

Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Tsunami (Studi Kasus Selat Sunda)

Agung Saputro^a, Radianta Triarmadja^b, Henricus Priyosulistyo^b

^a Program Pascasarjana, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 565223, Indonesia

^b Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 565223, Indonesia

keywords:
Tsunami
Sunda Strait
sensor

ABSTRACT

Tsunami is not only caused by the strength of tectonic earthquakes with the dislocation of the seafloor, but also by landslides /rocks in shallow waters, or the relatively large fall of meteors/ celestial bodies. Unlike other tsunamis caused by slab collisions, tsunamis in the Sunda Strait tsunami caused by high tides and underwater landslides due to the eruption of Krakatoa. Tsunami due to the eruption of Mount Anak Krakatau threatens at any time so that technology is needed to be able to help the community and BMKG monitor activities in the Sunda Strait to provide security and comfort of the surrounding residents. Therefore, research was made to measure the height of waves to detect high waves causing tsunamis in the Sunda Strait.

In this research, Tsunami detection system using electrical circuits in its testing with submersible sensors as a wave height reader. The result of the sensor height readings read by the sensor in the process uses a Resberry-Pi microcontroller. The height limit set on the sensor produces siren sounds and sends short messages sent to residents of coastal communities of the Sunda Strait.

The results showed that the tsunami detection system managed to read the water level in real time accurately according to the calibration equation. The water level reading tool set by the limit is 2 meters with the length of the wave using a maximum time of 90 seconds. The device will send a short message and produce a siren sound when the wave reaches a height of 2 meters for 90 seconds in a row. Sending messages takes 2-5 seconds, if there is a tsunami due to the eruption of Mount Anak Krakatau the evacuation time to the safe zone for coastal communities of the Sunda Strait is still affordable and safe.

ABSTRAK

Tsunami tidak hanya disebabkan oleh kekuatan gempa tektonik dengan dislokasi dasar laut, tetapi juga oleh longsor tanah/batuan pada perairan dangkal, ataupun jatuhnya meteor/benda langit yang relatif besar. Berbeda dengan Tsunami lain yang di sebabkan oleh tabrakan lempengan, tsunami di selat sunda tsunami disebabkan pasang tinggi dan longsor bawah laut karena letusan anak gunung Krakatau. Tsunami karena letusan Gunung Anak Krakatau mengancam setiap saat sehingga diperlukan teknologi untuk bisa membantu masyarakat dan BMKG memantau kegiatan di selat sunda sehingga memberikan keamanan dan kenyamanan warga sekitar. Oleh karena itu penelitian dibuat mengukur tinggi gelombang untuk medeteksi gelombang tinggi penyebab tsunami pada selat sunda.

Penelitian ini menggunakan rangkaian elektrik dalam pengujian nya dengan sensor submersible sebagai alat pembaca ketinggian gelombang. Hasil dari pembacaan ketinggian sensor yang di baca oleh sensor di proses menggunakan mikrokontroller Resberry-Pi. Batas ketinggian yang di atur pada sensor menghasilkan bunyi sirine dan mengirimkan pesan singkat yang dikirim kepada warga masyarakat pesisir Selat Sunda.

Hasil penelitian menunjukan Sistem pendeteksi tsunami berhasil membaca ketinggian air secara real time dengan akurat sesuai persamaan kalibrasi. Alat membaca ketinggian air yang diatur batasnya yaitu 2 meter dengan lama gelombang menggunakan waktu maksimal 90 detik. Alat akan mengirimkan pesan singkat dan menghasilkan bunyi sirine pada saat gelombang mencapai ketinggian 2 meter selama 90 detik berturut-turut. Pengiriman pesan memerlukan waktu 2-5 detik, Jika terjadi tsunami di akibat letusan gunung anak Krakatau waktu evakuasi menuju zona aman bagi masyarakat pesisir Selat Sunda masih terjangkau dan aman.



This is an open access article under the [CC-BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.

*Corresponding author.
E-mail: saputroagung@gmail.com

<https://doi.org/10.21831/inersia.v18i1>

Received 11 January 2021; Revised 5 March 2022; Accepted 27 May 2022

Available online 31 May 2022

1. Pendahuluan

Tsunami dapat menghasilkan bencana alam yang salah satunya diakibatkan oleh dislokasi kerak bumi yang terjadi didasar laut dan sangat sulit untuk diprediksi kapan akan terjadi [1]. UU No. 26 Tahun 2007 menyatakan bahwa secara geografis Negara Kesatuan Republik Indonesia berada pada kawasan rawan bencana sehingga diperlukan penataan ruang yang berbasis mitigasi bencana. Undang-undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana menyatakan bahwa tsunami merupakan salah satu kejadian bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam.

Tsunami tidak hanya disebabkan oleh kekuatan gempa tektonik dengan dislokasi dasar laut, tetapi juga oleh longsoran tanah/batuan pada perairan dangkal, ataupun jatuhnya meteor/benda langit yang relatif besar [2]. Berbeda dengan Tsunami lainnya yang di sebabkan oleh tabrakan lempengan, tsunami di selat sunda tsunami disebabkan pasang tinggi dan longsor bawah laut karena letusan anak gunung Krakatau [3]. Letusan gunung ini merupakan salah satu yang mematikan sepanjang sejarah, menyebabkan mega tsunami, dan gelombang awan panas, menewaskan lebih 30.000 jiwa. Pada tanggal 22 Desember 2018, peristiwa tsunami yang disebabkan oleh letusan Anak Krakatau di Selat Sunda menghantam daerah pesisir Banten dan Lampung, Indonesia. Sedikitnya 426 orang tewas dan 7.202 terluka dan 23 orang hilang akibat peristiwa ini [4].

