

**PENGUKURAN GELOMBANG AIR LAUT MENGGUNAKAN
ACCELEROMETER PADA PSoC UNTUK DETEKSI
PARAMETER TSUNAMI**

SKRIPSI

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T).



Disusun oleh:

DWI WAHYUDI

3332150071

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA**

2022


LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Pengukuran Gelombang Air Laut Menggunakan
Accelerometer Pada Psoc Untuk Deteksi Parameter
Tsunami
Nama Mahasiswa : Dwi Wahyudi
NPM : 3332150071
Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 30 Agustus 2022



Dwi Wahyudi
3332150071

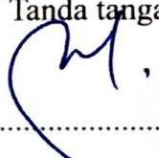


LEMBAR PENGESAHAN

Dengan ini ditetapkan bahwa Skripsi berikut

Judul : Pengukuran Gelombang Air Laut Menggunakan
Accelerometer Pada Psoc Untuk Deteksi Parameter Tsunami
Nama Mahasiswa : Dwi Wahyudi
NPM : 3332150071
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro

Telah diuji dan dipertahankan pada tanggal 8 September 2022 melalui Sidang Skripsi di Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon dan dinyatakan LULUS.

Dewan Penguji

		Tanda tangan
Pembimbing I	: Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M.Eng.	
Penguji I	: Imamul Muttakin, S.T., M.Eng.	
Penguji II	: Ceri Ahendyarti, S.T., M.Eng.	

Mengetahui
Ketua Jurusan



Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M.Eng.
NIP. 198307032009121006

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala, yang telah memberikan nikmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengukuran Gelombang Air Laut Menggunakan Accelerometer Pada Psoc Untuk Deteksi Parameter Tsunami”**. Shalawat serta salam semoga tercurah kepada baginda Nabi Muhammad Shallallahu Alaihi Wasallam. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) di Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penyusunan skripsi ini berbagai bantuan telah banyak penulis terima baik materil dan moril, oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan berupa kritik, saran dan finansial selama skripsi ini.
2. Bapak Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan bimbingan, masukan serta arahan kepada penulis selama skripsi ini.
3. Bapak Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
4. Teman-teman yang telah memberikan dukungan berupa kritik dan saran selama skripsi ini.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan dan kesalahan. Sehingga penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun. Semoga skripsi ini dapat membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Cilegon, 30 Agustus 2022



Penulis

ABSTRAK

Dwi Wahyudi

Teknik Elektro

Pengukuran Gelombang Air Laut Menggunakan *Accelerometer* Pada PSoC Untuk Deteksi Parameter Tsunami

Tsunami sudah beberapa kali terjadi di Indonesia, namun alat untuk mendeteksi tsunami masih kurang dikarenakan banyak alat yang hilang dan rusak. Salah satu solusi masalah ini dengan menggunakan *wave buoy* untuk pengukur tinggi dan perioda gelombang. Skripsi ini bertujuan untuk membuat *wave buoy* menggunakan IMU dan Madgwick *filter* untuk mendapatkan nilai perpindahan dan algoritma *zero crossing detection* untuk mendeteksi parameter gelombang. Penelitian ini menggunakan sensor MPU9250, mikrokontroler Arduino Mega dan kartu memori. Pengujian dilakukan dengan menggerakkan sensor dengan gerakan gelombang menggunakan tangan. Hasil pengujian didapatkan berhasil mendeteksi parameter gelombang dengan nilai RMSE untuk tinggi gelombang sebesar 29,32%.

Kata kunci: MPU9250, Arduino Mega 2560, Madgwick *Filter*, *Trapezoidal Rule*, posisi linear.

ABSTRACT

Dwi Wahyudi

Electrical Engineering

Measurement of Sea Waves Using Accelerometer On PsoC For Tsunami
Parameter Detection

Tsunami have occurred several times in Indonesia, but device for detect the tsunami is still less because a lot of devices are lost and damaged. One of the solutions is wave buoy that measure wave height and period. The purpose of this research is to make wave buoy using IMU and madgwick filter to find the displacement value and zero crossing detection algorithm to detect wave parameter. This research use IMU, microcontroller Arduino Mega and memory card. Testing is done with move the sensor by imitating wave movement with hand. Test successfully detect wave parameter with RMSE is 29,32%.

Keywords:

MPU9250, Arduino Mega 2560, Madgwick Filter, Trapezoidal Rule, Linear Position.

