



TUGAS AKHIR – RF184838

**RANCANG BANGUN *PROTOTYPE* INSTRUMEN
PENDETEKSI DINI TSUNAMI DENGAN MEMANFAATKAN
PRINSIP REFLEKSI GELOMBANG**

KHARIS AULIA ALAM
0341154000050

DOSEN PEMBIMBING:
Dr. Ir. AMIEN WIDODO, M.Si.
JUAN PANDU GYA NUR ROCHMAN, S.Si, M.T.

Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - RF184838

**RANCANG BANGUN *PROTOTYPE* INSTRUMEN
PENDETEKSI DINI TSUNAMI DENGAN
MEMANFAATKAN PRINSIP REFLEKSI GELOMBANG**

KHARIS AULIA ALAM
0341154000050

DOSEN PEMBIMBING :
Dr. Ir. AMIEN WIDODO, M.Si.
JUAN PANDU GYA NUR ROCHMAN, S.Si., M.T.

Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - RF184838

**DESIGN OF TSUNAMI EARLY DETECTION
INSTRUMENT PROTOTYPE BY UTILIZING THE
PRINCIPLE OF WAVE REFLECTION**

KHARIS AULIA ALAM
0341154000050

ADVISOR

Dr. Ir. AMIEN WIDODO, M.Si.

JUAN PANDU GYA NUR ROCHMAN, S.Si., M.T.

Department of Geophysical Engineering
Faculty of Civil Environmental and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh :
Nama : Kharis Aulia Alam
NRP : 0341154000050
Departemen : Teknik Geofisika
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun *Prototype* Instrumen
Pendeteksi Dini Tsunami Dengan
Memanfaatkan Prinsip Refleksi
Gelombang

Telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 15 Juli 2019

Menyetujui,

1.
Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si. (Pembimbing I)
NIP. 19591010 198803 1002
2.
Juan Pandu Gya Nur Rochman, S.Si., M.T. (Pembimbing II)
NIP. 19890612 201504 1003
3.
Mariyanto, S.Si., M.T. (Penguji I)
NIP. 19912017111044
4.
Anik Hilyah, S.Si., M.T. (Penguji II)
NIP. 19790813 200812 2002

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Geofisika Teknik dan Lingkungan
Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si.
NIP. 19591010 198803 1002

Halaman ini sengaja dikosongkan

RANCANG BANGUN *PROTOTYPE* INSTRUMEN PENDETEKSI DINI TSUNAMI DENGAN MEMANFAATKAN PRINSIP REFLEKSI GELOMBANG

Nama Mahasiswa : Kharis Aulia alam
NRP : 0341154000050
Departemen : Teknik Geofisika
Pembimbing 1 : Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si.
Pembimbing 2 : Juan Pandu Gya N. R., S.Si, M.T.

ABSTRAK

Kondisi tektonik Indonesia terkait lempeng benua dan samudera menyebabkan Indonesia menjadi negara dengan tingkat rawan bencana gempabumi yang tinggi. Gempabumi dengan parameter tertentu mampu memicu terjadinya bencana tsunami. Hingga tahun 2019, lebih dari 150.000 korban jiwa telah jatuh yang tentunya tidak lepas dari absennya teknologi pendeteksi dini tsunami dari perairan Indonesia dan ditambah dengan kurangnya pengetahuan masyarakat terkait tanda-tanda akan terjadinya tsunami, seperti surutnya air laut. Sehingga, dilakukan perancangan *prototype* instrumen pendeteksi dini tsunami dengan memanfaatkan prinsip refleksi gelombang. Sensor ultrasonik dan sensor efek doppler dikombinasikan dengan mengaplikasikan konsep penembakan dan penerimaan kembali gelombang. Pengujian dilakukan terhadap model uji rekayasa kondisi tsunami untuk melihat kemampuan instrumen dalam mendapatkan data ketinggian dan kecepatan perubahan ketinggian air. Kedua sensor mampu mendapatkan nilai ketinggian air dan kecepatan perubahan ketinggian air dengan tingkat *error* $\pm 10^{-2}$. Kecepatan surut air yang dikategorikan sebagai tanda-tanda tsunami pada model uji rekayasa adalah di atas 2 cm/s. Instrumen pendeteksi dini tsunami yang dibangun pada penelitian ini merupakan instrumen yang bisa digunakan untuk memberikan peringatan terhadap tsunami akibat aktivitas tektonik.

Kata kunci : Aktivitas tektonik, Efek doppler, Refleksi gelombang, Tsunami, Ultrasonik

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN OF TSUNAMI EARLY WARNING SYSTEM PROTOTYPE BY UTILIZING THE PRINCIPLE OF WAVE REFLECTION

Name : Kharis Aulia Alam
NRP : 0341154000050
Department : Geophysical Engineering
Supervisor I : Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si.
Supervisor II : Juan Pandu Gya N. R., S.Si, M.T.

ABSTRACT

Indonesia's tectonic conditions related to continental and oceanic plates have made Indonesia a country with a high level of earthquake hazard. Earthquakes with certain parameters can trigger a tsunami disaster. Until 2019, more than 150.000 fatalities have fallen which certainly cannot be separated from the absence of early warning system technology from Indonesian sea and coupled with a lack of public knowledge regarding signs of tsunami, such as the recede of sea water level. So, the prototype of tsunami early detection instrument designed by utilizing the principle of wave reflection. Ultrasonic and doppler sensors are combined by applying the concept of transmitting and receiving the electromagnetic wave. Tests carried out on the tsunami condition engineering test model to see the ability of the instrument to obtain altitude data and speed of change in water level. Both sensors are able to get the value of water level and speed of change in water level with an error rate of $\pm 10^{-2}$. The rate of water receding which is categorized as tsunami signs in the engineering test model is above 2 cm / s. The tsunami early detection instrument built in this research is an instrument that can be used to provide a warning against tsunamis due to tectonic activity.

Key words : Doppler effect, Tectonic activity, Tsunami, Ultrasonic, Wave Reflection

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmatNya sehingga Tugas Akhir berjudul “**Rancang Bangun *Prototype* Instrumen Pendeteksi Dini Tsunami dengan Memanfaatkan Prinsip Refleksi Gelombang**” dapat diselesaikan tanpa adanya halangan yang berarti. Tentunya, dalam penulisan Tugas Akhir ini banyak sekali bantuan dan dukungan yang penulis dapatkan dari berbagai pihak. Maka dari itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua dan adik yang selalu memberi semangat dan doa, serta kasih sayang yang tidak pernah ada habisnya.
2. Bapak Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si. dan Bapak Juan Pandu Gya Nur Rochman, S.Si, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membagi ilmu dan wawasan, serta membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Mariyanto, S.Si., M.T. dan Ibu Anik Hilyah, S.Si., M.T. selaku dosen penguji atas kritik yang membangun dan juga saran untuk menjadikan Tugas Akhir ini semakin baik.
4. Nadya Meilita, sebagai pribadi yang selalu mendampingi dalam melewati susah dan senangnya Tugas Akhir ini.
5. Keluarga besar TG04 yang telah menemani penulis dari awal perkuliahan dan menjadi tempat berbagi cerita penulis. Terima kasih atas tawa dan canda yang membantu mengembalikan semangat penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. HMTG ITS, terutama sahabat penulis di Departemen Pengabdian Masyarakat atas semangat dan dukungan yang selalu diberikan.
7. Teman dan sahabat penulis yang namanya tidak bisa ditulis semua dalam kata pengantar ini, atas segala doa yang selalu diucapkan untuk kemudahan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis sangat menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, kritk dan saran sangat dibutuhkan untuk mengembangkan penelitian ini. Besar harapan penulis, penelitian ini dapat bermanfaat bagi perkembangan teknologi di Indonesia, lebih khusus lagi untuk kebaikan masyarakat

Surabaya, 15 Juli 2019

Kharis Aulia Alam

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa keseluruhan isi dari Tugas Akhir berjudul “**Rancang Bangun *Prototype* Instrumen Pendeteksi Dini Tsunami Dengan Memanfaatkan Prinsip Refleksi Gelombang**” ini adalah benar hasil karya intelektual mandiri dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 15 Juli 2019

Kharis Aulia Alam

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	xi
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GAMBAR.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Batasan Masalah	2
1.3 Rumusan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
1.6 Target Luaran.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Dasar Teori.....	3
2.1.1 Aktivitas Tektonik.....	3
2.1.2 Tsunami.....	4
2.1.3 Sistem Peringatan Dini Tsunami di Indonesia.....	8
2.1.4 Pasang Surut.....	10
2.1.5 Refleksi Gelombang	11
2.1.6 Gelombang Ultrasonik	12
2.1.7 Efek Doppler	13
2.1.8 Mikrokontroler dan Arduino	14
2.2 Penelitian Terdahulu	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17

3.1	Waktu dan Tempat Pelaksanaan	17
3.2	Alat dan Bahan.....	17
3.3	Alur Penelitian	19
3.4	Langkah Kerja.....	20
3.4.1	Studi Literatur	20
3.4.2	Rancang Desain dan Pembuatan Alat	20
3.4.3	Data Sekunder : Data Pasang Surut.....	22
3.4.4	Kalibrasi dan Pengujian Instrumen	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		25
4.1	Analisis Kecepatan Pasang dan Surut	25
4.1.1	Stasiun Pasang Surut Pantoloan, Sulawesi Tengah.....	25
4.1.2	Stasiun Pasang Surut Carik, Nusa Tenggara Barat	27
4.1.3	Stasiun Pasang Surut Luwuk, Sulawesi Tengah	28
4.1.4	Pemanfaatan Data Kecepatan Pasang Surut	29
4.2	<i>Prototype</i> Instrumen Pendeteksi Dini Tsunami	30
4.2.1	Rangkaian Perangkat Keras	30
4.2.2	Perangkat Lunak	31
4.3	Kalibrasi Instrumen.....	33
4.4	Pengujian Instrumen	37
4.4.1	Pengondisian Model Uji.....	38
4.4.2	Perekayasaan Kondisi Pasang Surut Normal	39
4.4.3	Perekayasaan Kondisi Perairan Sebelum Terjadinya Tsunami Akibat Aktivitas Tektonik	40
4.4.4	Perekayasaan Kondisi Perairan Sebelum Terjadinya Tsunami Akibat Longsoran	41
4.5	Penyimpanan Data	43
4.6	Analisis Akhir <i>Prototype</i> Instrumen Pendeteksi Dini Tsunami	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		47
5.1	Kesimpulan	47

5.2	Saran	47
DAFTAR PUSTAKA.....		49
LAMPIRAN		51
BIOGRAFI PENULIS		67

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Kecepatan pasang surut di Stasiun Pasang Surut Pantoloan tanggal 22 Maret 2019 (12:00 WIB) hingga 23 Maret 2019 (12:00 WIB).....	25
Tabel 4.2 Kecepatan pasang surut di Stasiun Pasang Surut Carik tanggal 17 April 2019 (18:00 WIB) hingga 18 April 2019 (14:00 WIB)	27
Tabel 4.3 Kecepatan pasang surut di Stasiun Pasang Surut Luwuk tanggal 10 April 2019 (18:00 WIB) hingga 11 April 2019 (11:30 WIB)	28
Tabel 4.4 Data kalibrasi nilai posisi dari sensor ultrasonik HC-SR04	34
Tabel 4.5 Data kalibrasi nilai kecepatan gerak objek dari sensor ultrasonik dan sensor doppler.....	36

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta lempeng utama yang berperan sebagai pembangkit aktivitas ke gempa di Indonesia (Rohadi, 2009)	4
Gambar 2.2 Ilustrasi pergerakan tsunami dengan panjang gelombang λ dan amplitudo A yang berpropagasi setelah fenomena ‘waterberg’ (Margaritondo, 2005).....	5
Gambar 2.3 Ilustrasi proses terjadinya tsunami akibat gempa tektonik	6
Gambar 2.4 Ilustrasi proses terjadinya tsunami akibat aktivitas vulkanis	7
Gambar 2.5 Ilustrasi proses terjadinya tsunami akibat longoran	7
Gambar 2.6 Skema pendekatan <i>end-to-end German-Indonesia Tsunami Early Warning System</i> (Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika, 2010).....	8
Gambar 2.7 <i>Tide gauges</i> di Indonesia yang dipasang oleh GFZ, UHSLC, dan BIG (Lauterjung dan Letz, 2017)	9
Gambar 2.8 Bumi dan bulan dilihat dari atas kutub utara yang memperlihatkan lautan tertarik oleh gravitasi bulan (Mann dan Lazier, 2006).....	10
Gambar 2.9 Arah gelombang datang dan gelombang pantul (Abdullah, 2017)	12
Gambar 2.10 Ilustrasi pengukuran metode <i>time-of-flight</i> (Webster, 1999).....	13
Gambar 2.11 <i>Buoy</i> yang dikembangkan oleh Indonesia dan Jerman (Schone dkk., 2011).....	15
Gambar 3.1 Komponen yang digunakan dalam pembuatan instrumen	17
Gambar 3.2 Alur kerja penelitian	19
Gambar 3.3 Prinsip kerja instrumen.....	20
Gambar 3.4 Desain <i>prototype</i> instrumen tampak depan	21
Gambar 3.5 Desain <i>prototype</i> instrumen tampak samping kiri	21
Gambar 3.6 (a) Kalibrasi sensor posisi 1, (b) Kalibrasi sensor posisi 2.....	22
Gambar 3.7 Ilustrasi rekayasa model uji tsunami akibat aktivitas tektonik. (a) Kondisi awal model uji, (b) Kondisi model uji saat air dikeluarkan dari wadah	23

Gambar 3.8 Ilustrasi rekayasa model uji tsunami akibat longsor. (a) Kondisi awal model uji, (b) Kondisi model uji saat air diberikan beban secara tiba-tiba	24
Gambar 4.1 Grafik ketinggian muka air laut di Stasiun Pasang Surut Pantoloan tanggal 22 Maret 2019 (12:00 WIB) hingga 23 Maret 2019 (12:00 WIB)	26
Gambar 4.2 Grafik ketinggian muka air laut di Stasiun Pasang Surut Carik tanggal 17 April 2019 (18:00 WIB) hingga 18 April 2019 (14:00 WIB)	28
Gambar 4.3 Grafik ketinggian muka air laut di Stasiun Pasang Surut Luwuk tanggal 10 April 2019 (18:00 WIB) hingga 11 April 2019 (11:30 WIB)	29
Gambar 4.4 <i>Prototype</i> instrumen pendeteksi tsunami tampak kiri	30
Gambar 4.5 <i>Prototype</i> instrumen pendeteksi tsunami tampak kanan	31
Gambar 4.6 Diagram alir <i>script</i> Arduino	32
Gambar 4.7 Diagram alir <i>script</i> Processing sebagai aplikasi penampil data ..	32
Gambar 4.8 Tampilan data	33
Gambar 4.9 Grafik perbandingan posisi objek sebenarnya dengan posisi objek hasil pengukuran sensor ultrasonik	35
Gambar 4.10 Grafik perbandingan kecepatan sebenarnya dengan kecepatan hasil pengukuran sensor ultrasonik dan sensor doppler	37
Gambar 4.11 Tampilan data pada saat pengondisian model uji	38
Gambar 4.12 Tampilan data pada saat perekayasaan kondisi pasang surut normal	39
Gambar 4.13 Tampilan data pada saat perekayasaan kondisi surut air sebelum terjadinya tsunami akibat aktivitas tektonik	40
Gambar 4.14 Cuplikan data grafik perubahan ketinggian air pada perekayasaan kondisi surut air sebelum terjadinya tsunami akibat aktivitas tektonik	41
Gambar 4.15 Tampilan data pada saat perekayasaan kondisi gelombang pasang akibat tsunami longsor	42
Gambar 4.16 Contoh data-data instrumen yang sudah tersimpan	43

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia berada pada pertemuan 3 lempeng tektonik utama dunia, yaitu Lempeng Samudera Pasifik di bagian timur, Lempeng Samudera India-Australia di bagian selatan, dan Lempeng Eurasia di bagian utara, serta ditambah dengan lempeng laut Filipina. Pergerakan dari ketiga lempeng ini cenderung saling mendekati satu sama lain. Akibat dari pergerakan lempeng ini adalah penumpukkan tekanan mekanis di daerah pertemuannya. Ketika fase elastisitas batuan sudah tidak mampu menahan tekanan, batuan akan pecah dan memberikan gaya balik menuju posisi normal sebelum pembebanan tekanan. Gaya balik ini cukup untuk menginisiasi gelombang seismik kuat yang merambat ke segala arah. Lebih lanjutnya lagi, jika gelombang seismik kuat ini bersumber dari dasar laut, maka bencana alam tsunami dapat terjadi. (Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika, 2012)

Tsunami merupakan gelombang air laut yang bergerak menuju daratan dengan kecepatan yang sangat besar. Sebagai negara yang memiliki garis pantai yang panjang, Indonesia tergolong rawan terhadap bencana tsunami ini. Hingga awal tahun 2018, BNPB mencatat bahwa pernah terjadi tsunami sejumlah 29 kali di perairan Indonesia. BNPB juga mencatat sebanyak 173.618 jiwa meninggal dunia akibat bencana ini. Penyebab jatuhnya banyak korban ini adalah minimnya pengetahuan masyarakat tentang tanda-tanda sebelum terjadinya tsunami, seperti surutnya air laut. Dengan adanya tanda-tanda seperti surutnya air laut ini, mitigasi bencana tsunami seharusnya bisa dikembangkan untuk memprediksi tsunami dengan bantuan prinsip-prinsip fisika seperti refleksi gelombang (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2018)

Menurut Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika (2010), Indonesia pada dasarnya memiliki alat deteksi dini untuk tsunami akibat aktivitas tektonik yang merupakan hibah dari beberapa negara. Namun, kondisi alat-alat ini sudah tidak layak pakai atau bahkan sudah tidak diketahui posisinya. Oleh karena ketidakadaan instrumen ini, peringatan dini tsunami di Indonesia pada saat ini hanya mengandalkan metode pemodelan gempa yang tentunya berpengaruh pada kecepatan penyampaian informasi bencana. Dalam Webster (1999) dikatakan bahwa prinsip refleksi gelombang mampu memberikan informasi terkait parameter ketinggian air dan kecepatan surut air dengan bantuan sensor-sensor yang murah dan

mudah dirawat. Maka dari itu, optimalisasi keberadaan teknologi ini perlu digencarkan untuk membuat instrumen pendeteksi dini tsunami yang tidak membutuhkan biaya besar, mudah dirawat, dan mampu memberikan informasi akurat sehingga bencana tsunami yang bisa terjadi di masa mendatang bisa diperkirakan dan tidak memakan korban jiwa kembali.