Tsunami karena letusan Gunung Anak Krakatau mengancam setiap saat sehingga diperlukan teknologi untuk bisa membantu masyarakat dan BMKG memantau kegiatan di selat sunda sehingga memberikan keamanan dan kenyamanan warga sekitar. Permasalahan lokasi pantai di Indonesia ini di dasarkan pada tidak semua lokasi pantai di serang gelombang tsunami dalam waktu yang sama, rentang kedatangan gelombang tsunami bisa sangat besar sehingga di bangun sistem ini tidak hanya bersifat dini. Oleh karena itu penelitian dibuat mengukur tinggi gelombang untuk medeteksi gelombang tinggi penyebab tsunami pada selat sunda.

1.1. Tsunami Akibat Longsoran Material

Apabila sejumlah massa material (berupa tanah/batuan) yang masuk ke dalam laut/perairan dan terjadi dalam waktu yang relatif cepat, maka massa air akan berkumpul di sekitar massa material (berupa tanah/batuan), kemudian massa air ini akan segera bergerak berpindah menempati areal yang lebih luas menuju perairan bebas sebagai gelombang tsunami.

Gerakan longsoran material juga dapat terjadi di dalam laut. Perubahan volume total air laut tidak terjadi, yang terjadi adalah perubahan posisi dasar laut yang mengakibatkan adanya daya dorong oleh massa material yang menggeser massa air sehingga menimbulkan energi dan adanya kemungkinan perubahan elevasi muka air laut, yang ditentukan oleh kecepatan dislokasi dan volume massa yang bergeser relatif terhadap massa air di atasnya. Apabila dislokasi cepat dan mendekati kecepatan jalar gelombang, akan mengakibatkan perubahan elevasi muka air laut mengikuti perubahan bentuk dasar laut. Apabila kecepatan dislokasinya lambat, tidak terlalu banyak berarti. Longsoran di laut yang dalam, sulit mengakibatkan tsunami, sedangkan longsoran di laut yang dangkal, sangat memungkinkan terjadinya tsunami. Longsoran dengan kecepatan dislokasi yang cepat, pada perairan yang dangkal sangat memungkinkan terjadinya tsunami.

1.2. Evakuasi

Evakuasi adalah pergerakan orang atau masyarakat dari suatu tempat atau dari suatu kondisi yang terancam oleh terjadinya peristiwa bencana ke wilayah yang lebih aman [5]. Menurut KBBI, evakuasi didefinisikan pengungsian atau pemindahan penduduk dari daerah-daerah yang berbahaya, misal bahaya perang, bahaya banjir, meletusnya gunung api, ke daerah yang aman. Melakukan evakuasi merupakan salah satu upaya yang dilakukan masyarakat untuk menghindari diri dari segala ancaman bencana. Dalam bencana tsunami, terdapat dua jenis evakuasi antara lain evakuasi horizontal yaitu evakuasi dengan memindahkan penduduk ketempat yang aman secara horizontal sehingga terhindar dari terjangan tsunami, biasanya dilakukan dengan menjauhi diri dari tepi pantai. Evakuasi vertikal yaitu penduduk tetap berada di pantai namun menaiki bangunan yang lebih tinggi yang dapat difungsikan sebagai shelter. Faktor waktu dalam melakukan evakuasi sangat penting untuk mengungsi ke lokasi yang aman saat terjadi bencana. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi waktu evakuasi seperti kondisi lebar sempitnya jalan, ada atau tidaknya rintangan, kondisi permukaan jalan, kemiringan, dan lain-lain yang dapat mempengaruhi arus evakuasi pada umumnya [6]–[9]. Menurut FEMA untuk sumber tsunami yang jauh dari daratan, maka perkiraan waktu peringatan untuk melakukan evakuasi lebih dari 2 jam. Untuk tsunami yang sumbernya agak jauh dari daratan namun getaran gempanya terasa di daratan maka waktu peringatan yang dibutuhkan untuk evakuasi adalah antara 30 menit sampai dengan 2 jam. Sedangkan untuk sumber tsunami yang dekat (getaran gempa dirasakan sangat kuat saat di

daratan) maka waktu peringatan yang dibutuhkan untuk evakuasi adalah kurang dari 30 menit.

2. Metode

2.1. Perangkat Elektrik

2.1.1. Raspberry pi 4 model B (4GB)

Raspberry pi adalah sebuah SBC (*single-board computer*) seukuran kartu kredit. Raspberry pi telah dilengkapi dengan semua fungsi layaknya sebuah komputer lengkap, menggunakan SOC (*System on Chip*) ARM yang dikemas dan diintegrasikan di atas PCB (papan circuit) Raspberry pi ini mampu bekerja layaknya komputer pada umumnya dengan kemampuan untuk menjalankan sistem operasi linux dan aplikasi lainnya seperti *LibreOffice*, multimedia (audio dan video), perambatan web, ataupun programing [10] (lihat Gambar 1).



Gambar 1. Raspberry pi 4 model B (4GB).

