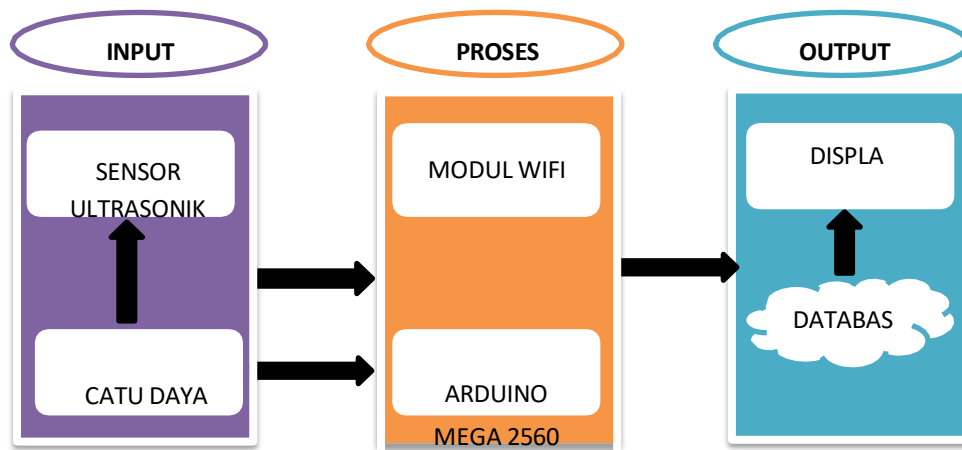
Sebagai solusi, diperlukan pengembangan alat pengukur pasang surut portabel yang mampu menyediakan data secara real-time dan dapat ditempatkan di berbagai lokasi strategis. Penelitian ini merancang alat pasang surut portabel berbasis sensor ultrasonik JSN-SR04T, dengan modul ESP8266 NodeMCU untuk pengiriman data nirkabel melalui internet. Data disimpan dalam

database dan ditampilkan pada antarmuka Internet of Things (IoT). Alat ini diharapkan mendukung verifikasi prakiraan cuaca maritim di wilayah pelayanan Stasiun Meteorologi Maritim Bitung serta meningkatkan efektivitas peringatan dini banjir pasang.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian dan pengembangan. Pada awal, peneliti mengidentifikasi dan merumuskan permasalahan yang akan diteliti. Selanjutnya, dilakukan peninjauan Pustaka dan sejumlah jurnal maupun hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian ini. Pada tahap berikut, peneliti merancang system yang mencakup perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software), lalu mengintegrasikan seluruh komponen tersebut menjadi satu sistem yang saling terhubung (Hendri *et al.*, 2023).

Diagram blok berfungsi sebagai ilustrasi dari rancangan sistem pemantauan tinggi permukaan air laut beserta perangkat komunikasinya, sehingga alur kerja rangkian system dapat dipahami. Pada gambar 1, ditampilkan diagram blok sistem secara umum, yang mencakup bagian input, proses, dan output. Pengujian dilakukan langsung di lokasi penelitian. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan dan memverifikasi kehandalan atau kesesuaian untuk dioperasikan secara terus menerus dengan jangka waktu yang lama. Rencana pengujian alat dilakukan di pelabuhan Manado. Verifikasi data dilakukan menggunakan metode *Root Mean Square*.



Gambar 1. Blok diagram

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$$

$\hat{y}_i$ = nilai observasi

y_i = nilai prediksi

n = jumlah observasi

Kalibrasi Sensor

Kalibrasi sensor dilakukan di Dermaga Navigasi Bitung alat standart komparasi yaitu sensor Water level pada AWS Maritim Bitung rentang pengukuran

hingga 5 meter. Sedangkan sensor ultrasonic pada alat portable memiliki rentang 4,5 meter. Data pengukuran diambil sebanyak enam kali pembacaan seperti pada Tabel 1.

Hasil komparasi sensor ultrasonik pada Tabel 1 menunjukkan bahwa pengukuran menghasilkan rata-rata nilai koreksi sebesar -4,33 cm dan standar deviasi 0,52. Nilai koreksi tersebut kemudian dimasukkan ke pemrograman system.