1.2 Batasan Masalah

Batasan-batasan yang diterapkan pada penelitian ini adalah :

1. Instrumen pendeteksi dini tsunami dirancang menggunakan sensor gelombang yang memanfaatkan prinsip refleksi gelombang
2. Instrumen dirancang dalam skala laboratorium
3. Pengujian instrumen dilakukan untuk 2 jenis tsunami, yaitu tsunami akibat aktivitas tektonik dan tsunami akibat longsoran dalam lautan

1.3 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat beberapa rumusan masalah, yaitu :

1. Bagaimana cara mendeteksi tsunami dengan memanfaatkan prinsip refleksi gelombang?
2. Bagaimana rancangan pengaplikasian instrumen ini dalam sistem peringatan dini di Indonesia?

1.4 Tujuan

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk :

1. Membangun *prototype* instrumen pendeteksi dini tsunami dengan memanfaatkan prinsip refleksi gelombang
2. Merancang pengaplikasian instrumen tersebut dalam sistem peringatan dini tsunami di Indonesia

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat bermanfaat bagi beberapa pihak, salah satunya Departemen Teknik Geofisika ITS (DTG ITS) karena keluaran dari penelitian ini dapat membuktikan peran nyata DTG ITS dalam mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi yang berdampak luas dan langsung ke masyarakat. Bagi pengembang sistem pendeteksi dini tsunami di Indonesia, penelitian ini harapannya bisa dijadikan pedoman dalam membangun sistem yang lebih baik.

1.6 Target Luaran

Keluaran yang ingin didapatkan dari penelitian ini adalah :

1. *Prototype* instrumen pendeteksi dini tsunami

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

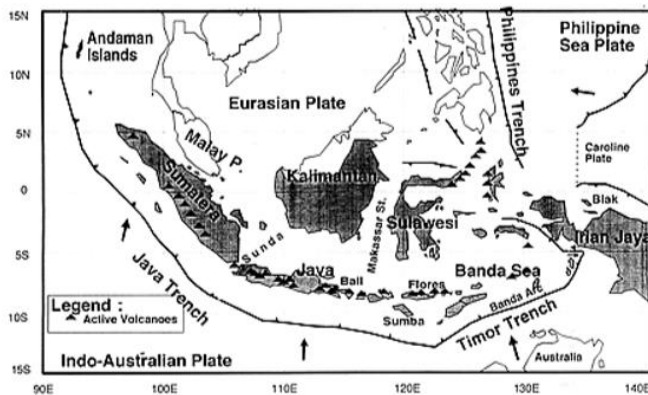
2.1.1 Aktivitas Tektonik

Lempeng tektonik merupakan konsep sains yang relatif baru, dikemukakan sekitar 30 tahun yang lalu, namun sudah merevolusi pandangan terhadap kedinamisan planet bumi. Teori ini menggabungkan pemahaman tentang *paleontologi* hingga *seismologi* hingga mampu memberikan penjelasan terhadap spekulasi ilmuwan selama berabad-abad terkait bagaimana terjadinya gempa bumi dan pembentukan gunung api. Ilmuwan kini telah memahami dengan baik bagaimana lempeng bergerak dan hubungannya dengan aktivitas kegempaan di dunia. Mayoritas pergerakan lempeng terjadi di sepanjang zona sempit antar lempeng dimana ditemukan bukti yang sangat jelas akibat tenaga tektonik lempeng. Ada 3 tipe batas lempeng yang berkembang di dunia, yaitu *divergent* dimana kerak terbentuk ketika dua lempeng atau lebih bergerak saling menjauhi, *convergent* dimana suatu lempeng menyusup ke bawah lempeng lainnya, dan *transform* dimana suatu lempeng bergerak secara horizontal melewati lempeng lainnya. (Kious dan Tilling, 1996)

Gempabumi adalah sebuah istilah dimana terjadi suatu getaran di permukaan bumi yang disebabkan oleh pergerakan mendadak pada suatu tubuh batuan karena proses pelepasan dari akumulasi regangan energi di luar batas elastisitas batuan. Kebanyakan gempa bumi disebabkan dari suatu tegangan pada lempeng yang bergerak kemudian melepaskan energi. Semakin lama tegangan itu semakin membesar dan akhirnya mencapai pada keadaan dimana tegangan tersebut tidak dapat ditahan lagi oleh massa batuan. Besar kekuatan gempa bumi dapat diukur dengan menggunakan 3 skala, yaitu berdasarkan energi yang dilepaskan di pusat gempa, berdasarkan tingkat kerusakan yang diakibatkan oleh gempa, dan berdasarkan percepatan batuan dasar maksimum. (Salsabil dkk., 2018)

Kegempaan di wilayah Indonesia merupakan konsekuensi dari aktivitas empat lempeng utama yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia, Pasifik, dan lempeng laut Filipina, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.1. Sedangkan, struktur tektonik busur sunda terbentuk akibat tumbukan lempeng Eurasia sekitar 50 juta tahun yang lalu. Lempeng Indo-Australia yang relatif bergerak ke arah utara bertemu dengan lempeng Eurasia yang relatif diam. Kecepatan dari lempeng Indo-Australia ini sekitar 5,5 cm/tahun pada daerah Sumatera dan sekitar 6,5 cm/tahun di daerah Jawa. Sedangkan,

pada bagian timur Indonesia aktivitas kegempaan merupakan aktivitas pada batas kontinen Australia, Asia Tenggara, lempeng Samudera Pasifik, dan lempeng Filipina yang bertemu dengan kecepatan 8-11 cm/tahun. (Rohadi, 2009)



Gambar 2.1 Peta lempeng utama yang berperan sebagai pembangkit aktivitas kegempaan di Indonesia (Rohadi, 2009)

Dalam penelitian tentang seismotektonik di wilayah Nusa Tenggara Barat yang dilakukan oleh Devalentino dan Sunardi (2015), dikemukakan bahwa distribusi gempabumi nampak lebih menyebar di zona subduksi bagian Selatan dan zona *back arc thrust* di bagian utara. Terdapat banyak gempabumi dengan *fix depth* 10 km membentuk pola garis lurus pada kedua zona tersebut. Hiposenter gempabumi lebih terkonsentrasi pada suatu pola struktur. Keadaan ini diinterpretasi sebagai akibat dari satu mekanisme gempabumi yang sama dan terletak saling berdekatan pada satu pola bidang patahan atau struktur.

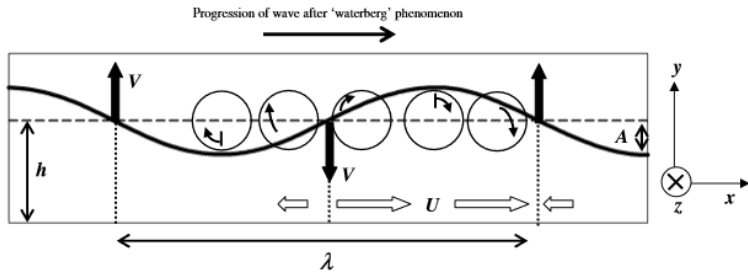
2.1.2 Tsunami

Tsunami adalah gelombang air laut yang merambat ke segala arah dan terjadi karena adanya gangguan impulsif pada dasar laut. Gangguan impulsif terjadi karena perubahan bentuk struktur geologi dasar laut secara vertikal utamanya dan dalam waktu singkat. Perubahan tersebut disebabkan oleh tiga sumber utama, yaitu gempabumi tektonik, letusan gunung api, atau letusan yang terjadi di dasar laut. (Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika, 2012)

Hal yang paling menyebabkan tsunami adalah aktivitas tektonik. Selama lebih dari 2000 tahun, gempabumi telah menyebabkan 82,3% dari jumlah tsunami yang terjadi di Samudera Pasifik. Perpindahan mantel bumi

sejauh beberapa meter pada saat gempa bumi bawah laut terjadi dapat memberikan energi yang sangat besar bagi air di atasnya. Walaupun begitu, hanya 2/3 dari tsunami di Samudera Pasifik tergolong sebagai tsunami yang menghancurkan. Tsunami tersebut berasosiasi dengan gempa bumi yang memiliki besar gelombang permukaan lebih dari atau sama dengan 7,5 satuan magnitudo. (Bryant, 2008)

Menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (2012), Gempabumi yang dapat memicu tsunami memiliki beberapa kriteria, salah satunya adalah merupakan gempa bumi yang terjadi di bawah laut. Kekuatan gempa bumi tersebut lebih besar atau sama dengan 7 Skala Richter dengan kedalaman gempa bumi kurang dari 100 km. Pergerakan lempeng tektonik terjadi secara vertikal, yang dapat mengakibatkan dasar laut naik atau turun, dan mengangkat atau menurunkan kolom air di atasnya.



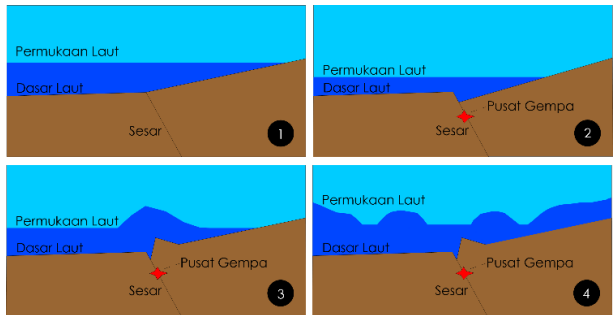
Gambar 2.2 Ilustrasi pergerakan tsunami dengan panjang gelombang λ dan amplitudo A yang berpropagasi setelah fenomena 'waterberg' (Margaritondo, 2005)

Menurut Margaritondo (2005), kecepatan tsunami sebenarnya tergantung oleh lokasi gempa bumi di lautan yang menyebabkan gelombang laut dangkal dimulai. Diketahui dari teori gelombang, bahwa gelombang memindahkan energi bukan memindahkan zat. Dimisalkan pergerakan gelombang tsunami terjadi setelah fenomena *waterberg*. Gambar 2.1 di bawah menjelaskan tentang perkembangan gelombang ke arah kanan. Pergerakan yang melingkar menunjukkan bahwa permukaan air meregang dan menginisiasi riak atau gelombang kapiler yang mampu mengumpulkan molekul lebih banyak ketika bergerak. Ada 2 arah gerak kecepatan, yaitu kecepatan horizontal pada arah sumbu- x dan kecepatan vertikal pada arah sumbu- y yang direpresentasikan dengan V_H dan V_V secara berurutan. Sesuai dengan informasi yang diketahui, amplitudo yang terbentuk pada kondisi ini dimisalkan sebagai A , dimana $A \leq h \leq \lambda$. Dengan menggunakan pendekatan fisika tentang pergerakan satu gelombang pada Gambar 2.2 dan energi

potensial dan kinetiknya, serta mengingat sifat gelombang terhadap pergerakan elipsoidal lokal dari partikel air, maka persamaan untuk kecepatan gelombang air dangkal didefinisikan sebagai berikut :

$$v = \sqrt{g hw} \quad (1)$$

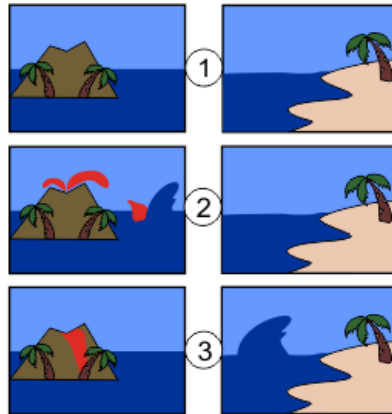
Energi E , kecepatan v , dan panjang gelombang λ berkurang, sedangkan amplitudo A bertambah ketika gelombang tsunami mencapai daratan. Perubahan tinggi gelombang ketika mendekati pesisir pantai membuat tsunami sulit untuk dideteksi pada fase awal. Dicontohkan pada kasus tsunami Aceh tahun 2004, perhitungan energi gempa bumi menggunakan persamaan GR memberikan informasi bahwa ‘ledakan’ besar energi di bawah laut yang berjarak 160 km Sumatra Utara kira-kira setara dengan 1 gigaton TNT atau 80.000 bom atom Hiroshima “Little Boy”. Hanya 1% dari keseleruhan energi ini yang berpindah ke energi *waterberg* atau sekitar 800 bom atom Hiroshima, yang merupakan awal pergerakan gelombang tsunami. Kemudian pada saat tsunami bergerak, energi gelombang tsunami hanya 10% dari energi *waterberg* yang setara 80 bom atom Hiroshima berkecepatan serupa kecepatan pesawat Boeing dengan panjang gelombang yang besar. Energi tersebut akan melemah sesuai dengan fenomena pengurangan energi dengan kecepatan yang lebih rendah saat mencapai daratan. (Halif dan Sabki, 2005)



Gambar 2.3 Ilustrasi proses terjadinya tsunami akibat gempa tektonik

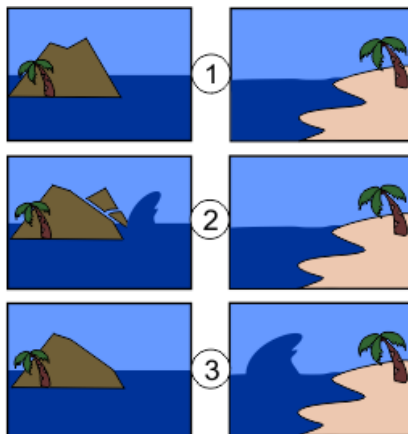
Dalam Diposaptono dan Budiman (2006), dikatakan oleh Prof. Yoshiaki Kawata selaku Kepala Pusat Penelitian Bencana Besar, Institut Penelitian Pencegahan Bencana, Universitas Kyoto, bahwa tsunami terjadi akibat pergerakan air dalam volume besar secara vertikal. Dimana pergerakan tersebut terjadi akibat 3 hal, yaitu gempa tektonik, longsor, dan aktivitas vulkanis. Ilustrasi dari tsunami yang disebabkan oleh gempa tektonik ditampilkan pada Gambar 2.3 di atas. Dalam Gambar 2.3

ditampilkan peristiwa melentingnya lempeng benua yang menyebabkan gelombang tsunami. Untuk tsunami akibat aktivitas vulkanis, peristiwa-peristiwa yang terjadi diilustrasikan pada Gambar 2.4 di bawah.



Gambar 2.4 Ilustrasi proses terjadinya tsunami akibat aktivitas vulkanis

Gambar 2.4 menampilkan proses keluarnya lava atau material lain dari dalam bumi yang kemudian masuk ke laut dan menyebabkan terjadinya kenaikan permukaan air. Gelombang yang disebabkan oleh masuknya material tersebut kemudian bergerak ke daratan terdekat dan menjadi semakin tinggi. Hal inilah yang dianggap sebagai tsunami. Sedangkan, untuk tsunami akibat longoran ditampilkan pada Gambar 2.5.