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PRAKATA	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II	6
2.1 Gelombang Laut	6
2.2 Pergerakan Buoy.....	8
2.3 Sensor IMU.....	8
2.3.1 <i>Accelerometer</i>	9
2.3.2 <i>Gyroscope</i>	10
2.3.3 <i>Magnetometer</i>	12
2.4 Orientasi.....	14
2.4.1 <i>Reference Frame</i>	14
2.4.2 Quaternion	14
2.5 Madgwick <i>Filter</i>	15
2.6 Integral	17
2.7 Kajian Pustaka	18
BAB III	20
3.1 Metode Penelitian	20
3.2 Instrumentasi Penelitian.....	21
3.2.1 Perangkat Keras.....	21
3.2.2 Perangkat Lunak.....	24
3.3 Akuisisi Data Sensor.....	25
3.4 Perancangan Madgwick Filter	25
3.5 Perhitungan Posisi dan Orientasi	26
3.5.1 Konversi Percepatan Menjadi Referensi Bumi	27
3.5.2 Konversi Percepatan Menjadi Perpindahan	27
3.6 Perhitungan Gelombang Laut	28
3.6.1 Tinggi Gelombang.....	28
3.6.2 Periode Gelombang.....	28
BAB IV	29
4.1 Hasil Kalibrasi	30
4.2 Pengukuran Statis	33

4.3 Pengujian Orientasi.....	34
4.4 Pengujian Perpindahan	40
4.5 Pengujian Deteksi Parameter Gelombang	44
BAB V.....	49
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN.....	56
LAMPIRAN A Foto Alat.....	A-1
LAMPIRAN B Perbandingan PSoC dan Arduino	B-1
LAMPIRAN C <i>Listing Program</i> Arduino	C-1
LAMPIRAN D <i>Listing Program</i> Matlab	D-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Karakteristik Gelombang	6
Gambar 2.2 Pergerakan Orbital Gelombang Laut	7
Gambar 2.3 Pergerakan Orbital <i>Wave Buoy</i>	8
Gambar 2.4 Mekanikal MEMS <i>Accelerometer</i>	9
Gambar 2.5 Percepatan <i>Coriolis Effect</i>	11
Gambar 2.6 Mekanikal MEMS <i>Gyroscope</i>	11
Gambar 2.7 <i>Hall-effect Magnetic Sensor</i>	13
Gambar 3.1 Diagram Alir Sistem	21
Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem Perangkat Keras	22
Gambar 3.3 Diagram Blok Sistem	25
Gambar 3.4 Diagram Blok Perhitungan Posisi	26
Gambar 4.1 Contoh Data Keluaran Arduino.....	29
Gambar 4.2 Pengujian Kalibrasi <i>Accelerometer</i>	30
Gambar 4.3 Pengujian Kalibrasi <i>Gyroscope</i>	30
Gambar 4.4 <i>Magnetometer</i> Sebelum Kalibrasi XY, XZ dan YZ.....	31
Gambar 4.5 <i>Magnetometer</i> Sesudah Kalibrasi XY, XZ dan YZ	32
Gambar 4.6 Kalibrasi <i>Magnetometer Uncalibrated</i> dan <i>Calibrated</i>	32
Gambar 4.7 Data Statis	33
Gambar 4.8 Data Statis <i>Accelerometer</i>	34
Gambar 4.9 Orientasi <i>Roll</i> 90^0 dan -90^0	35
Gambar 4.10 Data Pengujian Orientasi <i>Roll</i>	35
Gambar 4.11 Pengujian Orientasi <i>Pitch</i> 90^0 dan -90^0	36
Gambar 4.12 Data Pengujian Orientasi <i>Pitch</i>	37
Gambar 4.13 Pengujian Orientasi <i>Yaw</i> 90^0 dan -90^0	37
Gambar 4.14 Data Pengujian Sudut <i>Yaw</i>	38
Gambar 4.15 Grafik Pengujian Sumbu X Percepatan, Kecepatan dan Posisi	41
Gambar 4.16 Grafik Pengujian Sumbu Y Percepatan, Kecepatan dan Posisi	42
Gambar 4.17 Grafik Pengujian Sumbu Z Percepatan, Kecepatan dan Posisi	43
Gambar 4.18 Pengujian Algoritma ZCD	44
Gambar 4.19 Hasil Pengujian ZCD	45
Gambar 4.20 Grafik Pengujian Ke-4 Percepatan, Kecepatan dan Posisi.....	46
Gambar 4.21 Grafik Pengujian Ke-2 Percepatan, Kecepatan dan Posisi.....	47
Gambar 4.22 Grafik Perbandingan ZCD Data Ke-2 dan Data Ke-4.....	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis Gelombang Laut	6
Tabel 2.2 Kelas Gelombang Laut	7
Tabel 3.1 Konfigurasi pin Arduino Mega 2560	22
Tabel 3.2 Modul <i>Micro SD Card</i>	24
Tabel 4.1 Data Pengujian Sudut <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> (°).....	39
Tabel 4.2 Pengujian Perpindahan Sb-X	40
Tabel 4.3 Pengujian Perpindahan Sumbu Y	41
Tabel 4.4 Pengujian Perpindahan Sumbu Z.....	42
Tabel 4.5 Parameter Gelombang Uji.....	45
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Tinggi Gelombang.....	46
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Perioda Gelombang	48