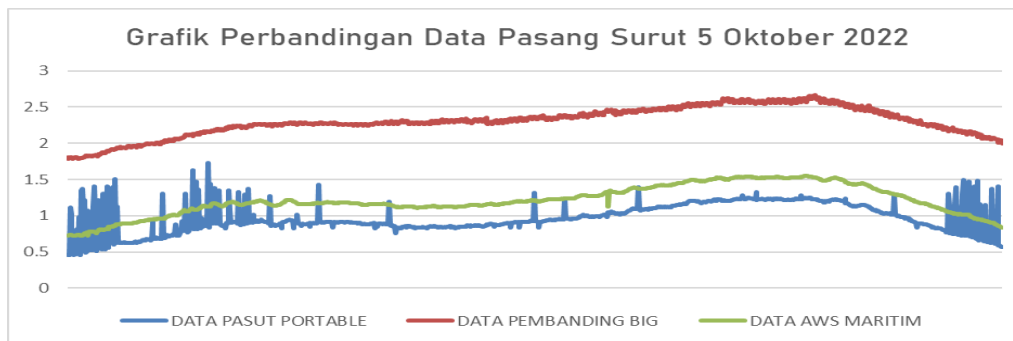
Tabel 1. Hasil kalibrasi sensor *water level* alat pasang surut *portable*

Pembacaan ke-	Alat standar (cm)	Alat pasang surut portable (cm)	Koreksi (cm)
1	287	292	-5
2	251	255	-4
3	258	262	-4
4	255	260	-5
5	252	256	-4
6	263	267	-4
Rata – rata nilai koreksi			-4,33
Standar deviasi			0,52

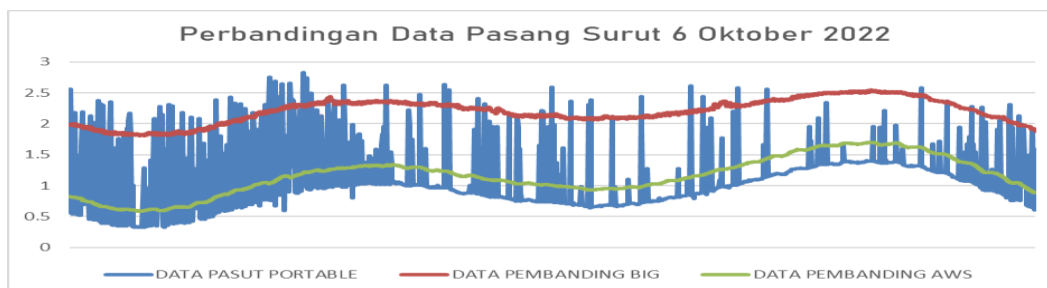
HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji lapangan dilaksanakan pada 05 Oktober hingga 07 Oktober di Pelabuhan Bitung. Data yang digunakan adalah data tiap menit selama 24 jam yang masing-masing terbagi menjadi 3 (tiga) grafik. Khusus untuk tanggal 5 Oktober 2022, data yang digunakan dari jam 02.00 UTC yang merupakan data awal setelah dilakuan

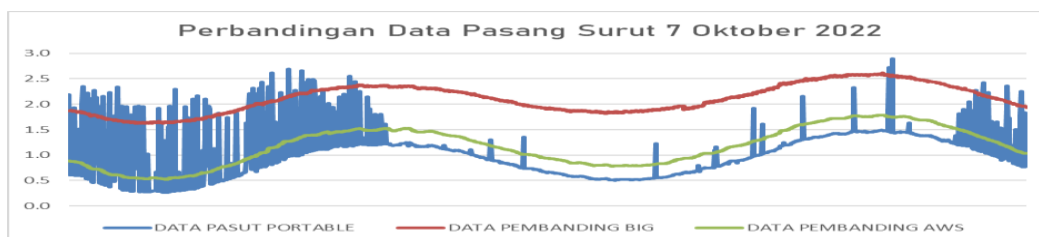
pengujian kembali. Selanjutnya data ini akan dilakukan komparasi dengan data observasi pasang surut dari 2 (dua) lokasi yaitu AWS Maritim Bitung dan alat pasang surut BIG di Pelabuhan Samudera Bitung. Penggunaan dua data verifikator dari lokasi yang berbeda ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana perbedaan data yang dihasilkan oleh alat pasang surut *portable*.



Gambar 2. Grafik perbandingan data pasang surut tanggal 5 Oktober 2022



Gambar 3. Grafik perbandingan data pasang surut tanggal 6 Oktober 2022



Gambar 4. Grafik perbandingan data pasang surut tanggal 7 Oktober 2022

Secara umum, data yang dihasilkan alat pasang surut portabel mampu merepresentasikan pola pasang surut yang serupa dengan data AWS Maritim Bitung dan alat pasang surut BIG. Hal ini terlihat pada grafik data tanggal 5–7 Oktober yang menunjukkan tipe pasang surut campuran condong harian ganda sesuai (Hasanuddin *et al.*, 2016) dengan dua kali pasang dan dua kali surut per hari. Namun, data alat portabel cenderung lebih rendah dibandingkan alat BIG, akibat perbedaan lokasi pemasangan alat portabel ditempatkan di samping AWS Maritim Bitung, sedangkan alat BIG berada di Pelabuhan Samudera Bitung ± 5 km dari lokasi alat portable. Perbedaan nilai juga disebabkan oleh perbedaan ketinggian pemasangan sensor water level, di mana sensor alat portabel terpasang 30 cm lebih tinggi dibandingkan sensor AWS Maritim. Penempatan ini mengikuti desain terbaru alat portabel yang menggunakan ruang sensor untuk meningkatkan stabilitas dan melindungi sensor dari gangguan.