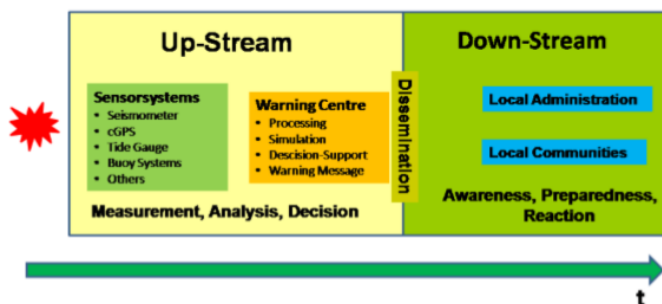


Gambar 2.5 Ilustrasi proses terjadinya tsunami akibat longoran

Dalam Gambar 2.5 ditampilkan proses terbentuknya gelombang tsunami. Gelombang tsunami terjadi akibat masuknya sebagian tubuh gunung ke dalam laut akibat longsoran. Penambahan volume akibat masuknya tubuh gunung tersebut membuat permukaan air laut naik. Gelombang tersebut kemudian bergerak ke arah daratan terdekat dengan gelombang yang semakin tinggi. Gelombang inilah yang dianggap sebagai tsunami akibat longsoran.

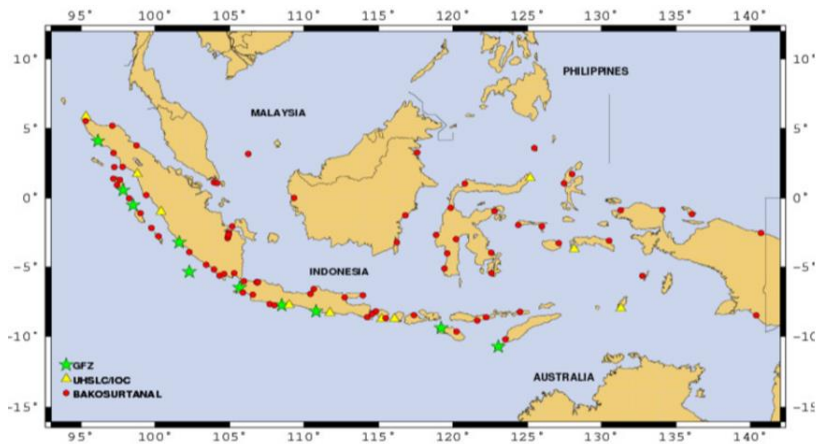
2.1.3 Sistem Peringatan Dini Tsunami di Indonesia

Sistem peringatan dini adalah kombinasi kemampuan teknologi dan kemampuan masyarakat untuk menindaklanjuti hasil dari peringatan dini tersebut. Peringatan dini sebagai bagian dari pengurangan risiko bencana tidak hanya mengenai peringatan yang akurat secara teknis, tetapi juga harus membangun pemahaman risiko yang baik dari suatu peringatan, menjalin hubungan antara penyedia dengan pengguna peringatan, dan juga meningkatkan kemampuan otoritas dan masyarakat untuk bereaksi secara benar terhadap peringatan dini. Jika salah satu komponen tersebut tidak terpenuhi, maka sistem peringatan dini tidak akan berhasil secara keseluruhan. Dalam rangka mengurangi risiko bencana, sistem peringatan dini tsunami seperti BMKG (*Indonesia Tsunami Early Warning System*) harus mengeluarkan dan menyebarkan peringatan dengan cepat, tepat sasaran, dan teruji secara ilmiah dan jelas agar mudah untuk dimengerti dan dipahami. Namun sistem tersebut dianggap efektif dan sukses jika peringatan-peringatan yang dibuat dapat memicu reaksi yang tepat dan masyarakat mampu menyelamatkan diri sendiri sebelum tsunami datang. Hal ini menunjukkan bahwa peringatan dini lebih dari sekedar teknologi saja. (Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika, 2012)



Gambar 2.6 Skema pendekatan *end-to-end German-Indonesia Tsunami Early Warning System* (Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika, 2010)

Macam-macam sensor, seperti sistem seismik, *Global Positioning System*, dan *Tide Gauge System* sudah dipasang oleh instansi terkait di Indonesia dan rekan internasional lainnya. Data-data tersebut digabungkan dan diintegrasikan pada Pusat Sistem Peringatan Dini Tsunami di BMKG. Sistem yang dikembangkan menggunakan konsep *end-to-end* dengan skema seperti Gambar 2.6 di atas ini. Parameter gempa bumi, seperti lokasi dan kekuatan merupakan parameter-parameter masukan untuk simulasi tsunami. Gempa bumi yang besar tidak hanya berpengaruh lokal, melainkan membuat pecahan atau patahan sejauh ratusan kilometer dan memiliki distribusi yang heterogen. Maka dari itu, strategi untuk deteksi dini tsunami perlu dibedakan menjadi 2, yaitu *far-field tsunami* dan *near-field tsunami*. *Near-field tsunami* merupakan tipe tsunami yang sering melanda Indonesia, dimana jarak perpindahan gelombang tsunami ke pesisir terdekat sama dengan ukuran patahan. Tsunami jenis ini dapat bergerak dari sumbernya hingga mencapai pesisir hanya dalam waktu 20-40 menit. Maka dari itu GITEWS perlu untuk menggabungkan data-data yang didapatkan dari instrumen dengan pemodelan yang dikembangkan dalam waktu yang singkat dan hasil yang tepat. (Lauterjung dan Letz, 2017)



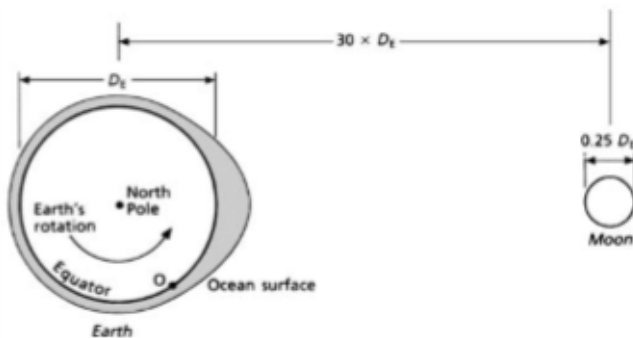
Gambar 2.7 Tide gauges di Indonesia yang dipasang oleh GFZ, UHSLC, dan BIG (Lauterjung dan Letz, 2017)

Sistem *monitoring* seismik dipasang sebanyak 21 buah di seluruh Indonesia dalam proyek GITEWS. Sistem ini dipasang untuk mendapatkan data gempa bumi meliputi lokasi dan kekuatan yang kemudian dipadukan dengan transmisi *real-time* sehingga data dapat dengan cepat dikumpulkan dari pusat peringatan tsunami InaTEWS di Jakarta. Instrumen oseanografi

juga dipasang di pesisir pantai dan di sekitar daerah yang diperkirakan sebagai sumber tsunami. Untuk daerah lepas pantai, Indonesia mengembangkan *Buoys* yang terkoneksi dengan *Ocean Bottom Pressure Unit (OBU)* yang berfungsi sebagai pengirim data sensor tekanan bawah laut dari lepas pantai ke pangkalan data di daratan. *Tide gauge* yang dipasang di pesisir pantai mampu memberikan informasi terkait perubahan mendadak tinggi air laut. Posisi *tide gauge* di pantai Indonesia dapat dilihat pada Gambar 2.7 di atas. Selain instrumen, GITEWS juga mengembangkan pemodelan tsunami berdasarkan data-data gempa berkekuatan 7,0-9,0 M. (Lauterjung dan Letz, 2017)

2.1.4 Pasang Surut

Pasang surut (pasut) laut adalah fenomena naik dan turunnya permukaan air laut secara periodik yang disebabkan oleh pengaruh gravitasi benda-benda langit terutama bulan dan matahari. Puncak gelombang disebut sebagai pasang tinggi, sedangkan lembah gelombang disebut sebagai pasang rendah. Perbedaan vertikal antara pasang tinggi dan pasang rendah disebut rentang pasang surut atau tunggang pasut. Periode pasang surut adalah waktu antara puncak atau lembah gelombang ke puncak atau lembah gelombang berikutnya. Harga periode pasang surut bervariasi antara 12 jam 25 menit hingga 24 jam 50 menit. (Poerbandono dan Djunarsjah, 2005)



Gambar 2.8 Bumi dan bulan dilihat dari atas kutub utara yang memperlihatkan lautan tertarik oleh gravitasi bulan (Mann dan Lazier, 2006)

Pengujian efek gravitasi bulan terhadap lautan bumi disajikan dalam Gambar 2.8. Pada gambar tersebut, bumi dan bulan dilihat dari atas kutub utara bumi, dan keduanya diasumsikan pada posisi stasioner kecuali rotasi bumi. Pada kasus ini juga, bumi tidak memiliki benua melainkan hanya

ditutupi lapisan air yang seragam. Jika bulan tidak ada, lautan akan menutupi bumi dengan kedalaman yang sama. Bulan, bagaimanapun juga, akan mengeluarkan gaya tarik gravitasi kepada setiap partikel air di lautan dan menyebabkan air tersebut menumpuk di bawah bulan. Titik pengamat O, yang berputar dengan bumi sepanjang hari, akan menangkap informasi bahwa kedalaman lautan bertambah dan berkurang sekali dalam sehari. Pasang surut tinggi akan selalu berada di bawah bulan, sedangkan pasang surut rendah berada pada sisi lainnya. Mode dasar ini menghasilkan pasang surut tetapi tidak cukup baik karena kebanyakan tempat di bumi biasanya memiliki 2 pasang surut tinggi dan 2 pasang surut rendah dalam sehari. (Mann dan Lazier, 2006)

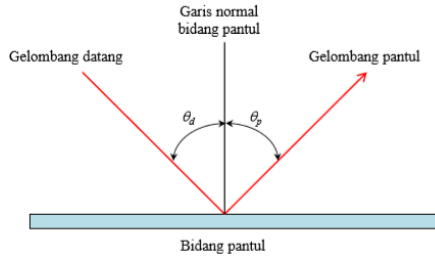
Dalam memprediksi pasang surut pada lautan yang sebenarnya, teori atau model di atas tidak dapat banyak membantu. Hal ini dikarenakan air yang meninggi karena penumpukan pasang surut dan harus bergerak mengikuti rotasi bumi yang juga semakin dibuat rumit dengan keberadaan benua. Pada dasarnya, ada kemungkinan untuk menciptakan persamaan yang masih kasar dan dinamis untuk memprediksi pasang surut, namun sifat pasang surut yang bergerak pada *basin* samudera sangat bergantung pada bentuk cekungannya dan tidak dapat diturunkan dengan persamaan matematika sederhana. Beberapa teori dapat digunakan dalam kasus yang memiliki informasi geometri dasar, namun umumnya pasang surut diprediksi dengan melakukan ekstrapolasi dari data pengukuran yang ada. Pengukuran ini biasanya dilakukan dengan mengukur tinggi pasang surut selama satu bulan, kemudian menguraikan datanya kedalam komponen sinusoidal. 4 komponen yang paling penting untuk memprediksi pasang surut adalah :

- *Lunar semi-diurnal* (M2) berperiode 12,42 jam
- *Solar semi-diurnal* (S2) berperiode 12,00 jam
- *Lunisolar diurnal* (K1) berperiode 23,93 jam
- *Principal lunar diurnal* (O1) berperiode 25,82 jam

Tentunya bentuk pasang surut atau pola naik turunnya air pada satu daerah berbeda dengan daerah lainnya. (Mann dan Lazier, 2006)

2.1.5 Refleksi Gelombang

Refleksi atau pemantulan adalah pembelokan arah rambat gelombang karena mengenai bidang batas medium yang berbeda. Gelombang pantul adalah gelombang yang berada pada medium yang sama dengan gelombang yang datang. Parameter-parameter yang erat kaitannya dengan fenomena pemantulan diilustrasikan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Arah gelombang datang dan gelombang pantul (Abdullah, 2017)

Dimana sudut datang adalah sudut yang dibentuk oleh sinar datang dan arah normal, sudut pantul adalah sudut yang dibentuk oleh arah sinar pantul dan arah normal, sedangkan arah normal adalah arah tegak lurus bidang pantul. Hukum pemantulan menyatakan bahwa besar sudut datang akan sama dengan besar sudut pantul. (Abdullah, 2017)

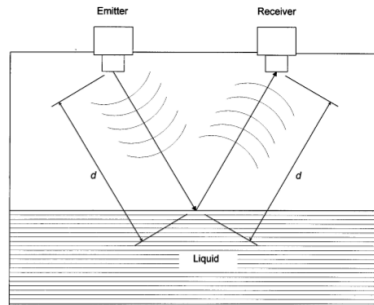
2.1.6 Gelombang Ultrasonik

Gelombang ultrasonik merupakan gelombang mekanik longitudinal dengan frekuensi di atas 20 kHz yang dapat merambat dalam medium padat, cair, dan gas. Setiap medium perambatan akan mempengaruhi pola perambatan berkas dari gelombang ultrasonik tersebut. Saat ini, telah banyak berkembang aplikasi gelombang ultrasonik, diantaranya dalam bidang kedokteran, kelautan, industri, dan pengujian-pengujian yang membutuhkan sumber tak merusak. Gelombang ultrasonik ini dibangkitkan dengan perangkat bernama transduser ultrasonik. (Ryaumariastini dkk., 2012)

Dalam Webster (1999), dikemukakan bahwa gelombang ultrasonik dapat digunakan untuk mengukur suatu level dari benda dengan menggunakan prinsip *time-of-flight* dari propagasi gelombang. Secara umum, metode ini merupakan metode pengukuran jarak. Metode ini banyak digunakan dalam industri karena sifat gelombangnya yang tidak merusak. Dasar dari metode ini adalah menggunakan sinyal buatan yang diemisikan menuju benda yang kemudian terpantul pada permukaan benda tersebut dan ditangkap oleh penerima. Gambar 2.10 di bawah menampilkan ilustrasi prinsip kerja dari metode ini. Sistem pengukur atau sensor mendapatkan nilai waktu tempuh berdasarkan persamaan berikut ini :

$$t = \frac{2d}{v} \quad (2)$$

Dimana t adalah waktu tempuh gelombang, d adalah jarak pemancar dan penerima dengan objek yang diobservasi, serta v adalah cepat rambat gelombang bergantung pada medium rambatnya. (Webster, 1999)



Gambar 2.10 Ilustrasi pengukuran metode *time-of-flight* (Webster, 1999)

2.1.7 Efek Doppler

Gejala Efek Doppler adalah gejala perbedaan frekuensi gelombang yang diterima oleh pengamat terhadap frekuensi gelombang yang dipancarkan oleh sumber ketika terdapat gerak relatif antara pengamat dengan sumber gelombang. Gejala Efek Doppler ini pertama kali dikemukakan oleh seorang ilmuwan asal Austria bernama Christian Doppler pada abad ke-19. Efek Doppler merupakan salah satu gejala penting dalam fisika dan memiliki penerapan yang sangat luas, terutama pada industri yang membutuhkan pengukuran yang tidak perlu kontak langsung dan tidak merusak. Efek Doppler ini juga berlaku pada gelombang elektromagnetik seperti cahaya dan gelombang radio. (Young dan Freedman, 2007)

Dasar dari Efek Doppler merupakan fakta bahwa pantulan dari permukaan gelombang ultrasonik yang bergerak dapat mengalami pergeseran frekuensi. Pada umumnya, magnitudo serta arah pergeseran mengandung informasi yang dapat dinyatakan gerakan dari permukaan. Untuk menggunakan Efek Doppler dalam pengukuran kecepatan aliran fluida, transduser ultrasonik mentransmisikan gelombang ultrasonik ke dalam aliran fluida. Gelombang ultrasonik yang ditransmisikan ke fluida akan diterima oleh *reciever* ultrasonik. Pergeseran frekuensi akibat dari aliran fluida sebanding dengan kecepatan fluida. (Novianta, 2010)

Hubungan antara pergeseran frekuensi, kecepatan sumber, dan kecepatan relatif pendengar terhadap medium. Dimisalkan f_s adalah frekuensi bunyi sumber, v_s dan v_p adalah kecepatan pada garis lurus untuk

sumber dan pendengar secara berturut-turut, dan f_p untuk frekuensi yang didengar oleh pendengar. Maka persamaannya dapat ditulis sebagai :

$$fp = \frac{v+vp}{\lambda} \quad (3)$$

$$fp = \frac{v+vp}{v/fs} \quad (4)$$

Dalam hal ini v adalah kecepatan rambat bunyi di medium. (Young dan Freedman, 2007)

2.1.8 Mikrokontroler dan Arduino

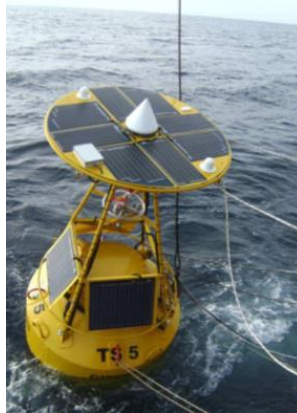
Mikrokontroler adalah sebuah komputer berukuran *chip*. Mikro berarti kecil dan kontroler mengartikan bahwa benda ini mampu bekerja sebagai pengontrol objek, proses, atau kegiatan. Mikrokontroler sangat lazim ditemukan pada seluruh perangkat yang membantu kehidupan manusia saat ini. Setiap perangkat yang melakukan pengukuran, penyimpanan, pengontrolan, perhitungan, dan penyampaian informasi akan sangat baik jika ditunjang dengan keberadaan mikrokontroler di dalamnya. Penggunaan paling besar dari sebuah mikrokontroler adalah automobil. (Axelson, 1997)

Arduino adalah sebuah *platform* yang dapat digunakan dalam perancangan suatu sistem elektronik dan bersifat *open source*. Platform arduino terdiri dari papan arduino sebagai perantara perangkat keras dan perangkat lunak, *shield*, dan arduino *integrated development environment* (IDE) yang bekerja sebagai kanvas pemrograman. Contoh arduino yang lazim digunakan adalah arduino Mega yang menggunakan *Integrated Circuit* (IC) mikrokontroler Atmega 2560. *Board* arduino Mega memiliki 54 *pin* digital untuk masukan dan keluaran, 15 *pin* keluaran PWM, 16 *pin* masukan analog, koneksi USB, dan *jack* untuk sumber tegangan. Bahasa pemrograman arduino serupa dengan bahasa C++, namun lebih sederhana dengan adanya fungsi-fungsi. Gambar 2.7 di bawah ini menampilkan bentuk dari papan arduino Mega.