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Akhir tahun 2018 tepatnya Desember 2018 Provinsi Banten dan Lampung khususnya daerah pesisir mulai dari Carita hingga Sumur diterjang tsunami yang diakibatkan oleh longsor dari anak gunung Krakatau [1]. Indonesia juga pernah mengalami tsunami yang sangat besar yaitu 26 Desember 2004 di Propinsi Daerah Istimewa Nanggroe Aceh Darussalam (NAD) [1][2]. Penyebab tsunami di Aceh adalah Gempa Tektonik berskala 9 Skala Richter, dengan pusat gempa berada sekitar 200 km sebelah barat daya Provinsi NAD, di Samudra Hindia[2][3]. Dampak tsunami juga sangat merugikan, negara Jepang adalah salah satu negara dengan daerah pantai berpenduduk padat di dunia dan sejarah panjang mengenai gempa bumi, tsunami telah memporak-porandakan seluruh populasi pantai, ada juga sejarah kehancuran berat akibat tsunami di Alaska, Kepulauan-kepulauan Hawaii, dan Amerika Selatan [3].

Fenomena Tsunami sendiri adalah serangkaian gelombang laut yang memiliki panjang gelombang dan periode yang sangat panjang, dihasilkan oleh suatu gangguan yang memindahkan masa air laut dalam jumlah yang besar dari keadaan setimbangnya [3]. Gelombang tsunami memiliki dampak atau kerugian yang besar sehingga perlu dilakukan pencegahan untuk mengurangi kerugian dan korban jiwa. Deteksi dini tsunami bisa melalui dua cara yaitu dari sumber gempa atau dari gelombang tsunami itu sendiri. Perkiraan dampak tsunami juga dapat dilakukan dengan menggunakan metode numerik yang membutuhkan data karakteristik gelombang tsunami sehingga hasil yang didapat berdasarkan gelombang laut sangatlah efektif.

Gelombang laut atau *sea wave* (SW) adalah pergerakan naik turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva sinusoidal, umumnya gelombang laut disebabkan oleh tiupan angin baik secara langsung atau tidak langsung [4]. Penelitian mengenai gelombang permukaan laut sangat penting untuk membantu pengambilan keputusan pada keselamatan di laut, operasi perairan dan juga perencanaan bangunan pertahanan pantai [5]. Data gelombang laut juga

dapat membantu acuan bagi kebutuhan masyarakat dan pemerintah dalam melaksanakan kegiatan pelayaran, perdagangan, perikanan [5].

Upaya pemerintah Indonesia dalam menghadapi tsunami dengan cara membuat *Tsunami Early Warning System*, Tsunami *buoy* yang digunakan di Indonesia sendiri terdiri empat jenis *buoy*, yaitu *Deep Ocean Assessment and Reporting Tsunamis* (DART) Amerika, *German-Indonesian Tsunami Warning System* (GITWS), *Buoy Wavestan* dan *INA-buoy* buatan Indonesia [6][7]. *Buoy* sempat tidak berfungsi dari tahun 2012 sampai 2018 dikarenakan rusak atau hilang, saat ini Indonesia sudah kembali memasang tsunami *buoy* di beberapa titik di wilayah Indonesia dan tahun 2022 BPPT berencana untuk memasang 20 tsunami *buoy*[8][9].