2.1.2. Submersible Water Level

Sensor level air submersible umumnya dikenal sebagai "*probe level*" ini terutama digunakan untuk pengukuran level air, tekanan air, dan level hidrostatik (Gambar 2).



Gambar 2. Submersible water level meter

2.1.3. Modul Sim900a (Sinyal)

SIM900A adalah modul SIM yang digunakan pada penelitian ini (Gambar 3). Modul SIM900 GSM/GPRS adalah bagian yang berfungsi untuk berkomunikasi antara pemantau utama dengan Handphone. ATCommand adalah perintah yang dapat diberikan modem GSM/CDMA seperti untuk mengirim dan menerima data berbasis GSM/GPRS, atau mengirim dan menerima SMS. SIM900 GSM/GPRS dikendalikan melalui perintah AT (GSM 07.07, 07.05, dan SIMCOM).



Gambar 3. Modul Sim900a (Sinyal).

AT+Command adalah sebuah kumpulan perintah yang digabungkan dengan karakter lain setelah karakter 'AT' yang biasanya digunakan pada komunikasi serial. Dalam penelitian ini ATcommand digunakan untuk mengatur atau memberi perintah modul GSM/CDMA. Perintah ATCommand dimulai dengan karakter "AT" atau "at" dan diakhiri dengan kode (0x0d). Berikut adalah beberapa perintah ATcommand yang digunakan dalam penelitian ini.

2.1.4. Solar Panel 50Wp

Panel surya adalah alat konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik (Gambar 4). Untuk memanfaatkan potensi energi surya ada dua macam teknologi yang sudah diterapkan, yaitu energi surya fotovoltaik dan energi surya terma.



Gambar 4. Solar Panel 50Wp.

2.1.5. Box Panel

Box panel berfungsi untuk menghubungkan antara satu rangkaian listrik dengan rangkaian listrik lainnya pada suatu operasi kerja (Gambar 5). Panel menghubungkan suplay tenaga listrik dari panel utama sampai ke beban-beban baik instalasi penerangan maupun instalasi tenaga.



Gambar 5. Box Panel.

2.2. Instrumen Penelitian

Pengumpulan data sebuah penelitian yang dilakukan dengan berbagai metode memerlukan alat bantu sebagai instrumen penelitian. Instrumen pada penelitian ini terdiri dari dua jenis yaitu perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras berupa personal computer (PC), sedangkan perangkat lunak yang digunakan berupa *Microsoft office* yang terdiri dari *Microsoft Word*, *Microsoft Excel*, *Microsoft Power Point*, *Raspberry Pi*, serta *search engine*. Pengolahan data baik analisis lalu lintas maupun kelayakan menggunakan *Microsoft Excel* yang kemudian dituangkan pada laporan berupa *Microsoft Word*. Pada instrumen penelitian ini, aplikasi *Raspberry-pi* berguna untuk merapikan sumber-sumber referensi dengan baik, sedangkan *search engine* digunakan untuk mencari data-data tambahan yang dibutuhkan selama penelitian. Tabel 1 menyajikan daftar komponen alat yang digunakan beserta fungsinya.

Tabel 1. Daftar komponen dan fungsi

No	Nama	Gambar	Power Rate	Data	Fungsi
1	<i>Submersible Water Level</i>		<i>Input : 24V</i>	4-20 mA	Pengukuran tinggi muka air
2	<i>Raspberry PI</i>		<i>Input : 5V</i>	I2C, SPI, UART & Digital	<i>Signal processing & Command control</i>
3	<i>I - V Converter</i>		<i>Input : 4 -20 mA</i> <i>Output : 0-5V</i>	Analog 0-5V	
4	<i>AD Board Expansion</i>		<i>Input : 5V</i>	SPI	<i>AD for Raspberry pi</i>

No	Nama	Gambar	Power Rate	Data	Fungsi
5	SIM800L		Input 5V	UART	SMS Notification/ command
6	TFT LCD 3.5"		Input : 5V	SPI	Display
7	Outdoor Panel Box				Case