2.2 Penelitian Terdahulu

Pengembangan instrumen peringatan dini tsunami di Indonesia pernah digalakkan oleh pemerintah Indonesia dengan bantuan beberapa instansi luar negeri. Salah satunya adalah kerjasama Indonesia melalui Badan Pengkajian dan Penerapan Teknoogi (BPPT) dengan Jerman. Pengembangan teknologi ini dilatar belakangi oleh kejadian tsunami di Pulau Sumatera bagian utara pada akhir tahun 2004, yang mana pada saat itu tidak ada sistem yang mampu mmberikan informasi lebih awal terkait bencana tsunami. Pengembangan instrumen pendeteksi dini tsunami yang dilakukan pada penelitian ini mengombinasikan beberapa sensor dan sistem

GPS di laut lepas untuk mengukur ketinggian air. Konsep dari alat ini adalah gabungan dari teknologi GPS dengan pengukuran tekanan bawah permukaan. Instrumen ini merupakan instrumen berbentuk pelampung yang mengambang ditengah lautan dan dijangkar pada *Ocean Bottom Unit* (OBU). Instrumen *buoy* ini juga dilengkapi dengan jaringan komunikasi untuk mengirimkan sinyal ke daratan. Foto instrumen hasil *buoy* yang dikembangkan ditampilkan pada Gambar 2.11. (Schone dkk., 2011)



Gambar 2.11 *Buoy* yang dikembangkan oleh Indonesia dan Jerman (Schone dkk., 2011)

Halaman ini sengaja dikosongkan

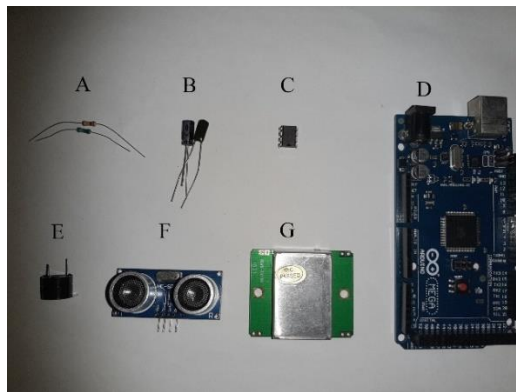
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan di kampus Sukolio Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada bulan Februari hingga Juni 2019.

3.2 Alat dan Bahan

Dalam pembuatan *prototype* instrumen pendeteksi dini tsunami ini diperlukan beberapa alat dan bahan. Komponen elektronik tersebut memiliki fungsinya masing-masing dalam rangkaian inti dari instrumen ini. Visual dari alat dan bahan ditampilkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Komponen yang digunakan dalam pembuatan instrumen

a. Resistor

Resistor dalam rangkaian ini berfungsi sebagai pengatur arus listrik yang masuk ke komponen selanjutnya. Ada beberapa nilai resistor berbeda yang digunakan, antara lain 8.200 ohm, 10.000 ohm, 12.000 ohm, 100.000 ohm, 330.000 ohm, 1.000.000 ohm. Resistor yang digunakan adalah resistor jenis *carbon film* (warna krem) dan *metal film* (warna biru). Resistor dalam instrumen ini dirangkai dalam rangkaian Op-Amp (*Operation Amplifier*), sebuah rangkaian tambahan untuk menyesuaikan keluaran dari sensor ke nilai yang bisa diolah.

b. Kapasitor

Kapasitor dalam rangkaian ini juga dipasang pada rangkaian penguat sinyal atau Op-Amp. Kegunaan kapasitor dalam rangkaian ini adalah sebagai penerus arus listrik serta menjaga arus agar tidak langsung masuk

ke komponen selanjutnya, terutama IC LM358. Kapasitor yang digunakan merupakan kapasitor berjenis kapasitor biasa non-polaritas dan kapasitor elektrolit.

c. IC LM358

IC atau *Integrated Circuit* tipe LM358 merupakan komponen yang didesain khusus untuk memanipulasi sinyal. IC-LM358 dilengkapi dengan 8 *pin*, dengan 2 *pin* berguna sebagai VCC atau sumber tegangan dan GND atau *ground* (0 V). 6 *pin* lain dari komponen ini berguna sebagai masukan (4 *pin*) dan keluaran (2 *pin*) atau bisa dikatakan komponen ini merupakan *dual-amplifier* karena dalam satu komponen terdapat 2 proses penguatan sinyal.

d. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan salah satu jenis *board* Arduino yang beredar di pasaran. Dalam *prototype* instrumen pendeteksi dini tsunami ini, Arduino Mega 2560 berfungsi sebagai otak atau pengontrol sistem. Arduino Mega 2560 dilengkapi dengan 16 *pin* masukan analog dan 54 *pin* masukan dan keluaran digital. Penggunaan *pin* digital dalam komponen adalah untuk mengirim sinyal ke sensor atau komponen lain, serta menerima data dari sensor. Papan Arduino ini dikirim *script* atau perintah dari komputer melalui kabel sambungan.

e. *Buzzer*

Buzzer merupakan suatu komponen keluaran yang mengubah sinyal ke dalam bentuk suara. Suara yang dihasilkan merupakan akibat dari getaran di dalam komponen tersebut. Dalam instrumen ini, *buzzer* digunakan sebagai penanda kondisi bahaya. *Buzzer* dikondisikan di dalam *script* yang dimasukkan ke dalam papan Arduino. *Buzzer* terdiri dari 2 *pin*, yaitu *pin* + dan 0V.

f. Sensor Ultrasonik HC-SR04

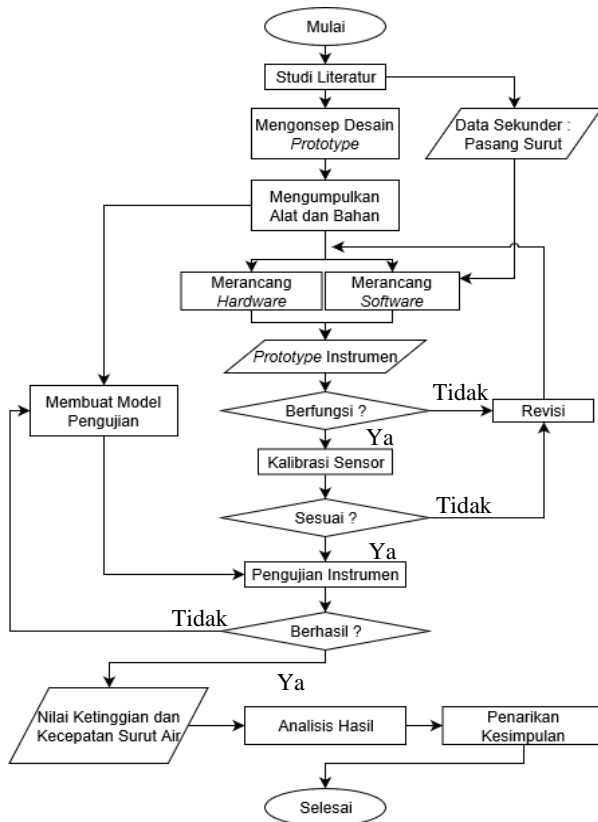
Sensor Ultrasonik HC-SR04 tergolong dalam sensor aktif, dimana sensor tersebut memiliki pembangkit sinyal. Selain pembangkit sinyal, sensor HC-SR04 juga dilengkapi dengan penangkap sinyal untuk menangkap sinyal yang dilepaskan oleh *transmitter*. Sensor HC-SR04 terdiri dari 4 *pin*, yaitu Vcc, Gnd, *Echo*, dan *Trigger*. *Pin* Vcc perlu dihubungkan dengan sumber daya agar sensor bisa bekerja. *Pin* Gnd dihubungkan dengan *Ground* atau 0V untuk membuat rangkaian tertutup. *Pin* *Trigger* dan *Echo* sebagai *pin transmitter* dan *receiver*. Sensor ini memiliki dimensi yang cukup kecil, 4.5 x 2 cm.

g. Sensor Efek Doppler HB-100

Sensor Doppler HB-100 merupakan sensor aktif yang terdiri dari 4 *pin*, 2 *pin* berlaku sebagai *ground*, 1 *pin* sebagai *VCC*, dan 1 *pin* lainnya sebagai *IF* atau *pin* yang menerima sinyal balik. Sensor ini mengeluarkan sinyal hasil dari getaran salah satu komponen kecil di dalam sensor tersebut. Sensor ini berasosiasi dengan pergerakan objek di depan sensor yang menyebabkan perubahan frekuensi balik yang diterima sensor. Nilai perubahan frekuensi inilah yang ditangkap sebagai kecepatan gerak benda. Sensor ini membutuhkan penguat sinyal karena perubahan frekuensi tergolong sangat kecil. Maka dari itu, dibuatlah rangkaian penguat sinyal sehingga nilai yang didapatkan dari sensor bisa diolah komputer.

3.3 Alur Penelitian

Alur penelitian dijelaskan dalam diagram alir pada Gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.2 Alur kerja penelitian

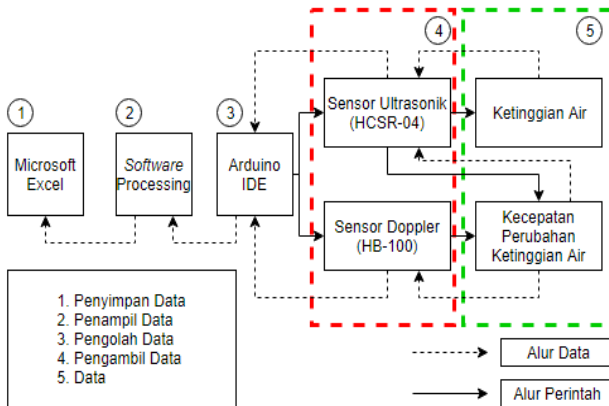
3.4 Langkah Kerja

3.4.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan informasi terkait sensor yang baik digunakan untuk menjawab tujuan dari penelitian ini. Dalam tahap ini juga dilakukan studi tentang instrumentasi terutama pengodingan Arduino dan mikrokontroler. Selain itu, studi literatur terkait penelitian-penelitian yang sudah dipublikasi sebelumnya dapat membantu untuk memahami hal-hal apa yang perlu dikembangkan dari penelitian terkait yang sudah ada.

3.4.2 Rancang Desain dan Pembuatan Alat

Perancangan desain *prototype* dilakukan setelah mengumpulkan sensor-sensor dan komponen-komponen yang dibutuhkan dalam mendukung penelitian ini serta prinsip kerja dari instrumen yang akan dibuat. Prinsip kerja dari instrumen ini ditampilkan pada Gambar 3.3 di bawah ini.

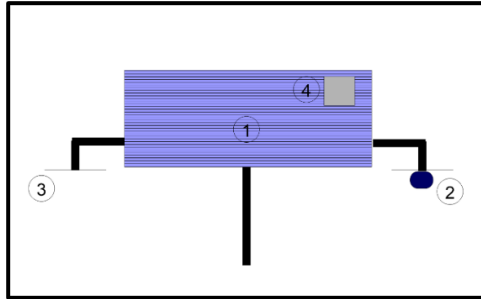


Gambar 3.3 Prinsip kerja instrumen

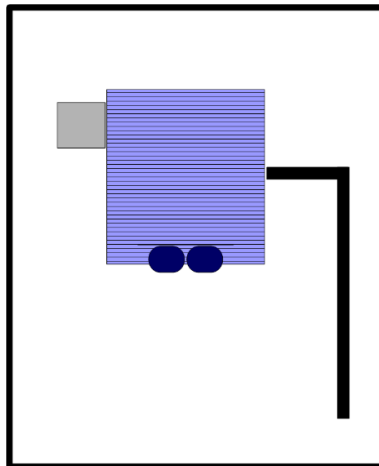
Perancangan *software* dilakukan pada perangkat lunak Arduino IDE. Pada tahap ini papan arduino dan mikrokontrolernya diberi perintah untuk mengambil data yang dibutuhkan dengan perantara sensor. Pada tahap perancangan *software* ini juga dilakukan pengondisian parameter tsunami yang nantinya memberi informasi setelah data hasil sensor diolah. Sedangkan, perancangan *hardware* bertujuan menggabungkan sensor-sensor dengan komponen lainnya agar instrumen yang dibangun terhubung dan berbentuk lebih ringkas. Adapun rancangan atau desain dari instrumen ini adalah seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5.

Dengan,

1. MCU (*Main Control Unit*)
2. Sensor Ultrasonik HCSR-04
3. Sensor Doppler HB100
4. *Buzzer*



Gambar 3.4 Desain *prototype* instrumen tampak depan



Gambar 3.5 Desain *prototype* instrumen tampak samping kiri

Instrumen dirancang memiliki dimensi panjang 15 cm, lebar 7 cm, dan tinggi 9 cm. Di dalam *Main Control Unit* terdapat papan Arduino dan rangkaian *amplifier*, serta kabel-kabel sambungan. Skema rangkaian *amplifier* yang digunakan merupakan skema yang dimodifikasi dari *datasheet* sensor doppler HB-100 yang bisa diakses dari situs resmi *manufacturer* dari sensor tersebut. Skema rangkaian *amplifier* dilampirkan pada lembar lampiran 3.

3.4.3 Data Sekunder : Data Pasang Surut

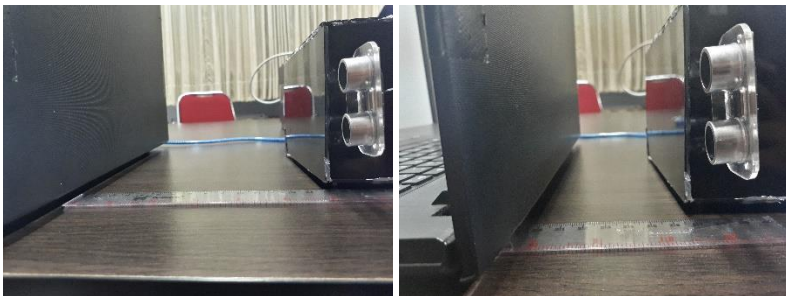
Data sekunder dalam penelitian ini adalah data pasang surut baik harian maupun tahunan dari salah satu stasiun *tide gauges* yang dipasang di wilayah Indonesia. Data tersebut bisa diakses secara bebas melalui situs yang dikelola oleh Badan Informasi Geospasial (BIG). Data tersebut digunakan untuk mendapatkan rata-rata kecepatan surut harian dari salah satu daerah yang dipasang stasiun *tide gauges* di Indonesia. Perhitungan kecepatan surut dilakukan dengan persamaan :

$$v = s/t \tag{3.1}$$

Dimana v adalah kecepatan surut, s merupakan perubahan ketinggian air, dan t adalah waktu yang dibutuhkan dari ketinggian awal menuju ketinggian akhir observasi. Informasi kecepatan surut air rata-rata ini akan dimasukkan ke dalam proses pengondisian parameter sensor kecepatan surut air.

3.4.4 Kalibrasi dan Pengujian Instrumen

Tahap kalibrasi alat dikhususkan untuk mengetahui seberapa akurat sensor dapat mengukur suatu parameter. Tahapan ini penting dilakukan agar tidak menyebabkan kesalahan pemberian informasi oleh instrumen yang dibangun. Sensor ketinggian air bisa dikalibrasi dengan bantuan penggaris, sedangkan sensor kecepatan surut akan dikalibrasi dengan membuat model sintesis sebuah pergerakan benda dan mengambil data perubahan posisi dan waktu perpindahannya. Setelah sensor terkalibrasi dengan benar, tahap selanjutnya adalah pengujian instrumen dengan parameter tsunami yang telah dikondisikan. Hasil dari pengujian alat ini akan dianalisis dan ditarik sebagai kesimpulan dari penelitian ini. Proses kalibrasi sensor dilakukan seperti pada Gambar 3.6 di bawah ini.