Penelitian mengenai alat pengukur gelombang laut menggunakan sensor *accelerometer* pernah dilakukan. Sensor *accelerometer* yang digunakan terdapat pada modul MPU6050. Metode perhitungan penelitian ini dengan cara mengintergralkan sebanyak dua kali nilai percepatan sumbu z dan tidak menggunakan sensor *gyroscope* yang terdapat pada modul MPU6050. Hasil penelitian ini memiliki akurasi sebesar 94,95% [10].

Penelitian selanjutnya membuat *Wave buoy* untuk mengukur tinggi gelombang di pesisir. Penelitian ini mengukur tinggi gelombang laut menggunakan modul MPU9250 yang di dalamnya terdapat sensor *accelerometer*, *gyroscope* dan *magnetometer*. Sensor diproses menggunakan mikrokontroler Arduino mega 2560. Ketinggian gelombang didapatkan dengan kecepatan sumbu z diproses dengan *Fourier series*. Penelitian ini memiliki kekurangan yaitu modul yang digunakan tidak efisien karena dari tiga sensor hanya satu sensor yang digunakan yaitu *accelerometer* [11].

Penelitian lain untuk mengukur karakteristik laut. Sensor yang digunakan adalah MPU9250 dengan mikrokontroler Arduino Mega 2560. Penelitian ini memperkirakan sifat-sifat dasar medan gelombang yaitu tinggi gelombang signifikan, arah dan periode gelombang dominan, spektra *directional* permukaan. Data mentah dari sensor diproses setelah alat menghitung gelombang selama durasi tertentu pada laptop. Pengukuran simultan percepatan vertikal dan kemiringan gelombang dalam dua arah ortogonal memberikan dasar untuk estimasi spektra terarah [12].

Penelitian yang lain mengenai pengukuran karakteristik gelombang laut (tinggi gelombang, periode gelombang dan arah gelombang) yaitu dengan menggunakan GPS (*Global Positioning System*). Parameter gelombang laut didapatkan berdasarkan pergerakan *buoy* yang digerakan oleh gelombang laut. Metode yang digunakan adalah *zero down-crossing*, data ketinggian dari GPS juga dilakukan *filtering* menggunakan *high pass filter*. Alat ini memiliki kelemahan apabila harus mengukur gelombang tsunami karena delay yang diperlukan oleh gps serta kondisi cuaca yang sangat berpengaruh pada data dari GPS [13].

Pengukuran gelombang laut, kecepatan arus air dan deteksi tsunami menggunakan sensor MPU9250 dipilih karena lebih efektif dari segi biaya dan digunakan juga oleh *wave buoy* untuk komersil juga telah terbukti [12]. Pengukuran gelombang laut menggunakan *wave buoy* sendiri bisa dengan *accelerometer* atau GPS, kedua metode ini menghasilkan performa yang sama-sama bagus [12][13][14]. Berdasarkan kekurangan dari GPS seperti sudah dijabarkan di atas maka dipilihlah sensor *accelerometer*, *gyroscope* dan *magnetometer*.

Metode untuk mendapatkan karakteristik gelombang laut menggunakan *zero crossing analysis*, yaitu metode yang paling umum untuk mengukur tinggi, frekuensi atau periode gelombang [15]. Data yang dijadikan nilai ambang bawah sehingga ketika salah satu nilai terpenuhi atau melebihi maka otomatis dikategorikan sebagai gelombang tsunami. Gelombang tsunami memiliki karakteristik gelombang laut berfrekuensi rendah, gelombang dengan periode sekitar 12 menit, merambat pada kecepatan 180 m/s dan memiliki panjang gelombang 130 km di perairan 3,6 km [4].