Berdasarkan analisis tiga hari data, alat pasang surut BIG mencatat surut terendah 1,62 meter (7 Oktober 2022, 02.00 UTC) dan pasang tertinggi 2,67 meter (5 Oktober 2022, 20.00 UTC). AWS Maritim Bitung mencatat surut terendah 0,53 meter (7 Oktober 2022, 02.00 UTC) dan pasang tertinggi 1,70 meter (6 Oktober 2022, 20.00 UTC). Sementara itu, alat pasang surut portabel mencatat surut terendah 0,26 meter (7 Oktober 2022, 02.45 UTC) dan pasang tertinggi 2,83 meter (6 Oktober 2022, 06.38 UTC). Nilai tertinggi pada alat portabel diduga merupakan noise, terlihat pada grafik dengan pola anomali sekitar 2 meter. Hal ini menunjukkan perlunya pengembangan algoritma filtering untuk mengurangi pencatatan noise pada alat.

Tingkat error alat pasang surut portabel diukur menggunakan RMSE. Dibandingkan dengan data AWS Maritim Bitung, alat ini menghasilkan RMSE 0,36, (Pangerti *et al.*, 2021). Sementara itu, dibandingkan data BIG, RMSE tercatat 0,55, dipengaruhi oleh perbedaan lokasi alat. Ke depan, verifikasi disarankan dilakukan di lokasi yang sama atau lebih dekat untuk meningkatkan akurasi.

KESIMPULAN

Alat pasang surut portable telah berhasil dirancang dan diuji dengan pengukuran tinggi muka air menggunakan sensor ultrasonik JSN-SR04T dan komunikasi data melalui modul WiFi ESP8266. Data dikirim secara real-time ke database dan ditampilkan melalui platform Thinger.io, yang dapat diakses publik melalui bit.ly/MonitoringPasut_BMKG Bitung. Pengembangan alat meliputi penggunaan mikrokontroler Arduino Mega, desain tiang portable, dan sistem catu daya yang lebih optimal. Kalibrasi dengan alat standar AWS Maritim Bitung menghasilkan koreksi sebesar -4,33 cm. Pengujian menunjukkan alat mampu merekam pola pasang surut yang sesuai dengan data AWS Maritim dan BIG, dengan nilai error sebesar 0,36 terhadap AWS Maritim dan 0,55 terhadap BIG.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrea, R.M. 2020. Strategi Adaptasi Non-struktural dalam Menghadapi Banjir Pasang: *Strategi Pertahanan Laut*, No.1, 29-41.
- Hendri, 2023. Tool for Monitoring Ammonia Levels and Controlling pH at IoT-Based Catfish Pond. *BRILIANT: Jurnal Riset dan Konseptual*, 8(1), 272-280.
- Hasanuddin, M. 2016. Amplifikasi Pasang Surut dan Dampaknya Terhadap

- Perairan Pesisir Probolinggo. *OLDI (Oseanologi dan Limnologi di Indonesia)*, 1(3), 69-80.
- Khatimah, I. Jaya. 2016. Pengembangan Perangkat Lunak Antar-Muka Instrumen MOTIWALI (Tide Gauge) untuk Analisis Data Pasang Surut : *Jurnal Kelautan Nasional*, 11, 97-104.
- Lambert, E. 2020. Adaptation Time to Magnified Flood Hazards Underestimated when Drived from Tide Gauge Records: *Enviromental Research Letters*, 15, 074015.
- Munir, M. 2015. Web-based Surface Level Measuring System Employing Ultrasonic Sensors and GSM/GPRS-based Communication: *Applied Mechanics and Materials*, 771, 92-95.
- Nugroho, A.P., Simarmata, N., Adil, I. 2019. Pembangunan Sistem Pengukuran Muka Air Otomatis (*Automatic Water Level Recorder*) Berbasis Gelombang Akustik untuk Pengamatan Pasang Surut Laut: *Reka Geomatika* 2019(1), 1–9.
- Nurhadi,D., Gunarto, D., Umar, U. 2021. Study of Tidal Influence on Flooding in Kecamatan Selakau. *Jurnal Teknik Sipil*, 23(1), 37-45.
- Pangerti. 2021. Verifikasi Data Pengamatan Alat Pasang Surut Portable dengan Sensor Water Level Automatic Weather Station (AWS) Maritim di Perairan Bitung,Sulawesi Utara. *Prosiding WIN-ID*, 1, 83–89.
- Setiawan, A. 2022. Coastal Tides Measurement in Indonesia Using GNSS-Reflectometry. *Regional Studies in Marine Science*, 56(3), 102694.
- World Meteorological Organization. 2014. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, WMO No.8, Jenewa, Swiss.