(a)

(b)

Gambar 3.6 (a) Kalibrasi sensor posisi 1, (b) Kalibrasi sensor posisi 2

Data jarak dari sensor ultrasonik dibandingkan dengan jarak asli objek terhadap sensor yang diukur dengan penggaris dengan asumsi bahwa

penggaris memberikan nilai jarak sebenarnya. Sedangkan data kecepatan dari sensor doppler dan sensor ultrasonik dibandingkan dengan data perhitungan perpindahan posisi yang terlihat pada penggaris terhadap waktu yang dicatat dengan menggunakan bantuan *stopwatch*. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan kecepatan sebenarnya adalah seperti di bawah ini.

$$v = \frac{\Delta s}{t} \quad (1)$$

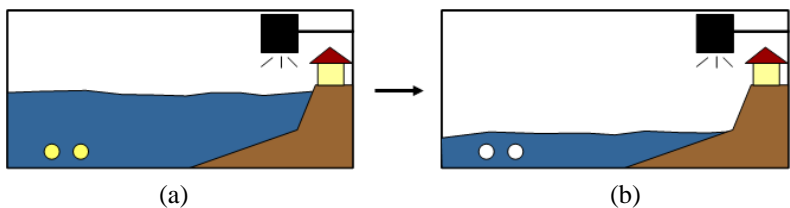
Dimana v adalah kecepatan hasil perhitungan dalam satuan m/s, Δs adalah selisih antara posisi 1 dan posisi 2 atau dalam arti lain perubahan posisi yang terjadi, dan t adalah waktu yang dibutuhkan dalam melakukan perubahan posisi tersebut.

Sedangkan, dari sensor doppler akan mengeluarkan data frekuensi doppler yang kemudian dihitung menjadi kecepatan gerak benda. Persamaan kecepatan gerak benda dari frekuensi doppler adalah sebagai berikut :

$$Fd = 2v \left(\frac{ft}{c} \right) \cos \theta \quad (2)$$

Dimana Fd adalah frekuensi doppler keluaran dari sensor doppler, ft adalah frekuensi sumber dengan 10.5 GHz, c adalah kecepatan cahaya 3×10^8 m/s, θ adalah sudut yang dibentuk antara sensor dengan objek, dan v adalah nilai kecepatan gerak benda. Dengan sudut antara sensor dengan objek diatur sehingga tetap 0 derajat, maka kecepatan gerak benda dari sensor doppler didapatkan dengan rumus yang lebih sederhana di bawah ini.

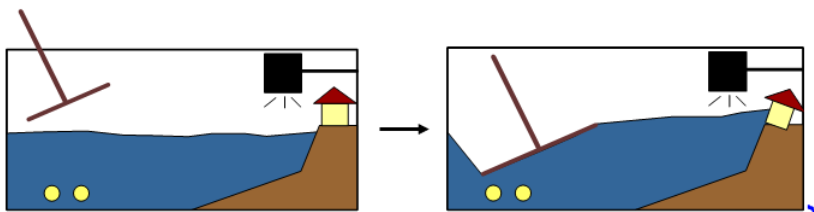
$$\frac{Fd}{70} = v \text{ (dalam satuan m/s)} \quad (3)$$



Gambar 3.7 Ilustrasi rekayasa model uji tsunami akibat aktivitas tektonik. (a) Kondisi awal model uji, (b) Kondisi model uji saat air dikeluarkan dari wadah

Proses pengujian instrumen yang dibangun dalam penelitian ini menggunakan rekayasa dari kondisi perairan pada saat sebelum tsunami. Nilai parameter yang digunakan bukan nilai asli dari parameter tsunami karena sensor yang digunakan merupakan sensor standar yang memiliki

batasan pengukuran rendah. Dilakukan pengujian pada 2 jenis tsunami, yaitu tsunami akibat aktivitas tektonik dan tsunami akibat longsoran. Ilustrasi rekayasa pada model uji tsunami akibat aktivitas tektonik ditampilkan pada Gambar 3.7. Gambar 3.7 bagian (a) menampilkan ilustrasi dari kondisi model uji pada kondisi konstan atau sebelum melakukan pengujian. Lingkaran kuning pada model tersebut merupakan lubang yang tertutup. Lubang ini digunakan untuk memberikan variabel pembeda pada kecepatan perubahan ketinggian air di dalam wadah. Tutup pada lubang-lubang ini dibuka secara bertahap sehingga air keluar dari wadah dengan kecepatan yang berbeda, kondisi model uji saat lubang dibuka adalah seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.7 bagian (b). Jumlah dan ukuran lubang pada model uji diatur agar tercipta perbedaan kecepatan perubahan ketinggian air.



Gambar 3.8 Ilustrasi rekayasa model uji tsunami akibat longsoran. (a) Kondisi awal model uji, (b) Kondisi model uji saat air diberikan beban secara tiba-tiba

Ilustrasi rekayasa pada model uji tsunami akibat longsoran ditampilkan pada Gambar 3.8. Gambar 3.8 bagian (a) menampilkan kondisi model uji sebelum dilakukan pengujiannya, sedangkan Gambar 3.8 bagian (b) mengilustrasikan kondisi model uji saat air dalam wadah diberi beban. Kondisi-kondisi yang diciptakan pada model uji merupakan hasil rekayasa kondisi sebenarnya dari suatu perairan sebelum terjadinya tsunami akibat longsoran. Dimana, permukaan air berubah ketinggiannya secara cepat sebelum sampai ke daratan. Beban yang diberikan pada permukaan air dibedakan secara kualitatif untuk menciptakan perubahan ketinggian dengan kecepatan yang berbeda. Pengindikasian tingkat bencana akan menyesuaikan nilai yang terukur oleh instrumen. Desain dan ukuran model pengujian ditampilkan pada Lampiran 4.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kecepatan Pasang dan Surut

Data sekunder yang digunakan pada penelitian ini adalah data pasang surut yang diambil dari situs milik Badan Informasi Geospasial (BIG). Data tersebut bersifat bebas dan terbuka, artinya bisa diakses oleh siapa saja secara gratis. Dari data yang ditampilkan BIG, data waktu dan ketinggian dari air laut pada beberapa stasiun pasang surut di Indonesia diambil. Stasiun yang dijadikan sumber data adalah Stasiun Pasang Surut Pantoloan dan Stasiun Pasang Surut Luwuk di Sulawesi Tengah, serta Stasiun Pasang Surut Carik di Nusa Tenggara Barat.

4.1.1 Stasiun Pasang Surut Pantoloan, Sulawesi Tengah

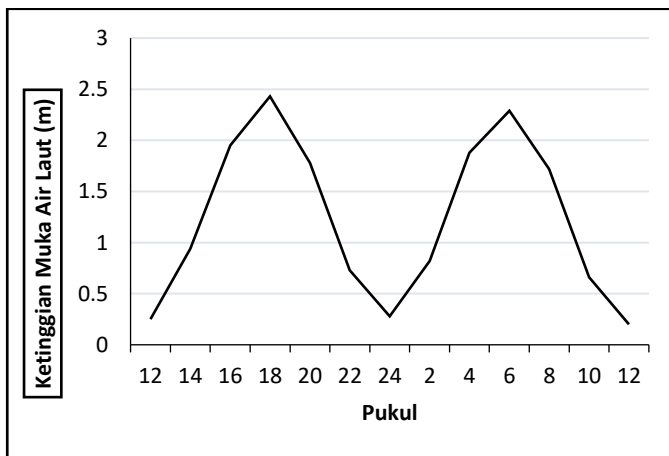
Data ketinggian air laut pada Stasiun Pasang Surut Pantoloan, Sulawesi Selatan dicuplik setiap 2 jam dari tanggal 22 Maret 2019 pukul 12:00WIB hingga tanggal 23 Maret 2019 pukul 12:00 WIB. Tidak ada latar belakang khusus dalam pengambilan data ini. Data ketinggian tersebut dimasukkan kedalam perhitungan kecepatan pasang dan surut. Sehingga didapatkan nilai kecepatan pasang dan surut air laut di sekitar Stasiun Pasang Surut Pantoloan. Nilai kecepatan tersebut ditampilkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Kecepatan pasang surut di Stasiun Pasang Surut Pantoloan tanggal 22 Maret 2019 (12:00 WIB) hingga 23 Maret 2019 (12:00 WIB)

Stasiun Pasang Surut Pantoloan, Sulteng			
Tanggal	Pukul	Ketinggian Muka Air Laut (m)	Kecepatan Pasang Surut (m/s)
22/03/2019	12:00:00 AM	0,25	
22/03/2019	2:00:00 AM	0,94	0,00010
22/03/2019	4:00:00 AM	1,95	0,00014
22/03/2019	6:00:00 AM	2,43	0,00007
22/03/2019	8:00:00 AM	1,78	0,00009
22/03/2019	10:00:00 AM	0,73	0,00015
22/03/2019	12:00:00 PM	0,28	0,00006

22/03/2019	2:00:00 PM	0,82	0,00008
22/03/2019	4:00:00 PM	1,88	0,00015
22/03/2019	6:00:00 PM	2,29	0,00006
22/03/2019	8:00:00 PM	1,72	0,00008
22/03/2019	10:00:00 PM	0,66	0,00015
23/03/2019	12:00:00 AM	0,20	0,00006

Ketinggian air laut tersebut dituangkan kedalam grafik seperti pada Gambar 4.1. Dapat dilihat dari grafik ketinggian air bahwa air laut di sekitar Stasiun Pasang Surut Pantoloan mengalami kondisi surut pada pukul 18:00 WIB dari ketinggian 2,43 m hingga tepat pada pukul 00:00 WIB hari berikutnya ketinggian air laut adalah 0,28 m. Selain itu, surut juga terjadi dari pukul 06:00 WIB hingga 12:00 pada tanggal 23 Maret 2019. Untuk peristiwa pasangannya air laut, terjadi pada dua sesi yaitu pada pukul 12:00 WIB – 18:00 WIB tanggal 22 Maret 2019 dan pukul 00:00 WIB – 06:00 WIB hari berikutnya. Terlihat dari siklus ini bahwa pada perairan di sekitar Stasiun Pasang Surut Pantoloan terjadi 2 surut dan 2 pasang pada satu harinya.



Gambar 4.1 Grafik ketinggian muka air laut di Stasiun Pasang Surut Pantoloan tanggal 22 Maret 2019 (12:00 WIB) hingga 23 Maret 2019 (12:00 WIB)

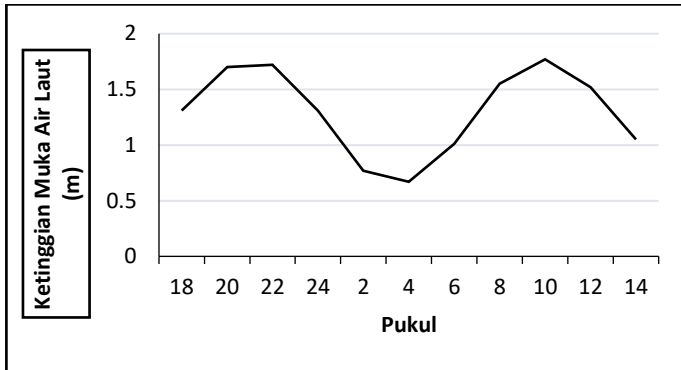
4.1.2 Stasiun Pasang Surut Carik, Nusa Tenggara Barat

Data dari Stasiun Carik diambil pada tanggal 17 April 2019 pukul 18:00 WIB hingga 18 April pukul 14:00 WIB. Kemudian data ketinggian tersebut dimasukkan kedalam perhitungan kecepatan pasang dan surut, seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Kecepatan pasang surut di Stasiun Pasang Surut Carik tanggal 17 April 2019 (18:00 WIB) hingga 18 April 2019 (14:00 WIB)

Stasiun Pasang Surut Carik, NTB			
Tanggal	Waktu	Ketinggian Muka Air Laut (m)	Kecepatan Pasang Surut (m/s)
17/04/2019	6:00:00 PM	1,31	
17/04/2019	8:00:00 PM	1,70	0,00005
17/04/2019	10:00:00 PM	1,72	0,00000
18/04/2019	12:00:00 AM	1,31	0,00006
18/04/2019	2:00:00 AM	0,77	0,00008
18/04/2019	4:00:00 AM	0,67	0,00001
18/04/2019	6:00:00 AM	1,01	0,00005
18/04/2019	8:00:00 AM	1,55	0,00008
18/04/2019	10:00:00 AM	1,77	0,00003
18/04/2019	12:00:00 PM	1,52	0,00003
18/04/2019	2:00:00 PM	1,05	0,00007

Dalam rentang waktu pencuplikan, peristiwa surut terjadi pada pukul 22:00 WIB tanggal 17 April 2019 dengan ketinggian air laut 1.72 m hingga pukul 04:00 WIB tanggal 18 April 2019 dengan ketinggian 0.67 m dan pada pukul 10:00 WIB tanggal 18 April 2019 dengan ketinggian air laut 1.77 m hingga pukul 14:00 WIB pada hari yang sama dengan ketinggian air laut 1.05 m. Peristiwa pasang terjadi pada pukul 18:00 WIB – 22:00 WIB tanggal 17 April 2019 dan pada pukul 04:00 WIB – 10:00 WIB tanggal 18 April 2019. Grafik perubahan ketinggian air laut di sekitar Stasiun Pasang Surut Carik ditampilkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik ketinggian muka air laut di Stasiun Pasang Surut Carik tanggal 17 April 2019 (18:00 WIB) hingga 18 April 2019 (14:00 WIB)

4.1.3 Stasiun Pasang Surut Luwuk, Sulawesi Tengah

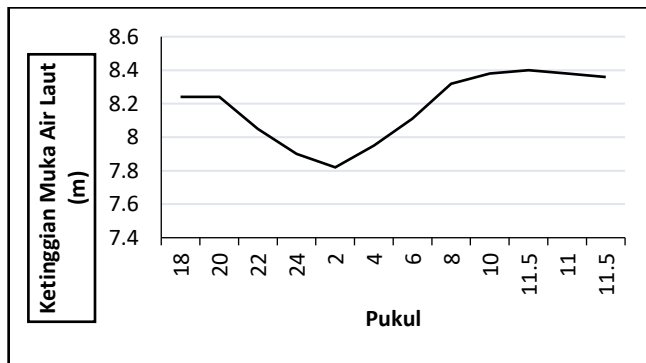
Data dari Stasiun Luwuk diambil pada tanggal 10 April 2019 Pukul 18:00 hingga 11 April 2019 Pukul 11:30 WIB. Data dari Stasiun Luwuk ini diambil mengikuti kejadian peringatan tsunami pada daerah Palu untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada ketinggian air laut sebelum terjadinya tsunami. Perubahan ketinggian air terhadap waktu pada stasiun tersebut kemudian dibawa menjadi kecepatan pasang dan surut yang ditampilkan pada Tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4.3 Kecepatan pasang surut di Stasiun Pasang Surut Luwuk tanggal 10 April 2019 (18:00 WIB) hingga 11 April 2019 (11:30 WIB)

Stasiun Pasang Surut Luwuk, Sulteng			
Tanggal	Waktu	Ketinggian Muka Air Laut (m)	Kecepatan Pasang Surut (m/s)
10/04/19	6:00:00 PM	8,24	
10/04/19	8:00:00 PM	8,24	0,00000
10/04/19	10:00:00 PM	8,05	0,00003
11/04/19	12:00:00 AM	7,90	0,00002
11/04/19	2:00:00 AM	7,82	0,00001

11/04/19	4:00:00 AM	7,95	0,00002
11/04/19	6:00:00 AM	8,11	0,00002
11/04/19	8:00:00 AM	8,32	0,00003
11/04/19	10:00:00 AM	8,38	0,00001
11/04/19	10:30:00 AM	8,40	0,00000
11/04/19	11:00:00 AM	8,38	0,00000
11/04/19	11:30:00 AM	8,36	0,00000

Pada grafik perubahan ketinggian air yang ditampilkan pada Gambar 4.3, hanya terlihat satu lembah yang mengartikan adanya satu peristiwa surut dan satu peristiwa pasang. Namun hal ini bisa terjadi karena data yang tidak dicuplik hingga 24 jam atau satu hari. Stasiun Pasang Surut Luwuk tidak memperbarui datanya setelah pukul 11:30 WIB tanggal 11 April 2019, padahal justru setelah itu terjadi peringatan dini tsunami. Dapat airtikan bahwa, sistem pemantaun pasang surut di Indonesia tidak mampu mendeteksi perubahan ketinggian air sebelum terjadinya tsunami.