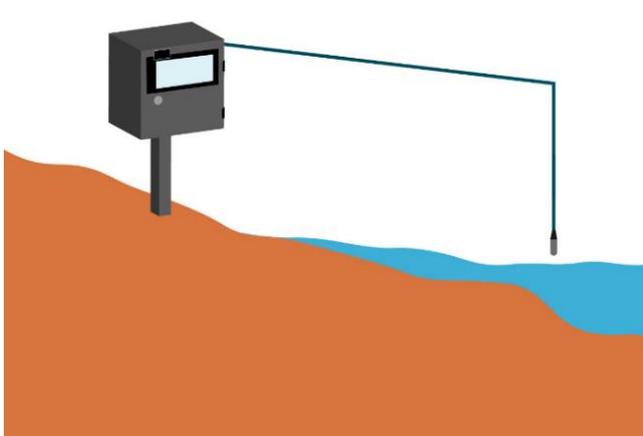
3. Hasil

3.1. Sistem Kerja Alat

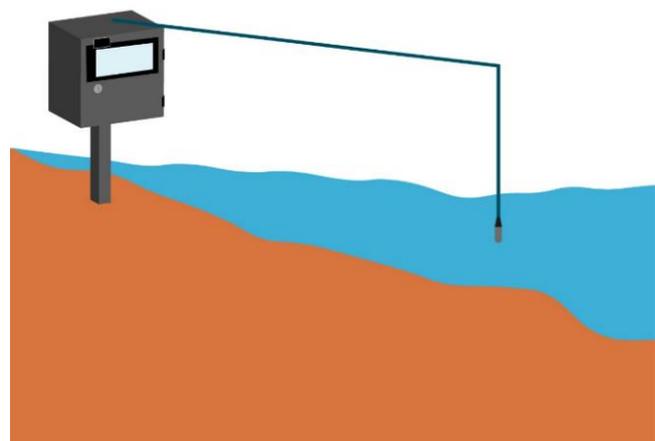
Alat pendeteksi tsunami bekerja dalam 3 (tiga) rangkaian sistem yaitu Input, Proses dan Output. Input alat pendeteksi tsunami berupa sensor pembaca ketinggian air, alat bekerja berdasarkan pembacaan sensor submersible yang membaca ketinggian air. Proses yaitu pengolahan hasil pembacaan sensor menggunakan mikrokontroler Resberry-Pi, Resberry bekerja menggunakan bahasa pemrograman Python. Resberry-Pi mengolah data yang di peroleh dari pembacaan sensor untuk bisa menghasilkan output yang akurat. Output dari alat ini berupa bunyi sirine dan pengiriman pesan singkat hasil pengolahan ketinggian air dari pembacaan sensor. Output dari alat pendeteksi tsunami ini di pastikan akurat di karenakan alat sudah dilakukan kalibrasi.

Gambar 6 merupakan desain prototype alat pada keadaan gelombang normal tidak menyentuh sensor atau adapun sentuhan berubah gelombang pasang-surut atau cipratan air yang tidak akan terbaca oleh sensor. Alat pendeteksi tsunami di atur ambang batas ketinggian air dan batas lama waktu sampai melakukan perintah keluaran. Ambang batas ketinggian air dinamakan threshold dan batas lama waktu dinamakan delay pada koding program. Program diolah Resberry-Pi berdasarkan threshold dan delay yang sudah di masukan pada pemograman setelah dilakukan kalibrasi alat.

Gambar 7 adalah ilustrasi saat sensor terendam gelombang. Sensor membaca ketinggian air setiap saat dan data ketinggian air di kirim ke Resberry-Pi, saat ketinggian air mencapai threshold dan lama waktu sesuai delay yang sudah di ditetapkan maka Resberry-Pi mengeluarkan perintah untuk membunyikan sirine dan mengirimkan pesan singkat.



Gambar 6. Perangkat Saat Gelombang Belum Mencapai Sensor.



Gambar 7. Sensor Terendam Gelombang.

3.2. Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan dengan cara melakukan pengambilan data berdasarkan ketinggian air yang dibaca oleh sensor alat. Rangkaian pengujian alat yaitu dengan melakukan kalibrasi terlebih dahulu sebanyak 3 (tiga) kali dan akan dikonfigurasi dengan koding program dan dilanjutkan dengan pengujian alat. Perangkat alat uji di rangkai pada sebuah box panel yang di pasang dengan besi pancang sebagai penyangga. Sehubungan dengan uji coba yang dilakukan di Laboratorium Hidraulika sumber daya yang digunakan dari Solar Sel diganti menggunakan trafo 12 Volt dan 3 Ampere. Box panel yang di gunakan sebagai casing di desain untuk tahan terhadap air dan karat sehingga bisa menjaga rangkaian elektrikal dari kemasukan air hujan atau gelombang.



Gambar 8. Perangkat Fisik Box Panel.

Perangkat sistem yang di tunjukan pada Gambar 8 merupakan perangkat box panel yang belum di pasang monitor dan di sinkronisasi dengan mikrokontroller Resberry-PI. Box Panel yang di pakai pada penelitian kali ini menggunakan monitor LCD layar sentuh pada bagian depan atas. LCD berfungsi sebagai alat monitoring ketinggian air yang terdeteksi muncul terus-menerus secara *realtime*. Perangkat elektrik yang berada didalam panel yang menghasilkan suhu ruangan cukup panas, walaupun di dalamnya di beri kipas tetap perlu untuk monitoring oleh karena itu di atas LCD di pasang Sensor pengukur suhu yang menunjukkan suhu dalam box panel.

Monitor LCD yang berbasis Mikrokontroller Resberry-PI memberikan akses perangkat dapat di akses menggunakan PC atau Laptop dengan kesesuaian data di monitor LCD dan di monitor PC (Gambar 9). Koding dan kalibrasi alat

dapat di sinkronkan menggunakan PC yang langsung ter integrasi ke Perangkat. Saat menggunakan perangkat berbasis PC maka perangkat dengan Alat Pendeteksi Tsunami harus berbasis jaringan internet yang sama.



Gambar 9. Prototipe Box Panel.