Penelitian ini menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai mikrokontrolernya dan MPU 9250 sebagai sensor IMU (*Inertia Measurement Unit*). Berdasarkan beberapa penelitian di atas tentang pengukuran parameter gelombang laut dapat terlihat bahwa sensor yang digunakan bisa berbeda-beda begitu juga dengan metodenya dengan setiap sensor dan metode memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Penelitian ini menggunakan sensor *accelerometer*, *gyroscope* dan *magnetometer* untuk mengukur percepatan, kecepatan sudut dan medan magnet pada 3 sumbu x, y dan menggunakan metode madgwick filter dan quaternion.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan permasalahan dari penelitian ini berdasarkan latar belakang masalah yaitu kurangnya *wave buoy* untuk mengukur karakteristik gelombang tsunami di Indonesia.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu membuat *prototype* untuk *wave buoy* yang dapat mengukur parameter gelombang laut (tinggi dan periode gelombang) sebagai pendeteksi gelombang tsunami.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini mendapatkan beberapa manfaat yaitu mengetahui karakteristik gelombang laut di daerah sensor ditempatkan sehingga bisa dimanfaatkan untuk meminimalisir dampak bencana tsunami, memanfaatkan 9DoF (*Degree of Freedom*) untuk mengetahui karakteristik gelombang laut. Untirta ikut menjadi bagian dalam penelitian mengenai *wave buoy*.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Mega 2560.
2. Karakteristik gelombang laut yang diukur hanya tinggi dan periode gelombang.
3. Tinggi dan perioda gelombang hanya dihitung oleh sensor *accelerometer*, *gyroscope* dan *magnetometer*.
4. Alat hanya mengenai metode merubah data sensor menjadi karakteristik gelombang laut tidak mengenai design *buoy* atau pelampunyanya.
5. Gelombang yang diukur bukanlah gelombang laut yang asli.
6. Pengukuran dilakukan hanya skala lab atau simulasi.
7. Gelombang tsunami dideteksi dengan menggunakan parameter ambang batas minimal tinggi dan panjang gelombang.
8. Mikrokontroler digunakan sebagai pengambil data dan proses dilakukan di matlab.

9. Program untuk sensor MPU 9250 diprogram menggunakan *software* arduino IDE, kemudian data *logger* dari sensor tersebut direkam menggunakan *CoolTerm* yang berfungsi sebagai aplikasi terminal serial *port* sederhana untuk merekam data.
10. Data *logger* dari MPU 9250 kemudian diolah dengan *filter* Madgwick menggunakan *software* Matlab.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tinjauan pustaka dan dasar teori, didalamnya memuat kajian-kajian dari hasil artikel publikasi terkait dengan topik penelitian, dan landasan-landasan teori yang menunjang penyelesaian penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang metode yang dipergunakan dalam penelitian, perangkat penelitian yang digunakan baik berupa *software* atau data-data, perancangan penelitian, serta tempat dan waktu penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini dijelaskan mengenai hasil dari penelitian serta analisa terhadap hasil penelitian yang dikaitkan dengan tinjauan pustaka dan metodologi penelitian.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari penelitian dan saran untuk melengkapi kekurangan yang ada dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Solihuddin T., H. L. Salim, S. Husrin, A. Daulat, and D. Purbani, “Dampak Tsunami Selat Sunda di Provinsi Banten dan Upaya Mitigasinya,” *Jurnal Segara*, vol. 16, no. 1, pp. 15–28, Apr. 2020.
- [2] Widiatmoko F. R., A. Zamroni, M. A. Siamashari, A. N. Maulina, and Budiarto, “Rekaman stasiun GPS sebagai pendeteksi pergerakan tektonik, studi kasus: bencana Tsunami Aceh 26 Desember 2004,” *e-Jurnal ITATS (Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya)*, vol. 1, no. 1, pp. 236–240, Aug. 2019.
- [3] Intergovernmental Oceanographic Commission, *Tsunami Glossary*, 4th ed. Paris: UNESCO, 2019.
- [4] Webb P., *introduction to oceanography*. Rebus Community, 2019.
- [5] Kurniawan R., N. M. Habibie, and Suratno, “Variasi Bulanan Gelombang Laut Di Indonesia,” *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, vol. 12, no. 3, pp. 221–232, Des. 2011.
- [6] Azzahra A. N., A. Nugraha, S. Kuncorojati, H. N. Rahmadini, and B. Gauttama, *Buletin Meteorologi Edisi Mei 2022*. Sintang: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2022.
- [7] Dwipanegara A. D., “Evaluasi Kinerja Sistem Peringatan Dini Tsunami di Indonesia,” *INDEPT*, vol. 4, no. 1, Feb. 2014.
- [8] Sutrisno E., *Buoy, Pendeteksi Tsunami Super Cepat Buatan Indonesia*, 2021, Tersedia dari: <https://indonesia.go.id/> [URL dikunjungi pada 15 Oktober 2022].
- [9] Maulana F., *22 Buoy Tsunami Indonesia Tak Aktif Sejak 2012*, 2018, Tersedia dari: <https://news.detik.com/> [URL Dikunjungi pada 15 Oktober 2022].
- [10] Noptian S. R., A. Suhendi, and R. A. Salam, “Sistem Monitoring Ketinggian Permukaan Air Laut Menggunakan Accelerometer Berbasis IoT,” *eProceedings of Engeneering*, vol. 7, no. 2, pp. 4517–4522, Aug. 2020.
- [11] Munanda E., I. Jaya, and A. S. Atmadipoera, “Rancang Bangun dan Uji Kinerja Wave Buoy Sebagai Alat Pengukur Tinggi Gelombang Pesisir,”

- Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, vol. 10, no. 1, pp. 1–14, Apr. 2018.
- [12] Yurovsky Y. Y. and V. A. Dulov, “Compact Low-Cost Arduino-Based Buoy for Sea Surface Wave Measurements,” in *2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium- Fall (PIERS - FALL)*, Singapore, 2017, pp. 2315–2322.
- [13] Liu Y., X. Wang, J. You, and C. Chen, “Ocean Wave Measurement Using GPS Buoys,” *Journal of Geodetic Science*, vol. 3, no. 3, pp. 163–172, 2013.
- [14] Patra S. K., and B. K. Jena, “Inter-comparison of wave measurement by accelerometer and GPS wave buoy in shallow water off Cuddalore, east coast of India,” *Indian Journal of Geo-Marine Science*, vol. 43, no. 1, pp. 45–49, Jan. 2014.
- [15] Wall R. W., “Simple Methods for Detecting Zero Crossing,” in *Proceedings of The 29th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Roanoke, VA, 2003, pp. 2477-2481.
- [16] Treffers C. and V. Wietmarschen. L, “Position and orientation determination of a probe with use of the IMU MPU9250 and a ATmega328 microcontroller,” Bachelor Thesis, Dept. Microelectronics, Technische Universiteit Delft, Delft, 2016..
- [17] Kuperus J., “Wave Monitoring using Wireless Sensor Nodes,” Master Thesis, Dept. Embedded Systems, University Of Melbourne, Melbourne, 2009.
- [18] Pramana Y. A., “Implementasi Sensor Accelerometer, Gyroscope Dan Magnetometer Berbasis Mikrokontroler Untuk Menampilkan Posisi Benda Menggunakan Inertial Navigation System,” Bachelor Thesis, Dept. Electrical Eng., Universitas Komputer Indonesia, Bandung, 2013.
- [19] Munarto R., R. Wiryadinata, and D. P. Utama, “Implementation of AHRS (Attitude Heading and Reference Systems) With Madgwick Filter as Hexapods Robot Navigation,” in *2022 International Conference on Informatics Electrical and Electronics (ICIEE)*, Yogyakarta, 2021, pp. 1-9.
- [20] Mohammed Z., I. M. Elfadel, and M. Rasras, “Monolithic Multi Degree of Freedom (MDoF) Capacitive MEMS Accelerometers,” *Micromachines*

- (*Basel*), vol. 9, no. 11, 2018.
- [21] John., “MEMS Accelerometer,” 2017, Tersedia dari: <http://www.instrumentationtoday.com/> [URL Dikunjungi pada 01 November 2022].
- [22] Sinha S., S. Shakya, R. Mukhiya, R. Gopal, and B. Pant, “Design and Simulation of MEMS Differential Capacitive Accelerometer,” in *ISSS International Conference on Smart Materials, Structures and Systems*, Bangalore, India, 2014.
- [23] Northrop R. B., “*Introduction to Instrumentation and Measurements*, 3rd ed, Boca Raton: CRC Press, 2014.
- [24] Passaro V. M. N., A. Cuccovillo, L. Vaiani, M. De Carlo, and C. E. Campanella, “Gyroscope Technology and Applications: A Review in the Industrial Perspective,” *Sensors (Basel)*, vol. 17, no. 10, Oct. 2017.
- [25] Öztürk D. Ü. and A. M. Erkmen, “Coriolis Vibratory MEMS Gyro Drive Axis Control with Proxy-Based Sliding Mode Controller,” *Micromachines*, vol. 13, no. 3, 2022.
- [26] Chiva J. M. S., J. Valle, D. Fernández, and J. Madrenas, “A Mixed-Signal Control System for Lorentz-Force Resonant MEMS Magnetometers,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, no. 17, pp. 7479–7488, 2019.
- [27] Anonymous, *MPU-9250 Product Specification*, San Jose: Inve Sense, 2016.
- [28] Karimi M., E. Babaians, M. Oelsch, T. Aykut, and E. Steinbach, “Skewed-redundant Hall-effect Magnetic Sensor Fusion for Perturbation-free Indoor Heading Estimation,” in *Proceedings 2020 Fourth IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC)*, Taichung, Taiwan2020, pp. 367–374.
- [29] Leporcq J., “Position Estimation Using IMU Without Tracking System,” Master's Programme in Computer, Communication and Information Sciences (TS2013), Aalto University, Espoo, 2018.
- [30] Yang Z., H. Jing, B. Kuang, S. Zhong, J. Qin, and Y. Tong, “GPS and Lidar Fusion Positioning Based on Unscented Kalman Filtering and Long Short-Term Memory Considering GPS Failure,” in *Proceedings 2021 IEEE 4th International Conference on Automation, Electronics and Electrical*