Gambar 4.3 Grafik ketinggian muka air laut di Stasiun Pasang Surut Luwuk tanggal 10 April 2019 (18:00 WIB) hingga 11 April 2019 (11:30 WIB)

4.1.4 Pemanfaatan Data Kecepatan Pasang Surut

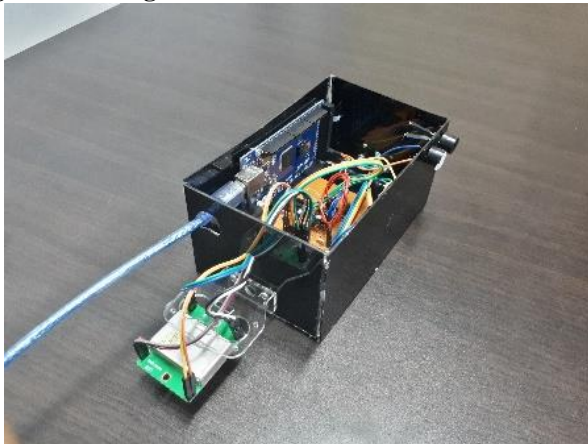
Kecepatan pasang surut yang didapatkan dari hasil perhitungan perubahan ketinggian air terhadap waktu pada mulanya akan digunakan sebagai parameter dalam penyusunan perangkat lunak. Namun, dari data kecepatan diketahui bahwa kecepatan pasang surut sangat kecil. Nilai kecil

ini tidak bisa dibaca oleh sensor yang digunakan karena sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor standar yang tidak dimodifikasi dan memiliki spesifikasinya sendiri, hal ini akan dibahas di sub-bab yang membahas perilaku sensor. Maka dari itu, parameter yang digunakan dalam menyusun *script* akan didasarkan pada model uji yang dibuat. Sehingga penelitian ini dilakukan untuk menguji kemampuan instrumen dalam menangkap perubahan kecepatan pada media cair tanpa menggunakan parameter asli dari tsunami. Data dari perhitungan pasang surut dijadikan informasi bahwa setiap harinya perairan memang mengalami penurunan dan penambahan ketinggian air secara berkala. Dilihat dari nilainya memang terlampau kecil, jadi ketika pasang dan surut berafiliasi dengan tsunami tentu akan terjadi perbedaan yang signifikan.

4.2 *Prototype* Instrumen Pendeteksi Dini Tsunami

Dalam instrumen ini terdapat kombinasi antara perangkat lunak dan perangkat keras sehingga mampu mengeluarkan data terkait parameter-parameter yang dibutuhkan dalam peringatan dini tsunami. Perangkat lunak dalam hal ini adalah *script* yang dimasukkan ke dalam instrumen dan memberikan arahan terhadap perangkat keras untuk melakukan sesuatu. Sedangkan, perangkat keras merupakan kombinasi atau rangkaian dari beberapa komponen yang saling mendukung untuk mendapatkan nilai dari parameter-parameter tsunami yang benar dan bisa diolah lebih lanjut di komputer.

4.2.1 Rangkaian Perangkat Keras



Gambar 4.4 *Prototype* instrumen pendeteksi tsunami tampak kiri



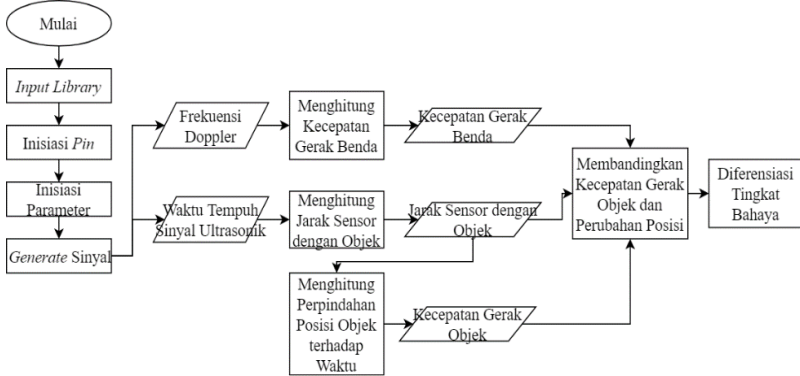
Gambar 4.5 *Prototype* instrumen pendeteksi tsunami tampak kanan

Prototype instrumen pendeteksi dini tsunami ini dibangun dengan menggunakan komponen-komponen standar yang dijual di pasaran. Dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5, komponen-komponen elektronik dirangkai menjadi satu benda yang kemudian disebut sebagai *prototype* instrumen pendeteksi dini tsunami dalam penelitian ini. Instrumen ini memerlukan tegangan kurang lebih 5V untuk dapat berfungsi. Maka dari itu, terdapat kabel berwarna biru yang nantinya dihubungkan dengan pembangkit daya. Dalam penelitian ini, kabel biru tersebut juga menjadi sarana pertukaran data, yaitu pengiriman *script* ke sensor dan pengumpulan data dari sensor ke komputer. Instrumen ini diatur secara *default* untuk dipasang menggantung dengan kedua sensor menghadap ke arah bawah dimana objek pengukuran berada. Namun, pemasangan dari instrumen ini bisa mengikuti kondisi dimana instrumen ini dipasang nantinya.

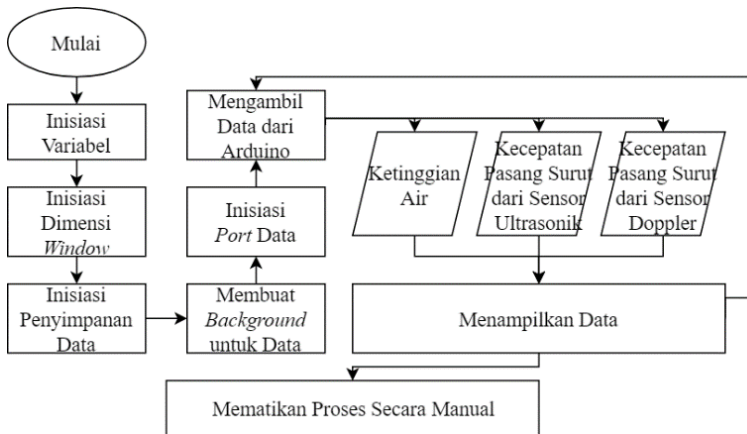
4.2.2 Perangkat Lunak

Software yang dimaksud dalam penelitian ini adalah *script* yang disusun untuk memberikan perintah kepada komponen-komponen elektronik dan mengambil data dari komponen-komponen tersebut, serta juga terdapat perangkat lunak untuk menampilkan kembali data-data yang sudah didapatkan dalam grafis yang lebih informatif dan tertata. Terdapat dua *software* yang digunakan dalam membangun *script-script* tersebut, yaitu Arduino dan Processing. Bahasa yang digunakan dalam kedua perangkat

lunak tersebut adalah bahasa C dan Java. Alur *script* yang dibangun dalam *software* Arduino ditampilkan dalam Gambar 4.6 di bawah. *Script* pada Arduino ini merupakan *script* yang digunakan untuk memberi perintah terhadap komponen-komponen elektronik pada instrumen. Perintah yang diberikan adalah perintah untuk melakukan pengukuran dan pengumpulan data. Untuk *script* Arduino secara keseluruhan dapat dilihat pada lembar lampiran.



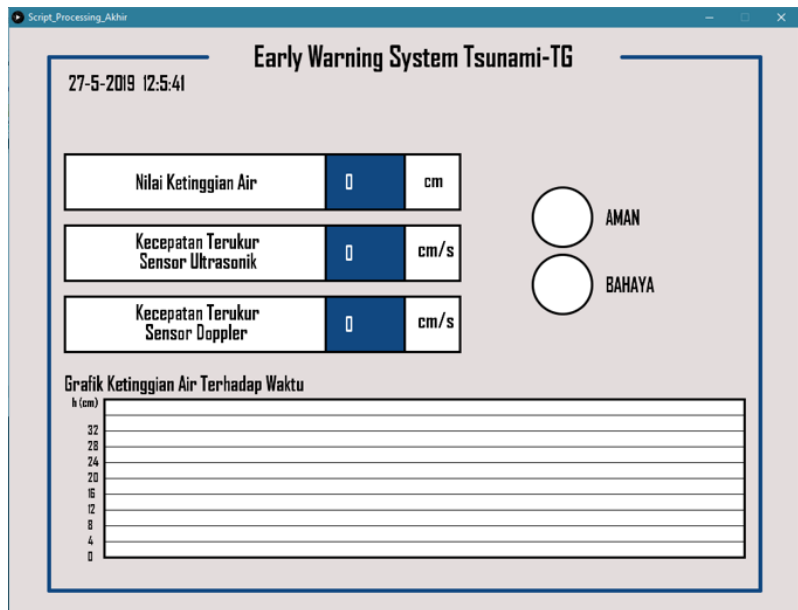
Gambar 4.6 Diagram alir *script* Arduino



Gambar 4.7 Diagram alir *script* Processing sebagai aplikasi penampil data

Sedangkan pada perangkat lunak Processing, *script* yang dibangun adalah *script* untuk menampilkan data ke dalam bentuk yang lebih tertata

dan informatif. *Script* ini dalam penerapannya digunakan dalam bentuk aplikasi. Data yang ditampilkan dalam aplikasi ini adalah data *real time* dengan *delay* waktu mengikuti selang waktu yang diatur pada pengambilan data di *script* Arduino. Pada penelitian ini pengambilan data dilakukan dengan *delay time* yang kecil karena model pengujian adalah model dengan ukuran yang tidak besar. Pemilihan waktu *delay* akan mempengaruhi ruang penyimpanan data yang dibutuhkan. Maka dari itu, ketika instrumen ini diaplikasikan pada kondisi yang sebenarnya, penyesuaian *delay time* perlu untuk dilakukan. Gambaran alur proses dari aplikasi penampil data ini disajikan dalam Gambar 4.7 di atas. Sedangkan, visual dari tampilan data disajikan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Tampilan data

4.3 Kalibrasi Instrumen

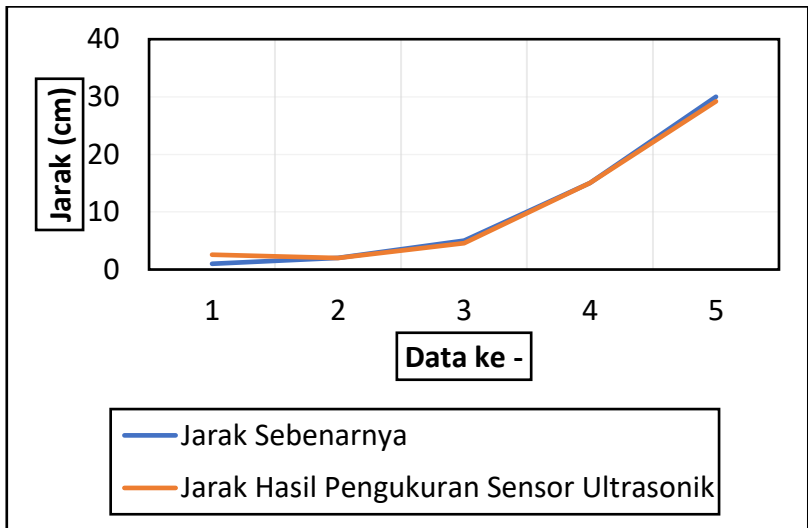
Instrumen yang telah dibangun perlu untuk dicek keakuratannya. Maka dari itu, dilakukan kalibrasi untuk menyamakan data hasil pengukuran dengan keadaan sebenarnya. Dalam penelitian ini, *prototype* instrumen pendeteksi dini tsunami diuji keakuratannya dalam mendapatkan nilai posisi objek dan kecepatan gerak benda padat. Posisi objek didapatkan dari sensor ultrasonik, sedangkan kecepatan gerak objek didapatkan dari pengukuran langsung sensor doppler dan perhitungan perubahan posisi objek dari sensor

ultrasonik. Nilai posisi objek yang didapatkan dari sensor ultrasonik dibandingkan dengan data jarak objek sebenarnya, kemudian dituangkan pada Tabel 4.4. Data pada Tabel 4.4 tersebut kemudian ditampilkan sebagai grafik pada Gambar 4.9.

Tabel 4.4 Data kalibrasi nilai posisi dari sensor ultrasonik HC-SR04

Kalibrasi Posisi Benda			
XR (cm)	XS (cm)	XR (cm)	XS (cm)
1	2	15	15
	2		15
	2		15
	3		15
	4		15
2	2	30	29
	2		29
	2		29
	2		29
	2		30
5	5		
	5		
	4		
	5		
	4		

Dimana, XR adalah posisi sebenarnya dan XS adalah nilai posisi keluaran sensor.



Gambar 4.9 Grafik perbandingan posisi objek sebenarnya dengan posisi objek hasil pengukuran sensor ultrasonik

Berdasarkan data yang ditampilkan pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.9 di atas dapat diketahui bahwa sensor sudah mendapatkan nilai yang mendekati nilai yang sebenarnya dengan kesalahan kurang lebih 1 cm. Hal ini mengartikan sensor ultrasonik HC-SR04 sudah terkalibrasi dengan baik dan siap untuk melakukan pengukuran yang sebenarnya. Perlu dijadikan perhatian juga bahwa terdapat perbedaan nilai yang cukup besar yaitu mencapai perbedaan 3 cm pada pengukuran objek berjarak 1 cm dari sensor. Data ini sesuai dengan batasan sensor yang diberikan pada *datasheet*, yaitu 2-400 cm.

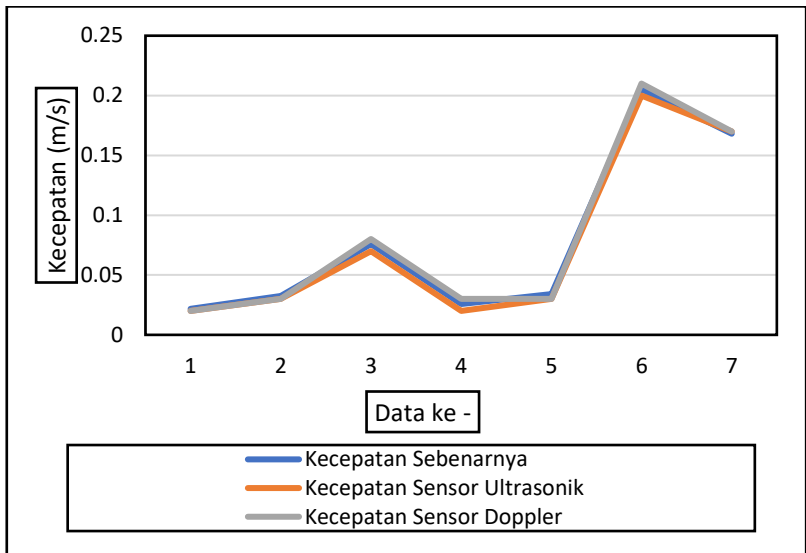
Untuk kalibrasi kecepatan gerak objek dilakukan pada 2 jenis sensor yang digunakan, yaitu sensor ultrasonik dan sensor doppler. Nilai kecepatan yang dikeluarkan oleh sensor doppler HB-100 merupakan hasil perhitungan dari data frekuensi doppler yang didapatkan, sedangkan nilai kecepatan dari sensor ultrasonik merupakan nilai hasil perhitungan perubahan posisi terukur dan waktu tempuh perubahan posisi. Nilai kecepatan gerak benda dari kedua sensor tersebut kemudian dibandingkan dengan kecepatan gerak benda hasil perhitungan data manual. Dimana data-data sensor tersebut ditampilkan pada Tabel 4.5 dengan variabel XR1 adalah posisi pertama objek, XR2 adalah posisi kedua objek, t adalah waktu tempuh, Fd adalah frekuensi doppler dari sensor doppler, vC adalah kecepatan gerak objek

sebenarnya, vS1 adalah kecepatan gerak objek hasil sensor ultrasonik, dan vS2 adalah kecepatan gerak objek hasil sensor doppler.