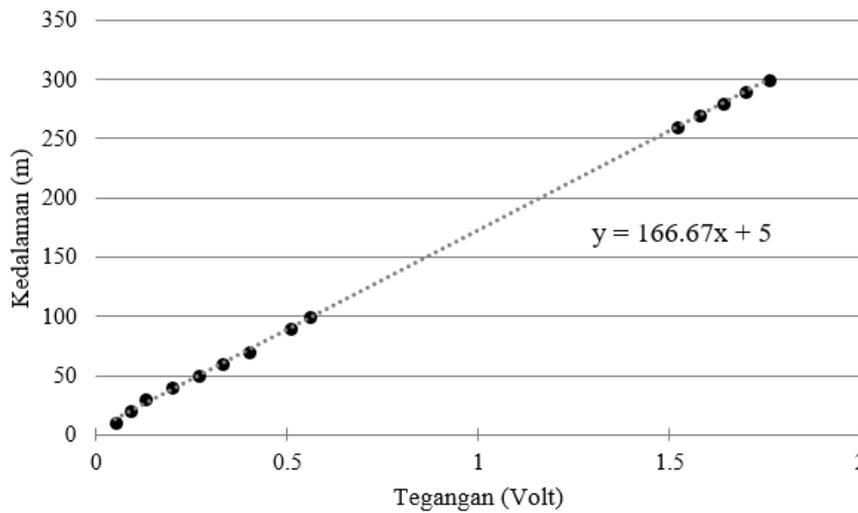
3.3. Kalibrasi

Kalibrasi adalah serangkaian kegiatan yang membentuk hubungan antara nilai yang ditunjukkan oleh instrumen ukur atau sistem pengukuran, atau nilai yang diwakili oleh bahan ukur, dengan nilai-nilai yang sudah diketahui yang berkaitan dari besaran yang diukur dalam kondisi tertentu.

Tabel 2. Hasil kalibrasi sensor.

Kedalaman (m)	Tegangan	Kedalaman (m)	Tegangan
10	0,05	90	0,51
20	0,09	100	0,56
30	0,13	260	1,52
40	0,20	270	1,58
50	0,27	280	1,64
60	0,33	290	1,70
70	0,40	300	1,76
80	0,46		

Hasil kalibrasi sensor ditampilkan pada Tabel 2. Berdasarkan kalibrasi pertama ini diperoleh hasil rata-rata kenaikan tegangan 0,06 Volt per 10cm. Tegangan sebanding dengan kedalaman sensor di dalam air, jika sensor di letakan semakin dalam maka tegangan yang di baca juga semakin besar dengan kenaikan yang relatif linier (Gambar 10).



Gambar 10. Grafik Hubungan Kedalaman dan Tegangan.

Hasil dari kalibrasi pertama kemudian diolah dengan persamaan regresi linear $x = ay - b$ atau $y = ax + b$. Berdasarkan data pada Tabel 2 dicari persamaan regresi menggunakan penurunan rumus berikut ini.

$$\frac{x-x'}{x''-x'} = \frac{y-y'}{y''-y'}$$

$$\frac{x-0,05}{0,56-0,05} = \frac{y-10}{100-10}$$

$$\frac{x-0,05}{0,51} = \frac{y-10}{90}$$

$$y = 90 \left(\frac{x-0,05}{0,51} \right) + 10$$

$$y = 176,5x - 8,82 + 10$$

$$y = 176x + 1,18$$

$$\frac{x-x'}{x''-x'} = \frac{y-y'}{y''-y'}$$

$$\frac{x-10}{100-10} = \frac{y-0,05}{0,56-0,05}$$

$$\frac{x-10}{90} = \frac{y-0,05}{0,51}$$

$$y = 0,52 \left(\frac{x-10}{90} \right) + 0,05$$

$$y = 0,006x - 0,06 + 0,05$$

$$y = 0,006x + 0,01$$

$$x = \frac{y-0,01}{0,006}$$

$$x = 166,67y - 1,6 \tag{1}$$

$$y = 167,01x + 4,89 \tag{2}$$

Dari penurunan persamaan di atas diperoleh hasil bahaya $x = 166,67y - 1,6$ dan $y = 167,01x + 4,89$. Hasil ini berarti semakin dalam sensor diletakkan dalam air maka sensor akan membaca tegangan lebih besar. Pada hasil kalibrasi ini nanti akan di masukan dalam koding sehingga bisa menjadi indikator karakteristik pembacaan sensor terhadap tinggi air. Karena saat alat ini selalu aktif memonitoring ketinggian air perlu suatu waktu untuk di lakukan kalibrasi atau uji karakteristik ulang untuk menjadi acuan dalam pembacaan sensor, sehingga saat alat beroperasi hasil yang diperoleh sudah akurat.