- Engineering (AUTEEE)*, Shenyang, China, 2021, pp. 18–23.
- [31] Ludwig S. A., “Optimization of Control Parameter for Filter Algorithms for Attitude and Heading Reference Systems,” in *Proceedings 2018 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, Rio de Janeiro, Brazil, 2018, pp. 1–8.
- [32] Al-Fahoum A. S. and M. S. Abadir, “Design of a modified Madgwick filter for quaternion-based orientation estimation using AHRS,” *International Journal of Computer Electrical Engineering*, vol. 10, no. 3, pp. 174–186, 2018.
- [33] Kasau M. I. and A. D. Ghani, “ANALISIS KINEMATIK ROBOT KOORDINAT BOLA, ENAM DERAJAT KEBEBASAN DENGAN METODE QUATERNION & ROTATION VECTOR,” in *proceeding SISITI: Seminar Ilmiah Sistem Informasi dan Teknologi Informasi*, vol. 7, no. 2, 2018.
- [34] Hasan M. A. and M. H. Rahman, “Smart Phone Based Sensor Fusion by Using Madgwick Filter for 3D Indoor Navigation,” *Wireless Personal Communications*, vol. 113, no. 4, pp. 2499–2517, 2020.
- [35] Madgwick S. O. H., A. J. L. Harrison, and R. Vaidyanathan, “*Estimation of IMU and MARG orientation using a gradient descent algorithm*”, in *Proceedings 2011 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, Zurich, Switzerland, 2011, pp. 1-7.
- [36] Slifka D. L, *An Accelerometer Based Approach to Measuring Displacement*, Master Thesis, Dept. Elect. and Comp. Eng., University of Michigan, 2004.
- [37] Kamal A. M, S. H. Hemel, and M. U. Ahmad, “Comparison of Linear Displacement Measurements Between A Mems Accelerometer and Hc-Sr04 Low-Cost Ultrasonic Sensor,” in *Proceedings 2019 1st International Conference on Advances in Science, Engineering and Robotics Technology (ICASERT)*, Dhaka, Bangladesh, 2019, pp. 1-6.
- [38] Liu Y., X. Wang, J. You, and C. Chen, “Ocean Wave Buoy Based on Parallel Six-Dimensional Accelerometer,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 29627–29638, 2020.
- [39] Zhang Y., L. Qi, D. Junyung, Q. Wen, and M. Lv, “Data Processing Based

- on Low-Precision IMU Equipment to Predict Wave Height and Wave Period,” in *Proceedings 2019 2nd International Conference on Data Intelligence and Security*, South Padre Island, USA, 2019, pp. 103–107.
- [40] Kurnia M. H., R. E. Saputra, and C. Setianingsih, “High-Low Detection of Sea Water Waves With Multi-Sensor System Based on IOT,” *e-Proceeding of Engineering*, vol. 8, no. 5, p. 6175, Okt. 2021.
- [41] D. Segarra, J. Caballeros, W. G. Aguilar, A. Samà, and D. Rodríguez-Martín, “Orientation Estimation Using Filter-Based Inertial Data Fusion for Posture Recognition,” in *Algorithms for Sensor Systems*, Helsinki, Finland, 2019, pp. 220–233.
- [42] Yurovsky Y. Y. and V. A. Dulov, “MEMS-based wave buoy: Towards short wind-wave sensing,” *Ocean Engineering*, vol. 217, p. 108043, 2020.
- [43] Esser P., H. Dawes, J. Collett, and K. Howells, “IMU: Inertial sensing of vertical CoM movement,” *Journal of Biomechanics*, vol. 42, no. 10, pp. 1578–1581, 2009.