Tabel 4.5 Data kalibrasi nilai kecepatan gerak objek dari sensor ultrasonik dan sensor doppler

Kalibrasi Kecepatan Gerak Benda						
XR1 (cm)	XR2 (cm)	t (s)	Fd (Hz)	vC (m/s)	vS1 (m/s)	vS2 (m/s)
4	6	0,92	1,52	0,021739	0,02	0,02
6	10	1,23	2,26	0,032520	0,03	0,03
10	20	1,32	5,3	0,075758	0,07	0,08
20	15	1,93	1,8	0,025907	0,02	0,03
15	10	1,47	2,38	0,034014	0,03	0,03
2	25	1,12	14,37	0,205357	0,2	0,21
25	4	1,25	11,75	0,168000	0,17	0,17

Berdasarkan tabel data di atas dapat dilihat bahwa nilai kecepatan yang dihasilkan kedua sensor sudah mendekati nilai kecepatan gerak benda yang sebenarnya. Hanya saja, keakuratan dari sensor memang diatur hingga 2 angka desimal. Jika nilai kecepatan sebenarnya dibulatkan hingga 2 angka dibelakang koma, maka nilai tersebut akan sama dengan kecepatan hasil pengukuran sensor doppler. Hal ini mengartikan bahwa sensor doppler memberikan data yang lebih mendekati nilai sebenarnya dibanding sensor ultrasonik. Diluar itu, nilai kecepatan sebenarnya pada dasarnya bukan nilai yang paling benar karena masih terdapat faktor *error* seperti pengukuran waktu dan posisi yang tidak tepat karena dilakukan secara manual. Namun, dalam penelitian ini cara tersebut dirasa adalah cara yang paling mudah dan efektif dalam mendapatkan nilai kecepatan gerak benda yang sebenarnya. Untuk melihat perbandingan data secara grafis maka data tersebut kemudian dituangkan ke dalam grafik seperti pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik perbandingan kecepatan sebenarnya dengan kecepatan hasil pengukuran sensor ultrasonik dan sensor doppler

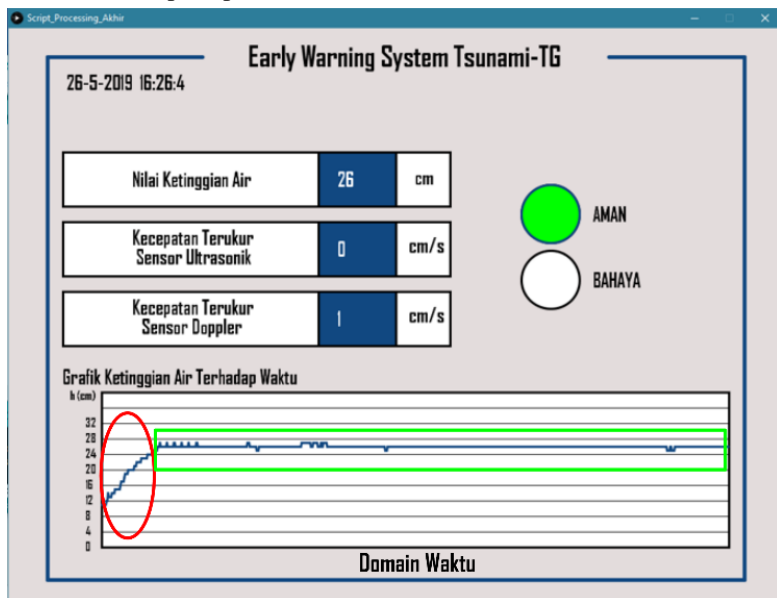
4.4 Pengujian Instrumen

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian instrumen terhadap air sebagai objeknya. Air yang menjadi objek ukur ditampung dalam sebuah wadah yang telah dikondisikan. Pengondisian terhadap wadah penampung air dilakukan untuk memberikan variabel pembeda pada saat pengukuran dengan instrumen. Dalam penelitian ini, variabel yang dibedakan adalah perekayasaan kondisi perairan sebelum tsunami akibat tektonik dan tsunami akibat longoran, dalam hal ini adalah kondisi surut dan pasang, serta membedakan variabel kecepatan surut air secara khususnya. Dalam literatur yang sudah ditampilkan pada bab tinjauan pustaka, diketahui bahwa ada beberapa kondisi atau peristiwa yang terjadi sebelum terjadinya tsunami yang disebabkan oleh aktivitas tektonik, salah satunya adalah surutnya air laut. Sedangkan, sebelum terjadinya tsunami akibat longoran tidak terdapat tanda-tanda yang bisa memberikan peringatan terjadinya tsunami, dalam hal ini air secara tiba-tiba menghantam daratan dengan ketinggian yang besar. Instrumen dalam penelitian ini diuji untuk memberikan peringatan tsunami terhadap kedua kondisi tersebut. Kondisi surutnya air dimanipulasi dengan membuka lubang pada wadah sehingga air mengalir dari wadah. Dengan

melubangi wadah lebih banyak maka kecepatan surut air akan menjadi lebih tinggi dan hal ini menggambarkan kondisi tsunami. Sedangkan untuk kondisi pasang, dilakukan manipulasi dengan memberikan tekanan ke permukaan air di dalam wadah sehingga ketinggian air meningkat.

4.4.1 Pengondisian Model Uji

Model uji yang berupa wadah penampung air dikondisikan dengan menuangkan air ke dalamnya. Air dituang hingga ketinggian 26 cm dari dasar wadah. Ketinggian dari air dioptimalkan terhadap tinggi wadah agar dapat dilakukan pengujian yang berlanjut dalam waktu yang tidak sebentar. Proses pengondisian model uji ditampilkan pada perangkat lunak penampil data *real time* seperti pada Gambar 4.11.



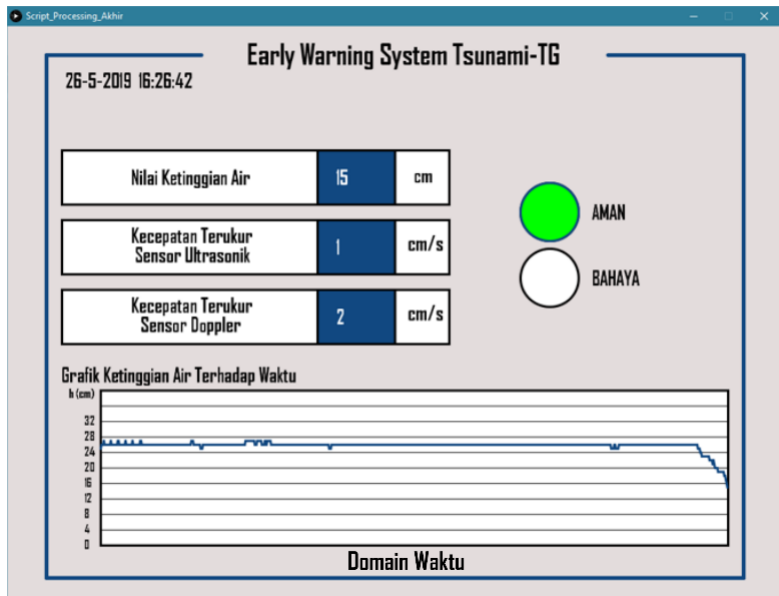
Gambar 4.11 Tampilan data pada saat pengondisian model uji

Dapat dilihat pada Gambar 4.11 terdapat 3 kolom yang menampilkan data dalam format nilai dan juga ada 1 kolom yang menampilkan data dalam format grafik. Grafik yang tergambar pada tampilan data tersebut adalah grafik perubahan ketinggian air. Sedangkan, pada kolom nilai ditampilkan data ketinggian air, data kecepatan perubahan ketinggian air yang didapatkan dari sensor ultrasonik, dan data kecepatan perubahan ketinggian air yang didapatkan dari sensor doppler. Pada Gambar 4.11 bagian grafik, terdapat data yang ditandai dengan lingkaran merah dan persegi hijau yang

menandakan perbedaan fase dalam pengondisian model uji. Data yang ditandai dengan lingkaran merah merupakan data pada saat pengisian wadah dengan air. Terlihat bahwa grafik secara perlahan menunjukkan nilai yang meningkat. Sedangkan, data yang ditandai dengan persegi berwarna hijau menggambarkan kondisi air pada saat sudah mencapai batas maksimalnya. Nilai yang terukur disini berkisar diantara 25-27 cm. Nilai-nilai ini menggambarkan kondisi permukaan air yang fluktuatif. Permukaan air yang fluktuatif ini disebabkan oleh tergoncangnya wadah uji sehingga membentuk gelombang.

4.4.2 Perekayasa Kondisi Pasang Surut Normal

Salah satu tanda yang bisa memberikan peringatan akan terjadinya tsunami adalah penurunan ketinggian air atau fase surut. Namun, ada yang membedakan antara pasang surut normal dengan surut sebelum terjadinya tsunami, yaitu kecepatan surutnya.

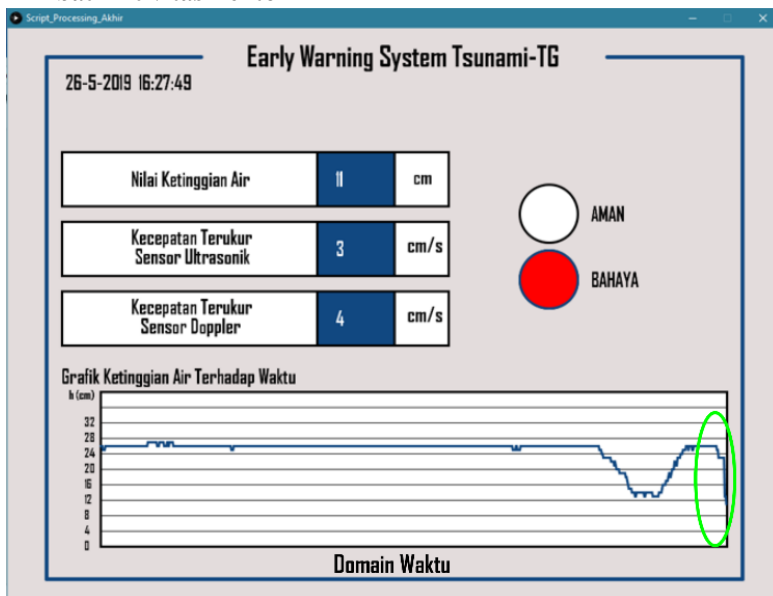


Gambar 4.12 Tampilan data pada saat perekayasa kondisi pasang surut normal

Dalam penelitian ini, kondisi surut yang menandakan tsunami diberikan parameter kecepatan di atas 2 cm/s, sedangkan di bawah 2 cm/s masih dikategorikan sebagai pasang surut normal. Penentuan nilai rentang ini hanya didasarkan pada ukuran model uji karena nilai pasang surut normal

yang didapatkan dari perhitungan pasang surut pada sub-bab 4.1 memberikan nilai yang masih berada diluar jangkauan sensor yang digunakan pada penelitian ini. Data yang didapatkan pada saat Perekayasaan kondisi pasang surut normal ini ditampilkan pada Gambar 4.13 di atas. Pada Gambar 4.12 bagian grafik, terlihat penurunan ketinggian air pada daerah kanan (data terbaru). Penurunan nilai ketinggian air tersebut terjadi seiring dengan dibukanya lubang pada wadah sehingga air keluar dari wadah tersebut. Nilai kecepatan berkurangnya ketinggian air tidak lebih dari 2 cm/s pada kedua sensor yang ditunjukkan pada kolom nilai. Dikarenakan kondisi perubahan ketinggian air tersebut masih dalam rentang nilai pasang surut normal, maka indikator memberikan warna hijau pada kondisi aman. Kolom nilai ketinggian air menampilkan ketinggian air terakhir yang terdeteksi oleh sensor ultrasonik.

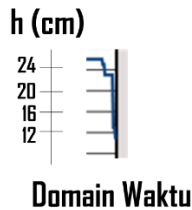
4.4.3 Perekayasaan Kondisi Perairan Sebelum Terjadinya Tsunami Akibat Aktivitas Tektonik



Gambar 4.13 Tampilan data pada saat perekayasaan kondisi surut air sebelum terjadinya tsunami akibat aktivitas tektonik

Menurut Badan Penanggulangan Bencana Nasional (2018), sebelum tsunami akibat aktivitas tektonik melanda, terjadi penurunan muka air laut secara drastis atau peristiwa surut yang tidak normal. Surutnya air laut ini

berbeda dari peristiwa pasang surut yang terjadi setiap harinya. Kecepatan surut tidak normal ini belum dapat diketahui, namun di dalam penelitian ini perbedaan kecepatan surut air menyesuaikan dengan wadah uji. Seperti yang sudah disampaikan sebelumnya, parameter bahaya tsunami berada pada rentang kecepatan perubahan ketinggian air lebih dari 2 cm/s. Maka dalam penelitian ini, hal tersebut direkayasa dengan membuka lubang yang lebih banyak agar air keluar lebih cepat dari wadah. Gambar 4.13 menampilkan fisis data yang muncul pada saat instrumen menangkap data perubahan ketinggian air yang mengindikasikan tsunami. Terlihat bahwa kedua sensor mendapatkan nilai kecepatan lebih dari 2 cm/s. Gambar 4.14 di bawah menampilkan secara lebih jelas data pada grafik perubahan ketinggian air yang dilingkari dengan lingkaran warna hijau. Pada tampilan data tersebut pula, terdapat indikator tingkat keamanan yang memberikan peringatan bahaya. Indikator tersebut muncul sebagai warna merah yang bisa dijadikan informasi bagi *user* yang melakukan pengamatan pada data. Selain itu, *buzzer* pada instrumen juga berbunyi sebagai peringatan langsung akan adanya bahaya tsunami.



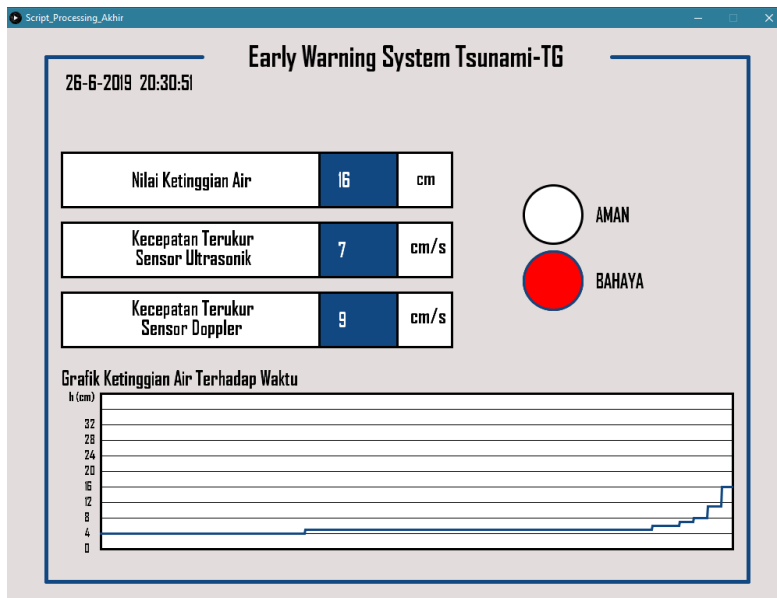
Gambar 4.14 Cuplikan data grafik perubahan ketinggian air pada perekayasaan kondisi surut air sebelum terjadinya tsunami akibat aktivitas tektonik

Dalam Gambar 4.15 tersebut dapat dilihat terjadi perubahan drastis pada ketinggian air yang terukur. Perubahan pada grafik ini mengindikasikan kesesuaian antara grafik dengan kolom nilai yang menampilkan nilai kecepatan di atas 2 cm/s.

4.4.4 Perekayasaan Kondisi Perairan Sebelum Terjadinya Tsunami Akibat Longsoran

Uji coba instrumen juga dilakukan untuk kasus tsunami yang disebabkan oleh longsoran. Uji coba tersebut dilakukan dengan memberikan tekanan pada permukaan air sehingga air mengalami peningkatan ketinggian dalam kurun waktu yang cepat. Dari pengukuran tersebut, diketahui bahwa instrumen pendeteksi dini tsunami yang dibangun dalam penelitian ini mampu mendapatkan nilai ketinggian tiap waktunya dan juga kecepatan

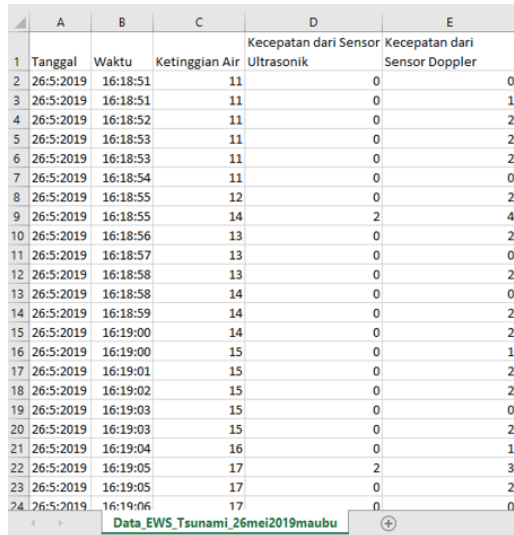
perubahan ketinggian air yang terjadi. Peningkatan ketinggian direkayasa untuk mencapai kecepatan di atas 2 cm/s. Sehingga seperti pada kasus sebetulnya, indikator tingkat keamanan juga memberikan peringatan bahaya karena kecepatan yang terukur sudah melewati ambang batas aman. Hal tersebut ditampilkan pada Gambar 4.15. Namun, sejak didapatkannya informasi bahaya hingga air mengenai miniatur rumah, hanya dibutuhkan waktu sekitar 2 detik. Hal ini mengartikan bahwa tidak ada cukup waktu untuk melakukan evakuasi apabila peristiwa tsunami akibat longsor ini terjadi padahal instrumen pendeteksi dini tsunami telah terpasang. Dikatakan dalam berita yang ditulis pada halaman Detik.com pada Desember 2018 yang mengutip pernyataan BMKG, bahwa jenis tsunami akibat longsor tidak memberikan tanda-tanda yang signifikan dan dapat dideteksi jauh sebelum air sampai ke daratan, misalnya gempabumi dan surutnya air laut. Sehingga, dapat diartikan bahwa jenis instrumen pendeteksi dini yang dikembangkan pada penelitian ini belum cukup baik untuk memberikan peringatan sebelum tsunami akibat longsor terjadi.