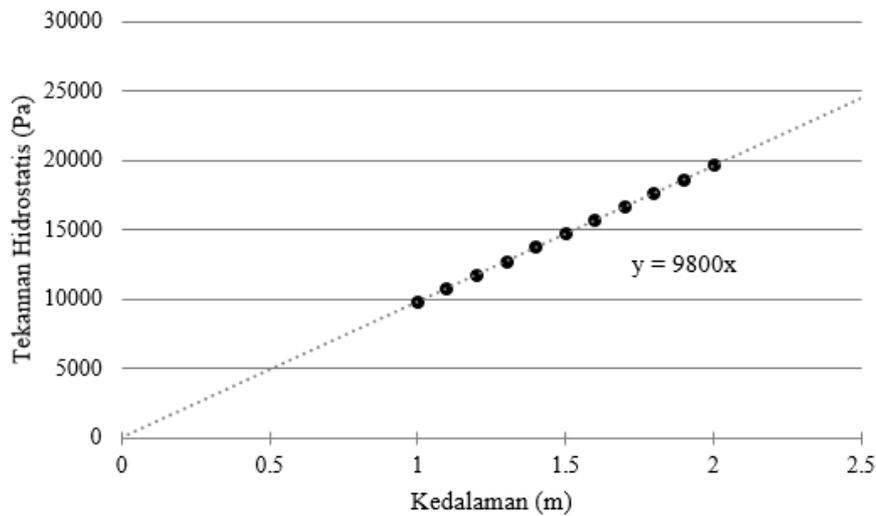
3.4. Pengujian Alat

3.4.1. Pengujian Sensor

Sensor yang digunakan dalam penelitian system pendeteksi tsunami menggunakan sensor submersible yang digunakan untuk membaca ketinggian debit air dengan berdasarkan tekanan. Prinsip kerja sensor submersible pembaca ketinggian air berdasarkan tekanan sebenarnya cukup sederhana. Indikator ketinggian air bekerja dengan menggunakan probe sensor untuk menunjukkan ketinggian air di tangki penyimpanan. Probe ini mengirimkan informasi kembali ke panel kontrol untuk memicu alarm atau indikator. Tekanan hidrostatik dihitung dengan persamaan 3.

$$P = \rho gh \tag{3}$$

dimana P adalah tekanan hidrostatik, ρ adalah berat jenis air (1.000 kg/m^3), g adalah percepatan gravitasi di permukaan bumi ($9,8 \text{ m/s}^2$) dan h adalah kedalaman air. Hasil perhitungan tekanan hidrostatik diperoleh seperti Tabel 3.



Gambar 11. Grafik Hubungan Tekanan Hidrostatik dan Kedalaman

Tabel 3. Pengaruh Kedalaman Terhadap Tekanan Hidrostatik

Tekanan hidrostatik, <i>P</i> (Pa)	Kedalaman, <i>h</i> (m)
9800	1,0
10780	1,1
11760	1,2
12740	1,3
13720	1,4
14700	1,5
15680	1,6
16660	1,7
17640	1,8
18620	1,9
19600	2,0

Pengaruh tekanan terhadap kedalaman yaitu semakin dalam sensor submersible di letakkan maka tekanan yang di peroleh pada alat akan lebih kuat. Tekanan yang di peroleh pada sensor inilah yang memberikan pembacaan ketinggian air. Karena berdasarkan tekanan, maka sensor tidak akan membaca hasil dari cipratan air ataupun air yang sebentar karena alat pendeteksi tsunami di program dengan delay 2 menit.

Gambar 11 menunjukkan semakin dalam sensor di letakkan, semakin tinggi membaca ketinggian air makan di peroleh hasil tekanan semakin besar yang terbaca oleh sistem.

3.4.2. Kecepatan Gelombang

Kecepatan gelombang dibuat untuk mengantisipasi alat agar tidak membaca cipratan air atau air dalam waktu sebentar. Kecepatan gelombang atau cepat rambat gelombang merupakan perbandingan antara perpindahan satu panjang gelombang dan periodenya. Kecepatan gelombang dihitung dengan persamaan 4.

$$v = \lambda f \tag{4}$$

dengan *v* merupakan kecepatan gelombang (m/dt), λ adalah panjang gelombang (m), dan *f* adalah frekuensi gelombang. Hasil perhitungan kecepatan gelombang di peroleh pada Tabel 4.

Tabel 4. Kecepatan Gelombang

Kecepatan gel., <i>v</i> (m/dt)	Panjang gel., λ (m)	Frekuensi gelombang, <i>f</i>
100,00	2	50,00
66,67	2	33,33
50,00	2	25,00
40,00	2	20,00
33,33	2	16,67
25,00	2	12,50
20,00	2	10,00
16,67	2	8,33
14,29	2	7,14
12,50	2	6,25
11,11	2	5,56
10,00	2	5,00
9,09	2	4,55
8,33	2	4,17
7,69	2	3,85
7,14	2	3,57
6,67	2	3,33
6,25	2	3,13
5,88	2	2,94
5,56	2	2,78
5,26	2	2,63
5,00	2	2,50
4,76	2	2,38
4,55	2	2,27
4,35	2	2,17
4,17	2	2,08
4,00	2	2,00
3,85	2	1,92
3,70	2	1,85
3,57	2	1,79

Hubungan panjang gelombang dan frekuensi berbanding terbalik. Semakin besar panjang gelombang, maka akan semakin rendah frekuensinya. Adapun semakin pendek panjang gelombang, maka akan semakin tinggi frekuensinya. Hasil dari pengujian kecepatan gelombang di peroleh data rata-rata kecepatan gelombang per 2 detik 16.65 meter per detik. Dengan kecepatan gelombang ini bisa diketahui kecepatan waktu yang diperlukan untuk melakukan evakuasi pada saat gelombang tsunami datang. Data kecepatan gelombang digunakan untuk menjadi dasar penentuan threshold dan delay pada penelitian Alat pendeteksi tsunami.

Berdasarkan data kecepatan gelombang pada Tabel 4 di peroleh grafik seperti pada Gambar 12 Grafik menunjukkan data yang diperoleh pada pengujian sesuai dengan teori yang digunakan dalam perhitungan kecepatan gelombang Data kecepatan gelombang digunakan untuk menjadi dasar penentuan threshold dan delay pada penelitian Alat pendeteksi tsunami.

3.4.3. Output Pengujian Alat

Alat pendeteksi tsunami mempunyai keluaran berupa pesan singkat untuk pengiriman notifikasi jarak jauh dan bunyi sirine untuk di lokasi. Pesan singkat atau Short Message Service (SMS) bisa di terima telepon seluler melalui beberapa proses (Gambar 13).

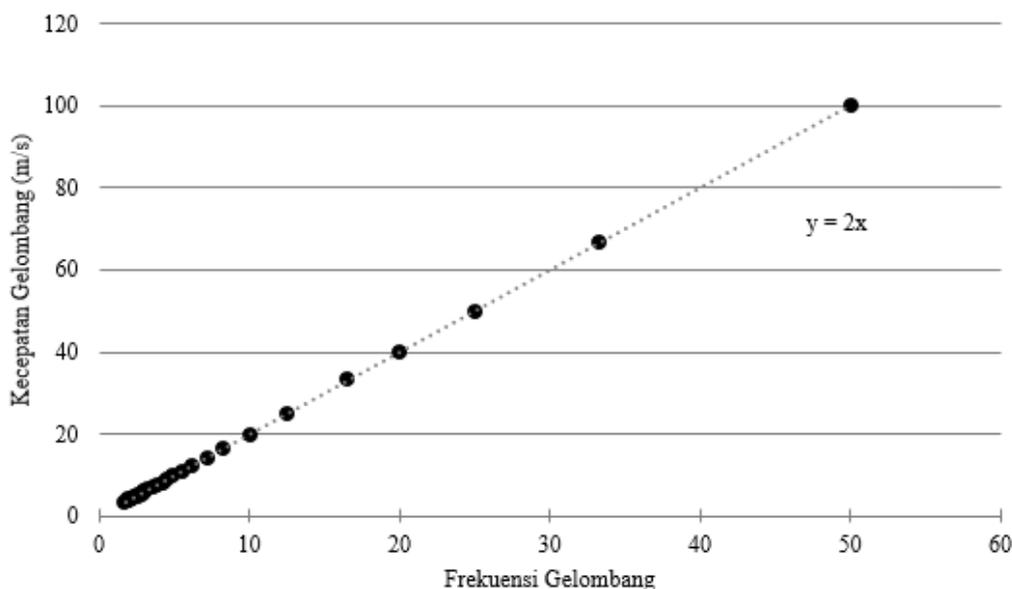
Alat pendeteksi tsunami melakukan uji coba dengan pengiriman pesan dibagi 4 (empat) jenis pesan berdasarkan lokasi objek penerima pesan. Pengiriman

pesan singkat Objek pertama menggunakan lokasi objek acak guna mengetahui kondisi sinyal dasar pengiriman pesan singkat General Packet Radio Service (GPRS) dan Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE) di berbagai wilayah di Indonesia. Hasil Pengujian dapat dilihat pada Tabel 5 bahwa semua daerah berhasil menerima pesan dengan real time sesuai waktu pengujian di Laboratorium Hidraulika Yogyakarta.

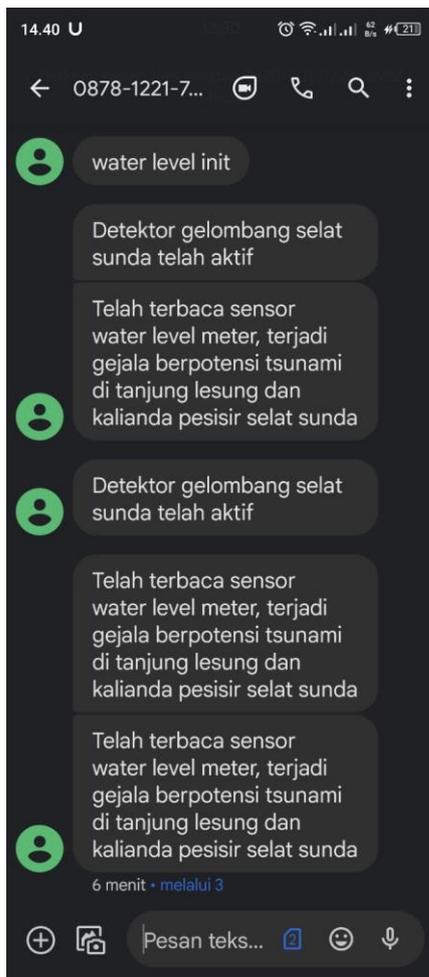
Percobaan membuktikan alat sudah optimal dengan pengiriman paling lama selisih 2 menit sehingga sangat memungkinkan untuk evakuasi keselamatan.

3.5. Evakuasi

Waktu penjaralan gelombang tsunami mencapai pantai yang tercepat adalah sekitar 27 menit untuk dislokasi pada arah Timur Laut berlokasi di Banten, Jawa Barat dan 38 menit untuk dislokasi pada arah Barat Laut yang terjadi pada Kalianda. Waktu yang diperlukan untuk mencapai zona aman untuk kejadian dislokasi pada arah Barat Laut atau Barat harus lebih cepat dari 27 dan 38 menit. Lebar, panjang dan kepadatan jalur evakuasi mempengaruhi kecepatan evakuasi. Semakin lebar jalur evakuasi, semakin baik. Semakin panjang jalur evakuasi memerlukan waktu evakuasi yang semakin lama. Kepadatan yang tinggi pada jalur evakuasi akan menghambat kecepatan evakuasi. Simulasi lebih lanjut mengenai evakuasi tidak dilakukan pada penelitian ini. Berbeda dengan dislokasi dari arah Selatan, tidak banyak berpengaruh karena berbatasan dengan laut lepas samudera hindia.



Gambar 12. Grafik Hubungan Kecepatan dan Frekuensi Gelombang.



Gambar 13. Hasil Pembacaan Sensor yang disampaikan melalui SMS.

Tabel 5. Nomor Telepon yang Digunakan dalam Pengujian.

No	Nomor Hp	Lokasi	Notifikasi
1	6282315646332	Solo	Dikirim 09:00
2	6281226823978	Jakarta	Diterima 09:00
3	6282282063637	Bengkulu	Diterima 09:00
4	6282138013316	Kalimantan Utara	Diterima 09:01
5	6285364008634	Pekanbaru	Diterima 09:01
6	6282242633902	Cirebon	Diterima 09:00
7	628122973476	Jogja	Diterima 09:00
8	62816687357	Jogja	Diterima 09:00
9	6281260601708	Medan	Diterima 09:00
10	6281316988675	Makassar	Diterima 09:02

Pada penelitian ini di peroleh hasil delay pembacaan sensor sampai keluaran bunyi sirine dan pengiriman pesan hanya memerlukan waktu 2 menit dari sensor terbaca. Waktu yang di peroleh oleh alat pendeteksi alat tsunami tidak di tentukan oleh lokasi, jadi lokasi di tanjung lesung, cilegon dan kalianda memperoleh hasil pembacaan sensor yang sama pada waktu tersebut. Jika waktu evakasi lokasi

terdekat kena gelombang pada selat sunda akibat letusan gunung anak Krakatau 27 menit, maka warga pesisir mempunyai waktu 25 menit untuk evakuasi dini menghindari terjadinya tsunami di lokasi tersebut.

4. Simpulan

Tsunami yang terjadi pada selat sunda berbeda dengan tsunami pada Aceh, Palu atau tsunami pada biasanya. Tsunami di selat sunda terjadi karena terjadi aktifitas gunung anak Krakatau sehingga menghasilkan longsoran material yang berakibat pada gelombang tinggi ke arah pesisir selat sunda. Pesisir selat sunda dibagi menjadi beberapa titik yaitu Tanjung Lesung, Cilegon yang berada di Banten dan Kalianda, di bagian selatan provinsi Lampung.

Sistem pendeteksi tsunami yang di uji untuk kasus selat sunda yang tsunami berdasarkan gelombang akibat longsoran material gunung anak Krakatau. Alat berhasil dibuat dengan sensor ketinggian yang fleksibel bisa diatur ketinggian dan delay waktu guna membunyikan sirine serta mengirimkan pesan. Alat bisa mengirimkan pesan dalam waktu 2 menit, dengan estimasi waktu evakuasi, di peroleh sisa waktu 28 menit untuk warga evakuasi masih memungkinkan untuk menyelamatkan diri menuju zona aman.

Daftar Rujukan

- [1] H. Chanson, "Tsunami Surges on Dry Coastal Plains: Application of DAM Break Wave Equations," vol. 48, no. 4, pp. 355–370, Nov. 2011.
- [2] C. Goto and Y. Ogawa, "Numerical Method of Tsunami Simulation with the Leap-Frog Scheme," *IOC Manuals and Guides No. 35*. 1997.
- [3] Suryana Prawiradisastra, "Penyebab Timbulnya Bencana Gelombang Tsunami di Wilayah Selat Sunda dan Upaya Penanggulangan," *J. Teknol. Reduksi Risiko Bencana*, 2005.
- [4] Y. Yudhicara and K. Budiono, "Tsunamigenik di Selat Sunda: Kajian terhadap katalog Tsunami Soloviev," *Indones. J. Geosci.*, vol. 3, no. 4, pp. 241–251, Dec. 2008, doi: 10.17014/IJOG.3.4.241-251.
- [5] K. Munadi, Y. Nurdin, M. Dirhamsyah, and S. Muchalil, "Multiagent based Tsunami Evacuation Simulation: A Conceptual Model," in *Proceedings of the Annual International Conference, Syiah Kuala University-Life Sciences & Engineering Chapter*, 2012, vol. 2, no. 2.
- [6] R. Triatmadja, *Model Matematik Teknik Pantai, Menggunakan Diferensi Hingga dan Metode Karakteristik*. Yogyakarta: Beta Offset, 2009.
- [7] R. Triatmadja, *Tsunami; Kejadian, Penjalaran*,

- Daya Rusak, dan Mitigasinya*. Yogyakarta: UGM Press, 2010.
- [8] R. Triatmadja, "Numerical simulations of an evacuation from a tsunami at Parangtritis beach in Indonesia," *Sci. Tsunami Hazards*, vol. 34, no. 1, 2015.
- [9] B. Triatmodjo, *Teknik Pantai*. 1999.
- [10] R. S. Prihantono, A. M. Shiddiqi, and H. Studiawan, "Rancang Bangun Sistem Keamanan dan Pengenalan Objek dalam Ruangan Sebagai Pengganti CCTV dengan Menggunakan Raspberry Pi," *J. Tek. Pomits*, vol. 2, no. 1, 2013.