Gambar 4.15 Tampilan data pada saat perekayasaan kondisi gelombang pasang akibat tsunami longsor

4.5 Penyimpanan Data

Titik fokus utama dari instrumen pendeteksi dini memang ada pada bagian penyampaian data secara *real time*. Namun, pengumpulan data-data tersebut juga tidak kalah pentingnya. Data-data yang telah diukur oleh instrumen disimpan ke dalam satu *file* untuk dibuka lagi di kemudian hari, terutama untuk keperluan penelitian. Dari data-data yang tersimpan, bisa dipelajari karakteristik-karakteristik tertentu yang terjadi pada daerah dimana instrumen tersebut dipasang. Contoh penyimpanan data instrumen pendeteksi dini tsunami pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 4.16.



	A	B	C	D	E
	Tanggal	Waktu	Ketinggian Air	Kecepatan dari Sensor Ultrasunik	Kecepatan dari Sensor Doppler
1	26-5-2019	16:18:51	11	0	0
2	26-5-2019	16:18:51	11	0	1
3	26-5-2019	16:18:52	11	0	2
4	26-5-2019	16:18:53	11	0	2
5	26-5-2019	16:18:53	11	0	2
6	26-5-2019	16:18:54	11	0	0
7	26-5-2019	16:18:55	12	0	2
8	26-5-2019	16:18:55	14	2	4
9	26-5-2019	16:18:56	13	0	2
10	26-5-2019	16:18:57	13	0	0
11	26-5-2019	16:18:58	13	0	2
12	26-5-2019	16:18:58	14	0	0
13	26-5-2019	16:18:59	14	0	2
14	26-5-2019	16:19:00	14	0	2
15	26-5-2019	16:19:00	15	0	1
16	26-5-2019	16:19:01	15	0	2
17	26-5-2019	16:19:02	15	0	2
18	26-5-2019	16:19:03	15	0	0
19	26-5-2019	16:19:03	15	0	2
20	26-5-2019	16:19:04	16	0	1
21	26-5-2019	16:19:05	17	2	3
22	26-5-2019	16:19:05	17	0	2
23	26-5-2019	16:19:06	17	0	0
24	26-5-2019	16:19:06	17	0	2

Gambar 4.16 Contoh data-data instrumen yang sudah tersimpan

Pada Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa data yang tersimpan dari suatu pengukuran berisikan data tanggal dan waktu pengukuran, ketinggian air, dan 2 nilai kecepatan. Data-data ini diperbarui setiap instrumen melakukan pengukuran dari awal, sehingga perlu untuk mengganti nama file per beberapa waktu. Data yang disimpan dalam *file* ini memiliki jumlah yang sama dengan data yang di *display* pada proses penampilan data yang telah dibahas di atas. Maka dari itu, perlu dilakukan penyesuaian waktu *sampling* data, dalam hal ini *delay* pada setiap selang pengambilan data. Hal ini akan berdampak pada besarnya kapasitas ruang penyimpanan yang diperlukan.

4.6 Analisis Akhir *Prototype* Instrumen Pendeteksi Dini Tsunami

Secara garis besar, hal yang diuji pada penelitian ini bukan karakteristik asli dari tsunami. Pengujian instrumen pada penelitian ini belum menggunakan nilai parameter sebenarnya. Pada penelitian ini, pengujian difokuskan pada kemampuan instrumen dalam menangkap perubahan parameter-parameter penting sebelum terjadinya tsunami. Berdasarkan kalibrasi sebelum pengujian, instrumen pendeteksi dini tsunami ini mampu mendapatkan nilai parameter yang cukup mendekati nilai sebenarnya dengan tingkat kesalahan ± 0.01 m/s. Perbedaan nilai yang terukur oleh instrumen dengan nilai sebenarnya kemungkinan diakibatkan oleh *noise* dari efek frekuensi gelombang dan media pantul gelombang yang tidak rata atau tidak datar. Frekuensi tinggi dari sensor doppler cenderung mendapatkan *noise* yang lebih tinggi karena sensor tersebut bekerja sebagai radar. Hal ini mengartikan bahwa sensor doppler juga mengukur pergerakan dari benda diluar sudut 0° dari sensor. Selain itu, efek doppler pada zat cair juga sedikit berkurang keakuratannya karena permukaan objek tidak selalu stabil. Maka dari itu, untuk mendapatkan nilai terbaik dari sensor doppler, hal yang bisa dilakukan adalah mengatur *amplifier* sinyal hasil pengukuran sensor. Nilai kecepatan yang dihasilkan oleh kedua sensor dalam instrumen ini memiliki perbedaan hingga ± 2 cm/s akibat adanya *noise* yang ditangkap sensor doppler. Sehingga, sebagai satu kesatuan instrumen, kedua sensor ini memang harus disandingkan untuk saling mendukung dan memberikan informasi yang akurat.

Kemudian dapat dilihat dari pengujian yang telah dilakukan, instrumen pendeteksi dini tsunami yang dikembangkan dalam penelitian ini sudah mampu memberikan nilai perubahan ketinggian air secara berkelanjutan. Pengambilan data berkelanjutan ini merupakan hal yang dibutuhkan dalam membangun sistem keamanan bencana karena informasi yang diperlukan adalah informasi yang terjadi pada saat kejadian berlangsung bukannya informasi yang telah disimpan dan diolah terlebih dahulu. Kemampuan instrumen ini dalam mengukur dan menampilkan data secara *real time* mampu menambah waktu evakuasi warga dan mengurangi jumlah korban, karena peringatan bahaya bisa disebarluaskan lebih cepat. Tetapi, data dari instrumen ini juga disimpan dalam format *Microsoft Excel* sehingga dapat digunakan untuk keperluan penelitian di masa mendatang.

Instrumen pendeteksi dini tsunami berjenis seperti ini kurang cocok untuk dimasukkan ke dalam sistem pendeteksi dini tsunami akibat longSORAN. Walaupun instrumen ini mampu membaca perubahan kecepatan saat air pasang yang tidak normal terjadi, waktu yang tersisa setelah

peringatan diberikan hingga air mencapai daratan hanya sedikit atau tidak cukup untuk melakukan evakuasi. Alhasil, keberadaan instrumen ini dalam mendeteksi tsunami akibat longsor tidak akan mengurangi dampak dari tsunami secara signifikan. Berbeda dengan kasus di atas, untuk tsunami akibat aktivitas tektonik, instrumen ini mampu dengan sangat baik memberikan peringatan terkait parameter tsunami terutama kecepatan surutnya air. Sesaat setelah instrumen mendeteksi perubahan ketinggian air yang tidak normal, instrumen akan mengirimkan sinyal bahaya untuk ditindaklanjuti sebagai peringatan untuk melakukan evakuasi. Sehingga, dapat dikatakan bahwa instrumen pendeteksi dini tsunami yang dibangun dalam penelitian ini merupakan instrumen pendeteksi dini tsunami untuk tsunami yang disebabkan oleh aktivitas tektonik. Instrumen ini merupakan tipe instrumen yang dipasang tidak jauh dari pinggir pantai. Maka dari itu, untuk pengecekan dan perbaikan instrumen tidak membutuhkan biaya serta waktu yang tinggi. Bahkan, selain menjadi instrumen pendeteksi dini tsunami, instrumen ini juga bisa digunakan untuk memberikan informasi terkait ketinggian pasang dan surut harian pada perairan tersebut. Informasi ini biasanya sangat berguna bagi orang-orang yang berprofesi sebagai nelayan. Sesuai dengan skema sistem peringatan dini tsunami *end-to-end* yang dituliskan dalam BMKG (2010), bahwa *prototype* instrumen pendeteksi dini tsunami yang dibangun dalam penelitian ini masuk ke dalam bagian *up-stream*. Dimana, alat ini dapat melakukan tugas pengukuran, analisis, dan pengambilan keputusan secara langsung. Pengukuran yang dimaksud adalah proses mendapatkan nilai ketinggian air laut dan nilai kecepatan perubahan ketinggiannya. Analisis dan pengambilan keputusan yang dilakukan dalam penelitian ini didasari oleh masukan perintah yang menggolongkan parameter-parameter yang didapat ke dalam peringatan tingkat bahaya.

Input parameter asli tsunami ke dalam instrumen ini tentunya akan sangat mengembangkan instrumen ke arah yang lebih baik. Pengembangan dari segi perangkat keras tentunya akan berfokus kepada pengoptimalan sensor yang digunakan. Sensor dan komponen-komponen elektronika lain yang digunakan harus mampu beradaptasi dengan nilai-nilai atau parameter yang sebenarnya. Sedangkan, pengembangan dari segi perangkat lunak adalah diferensiasi tingkat bahaya berdasarkan parameter asli dari tsunami. Jika instrumen ini sudah dikalibrasi dengan parameter asli yang ada pada saat peristiwa tsunami sesungguhnya, maka instrumen ini siap untuk dijadikan salah satu penjaga Indonesia dari bencana alam, khususnya bencana tsunami.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal, sebagai berikut :

1. Telah dibangun *prototype* instrumen pendeteksi dini tsunami yang memanfaatkan prinsip refleksi gelombang dalam mendapatkan parameter ketinggian air dan kecepatan perubahan ketinggiannya dengan toleransi kesalahan sebesar $\pm 10^{-2}$ m/s.
2. Prinsip yang digunakan dalam instrumen ini bisa digunakan dalam memberikan peringatan dini pada tsunami yang disebabkan oleh aktivitas tektonik.

5.2 Saran

Untuk mengembangkan instrumen pada penelitian ini, dapat dilakukan beberapa hal, antara lain :

1. Memasukkan parameter asli dari tsunami dalam pengondisian instrumen, terutama kecepatan surut air sebelum terjadinya tsunami
2. Mengondisikan sensor untuk mendapatkan nilai data dengan rentang yang lebih tinggi dan mengurangi efek *noise*.
3. Menambahkan komunikasi internet pada instrumen sebagai sarana pengiriman data tanpa kabel.
4. Menghubungkan instrumen ini dengan instrumen pengukuran gempa sehingga informasi yang diberikan semakin akurat.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. (2017), Fisika Dasar II, ITB, Bandung.
- Afif, H., Widodo, A., Rochman, J.P.G.N. dan Syaifuddin, F. (2019), "Rancang Bangun Sistem Monitoring Pergerakan Tanah Menggunakan Metode Multi Segment Inclinomometer Berbasis Accelerometer (Studi Kasus Model Lereng)", *Jurnal Geosaintek*, Vol.5, hal. 25–30.
- Axelson, J. (1997), *The Microcontroller Idea Book*, Lakeview Research, Madison.
- Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika (2012), *Buku Pedoman Pelayanan Peringatan Dini Tsunami InaTEWS*, 2 Ed., BMKG, Jakarta.
- Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika (2010), *InaTEWS - Konsep dan Implementasi*, BMKG, Jakarta.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (2018), *Bencana Alam Tsunami di Indonesia*. Diambil dari <http://bnpb.cloud/dibi/tabel1b>.
- Bryant, E. (2008), Google-Books-ID: 6lv16i7r2CcC, *Tsunami: The Underrated Hazard*, Springer Science & Business Media.
- Devalentino, K. dan Sunardi, B. (2015), "Relokasi Hiposenter Gempabumi dan Implikasi Terhadap Seismotektonik di Wilayah Nusa Tenggara Barat", *Seminar Nasional Jurusan Fisika FMIPA UNESA 2015*.
- Diposaptono, S. dan Budiman, B. (2006), *Tsunami*, 2 Ed., PT Sarana Komunikasi Utama, Bogor.
- Halif, M.N.A. dan Sabki, S.N. (2005), "The Physics of Tsunami: Basic Understanding of the Indian Ocean Disaster", *American Journal of Applied Sciences*, Vol.2, No.8, hal. 1188–1193. <http://doi.org/10.3844/ajassp.2005.1188.1193>.
- Jabbar, R. (n.d.), "Update Terkini BMKG: Yang Terjadi di Anyer Bukan Tsunami karena Gempa". *detikNews*. Diambil dari <https://news.detik.com/berita/d-4355647/update-terkini-bmkg-yang-terjadi-di-anyer-bukan-tsunami-karena-gempa>.
- Kious, W.J. dan Tilling, R.I. (1996), *This Dynamic Earth : The Story of Plate Tectonics*, General Interest Publication. Diambil dari USGS Publications Warehouse.
- Lauterjung, J. dan Letz, H. (2017), *10 Years Indonesian Tsunami Early Warning System: Experiences, Lessons Learned and Outlook*, GFZ German Research Centre for Geosciences, Postdam.
- Mann, K.H. dan Lazier, J.R.N. (2006), *Dynamics of Marine Ecosystems: Biological-Physical Interactions in The Oceans*, 3rd ed., Blackwell Pub, Malden, MA.
- Margaritondo, G. (2005), "Explaining The Physics of Tsunamis to Undergraduate and Non-Physics Students", *European Journal of*

- Physics, Vol.26, No.3, hal. 401–407. <http://doi.org/10.1088/0143-0807/26/3/007>.
- Novianta, M.A. (2010), "Alat Ukur Kecepatan Fluida Dengan Efek Doppler Menggunakan Mikrokontroler AT89S51", *Jurnal Teknologi*, Vol.3, No.1.
- Poerbandono, P. dan Djunarsjah, E. (2005), *Survei Hidrografi*, Refika Aditama, Bandung.
- Rohadi, S. (2009), "Studi Seismotektonik Sebagai Indikator Gempabumi di Wilayah Indonesia", *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, Vol.10, No.2, hal. 111–120.
- Ryaumariastini, N.M.D., Kurniadi, D. dan Trisnobudi, A. (2012), "Simulasi Perambatan Gelombang Ultrasonik dengan Model Berkas Multi Gaussian dan Model Pengukuran Thompson Grey", *J.Oto.Ktrl.Inst (J.Auto.Ctrl.Inst)*, Vol.4, No.2.
- Salsabil, A.R., Hilyah, A., Purwanto, S. dan Fajar, M.H.M. (2018), "Zonasi Bahaya Kegempaan Akibat Patahan Aktif di Wilayah Jawa Timur Dengan Pendekatan Deterministik Menggunakan Perhitungan Atenuasi Chiou-Youngs 2014 NGA", *Jurnal Geosaintek*, Vol.4, No.3, hal. 102–115.
- Schone, T., Pandoe, W., Mudita, I. dan Roemer, S. (2011), "GPS Water Level Measurements for Indonesia's Tsunami Early Warning System", *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Vol.11, hal. 741–749.
- Webster, J.G. (1999), *The Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook*, CRC Press published in cooperation with IEEE Press, Boca Raton, Fla.
- Young, H.D. dan Freedman, R.A. (2007), *Sears and Zemansky's University Physics : With Modern Physics*, 12 Ed., Addison Wesley.

LAMPIRAN

Lampiran 1

Script Arduino

```
//SCRIPT INSTRUMEN PENDETEKSI DINI TSUNAMI//
```

```
//2019//
```

```
// Kharis Aulia Alam
```

```
// Departemen Teknik Geofisika
```

```
// Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
```

```
// Institut Teknologi Sepuluh Nopember
```

```
// Surabaya
```

```
// kharisaulia11@gmail.com
```

```
//Inisiasi Pin
```

```
const int trig = 50;
```

```
const int echo = 51;
```

```
const int buzz = 48;
```

```
#include <FreqMeasure.h>
```

```
int s1, s2, vel, spd;
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
  Serial.begin(57600);
```

```
  FreqMeasure.begin();
```

```
  pinMode(trig,OUTPUT); //Diferensiasi Kerja Pin
```

```
  pinMode(echo,INPUT);
```

```
  pinMode(buzz,OUTPUT);
```

```
}
```

```
void loop()
```

```
{
```

```
  float t1, t2, s1, s2, vel;
```

```
//Perhitungan Posisi 1
digitalWrite(trig, HIGH);
delay(100);
digitalWrite(trig, LOW);
t1 = pulseIn(echo, HIGH);
s1 = (30-(t1/58.8));
Serial.print(int(s1));
Serial.print(",");
```

```
delay (500);
```

```
//Perhitungan Posisi 2
digitalWrite(trig, HIGH);
delay(100);
digitalWrite(trig, LOW);
t2 = pulseIn(echo, HIGH);
s2 = (30-(t2/58.8));
Serial.print(int(s2));
Serial.print(",");
```

```
//Perhitungan Kecepatan dari Sensor Ultrasonik
vel = ((abs(s1-s2))/0.6);
```

```
if (vel >=0)
{
  Serial.print(int(vel));
  Serial.print(",");
}
```

```
//Perhitungan Kecepatan dari Sensor Doppler
if (FreqMeasure.available())
{
  float freq = FreqMeasure.countToFrequency(FreqMeasure.read());
  if (freq >= 0)
```

```

{
  float spd = freq/70;
  Serial.print(int(spd));
  Serial.println();
  if (vel >= 3 && spd >= 3 && s1 > s2)
  {
    digitalWrite(buzz, HIGH);
    delay(3000);
    digitalWrite(buzz, LOW);
    delay(1000);
  }
}
}
}
}

```

//Penggunaan pemisah "," pada setiap parameter data merupakan
//trik untuk melakukan transfer data dari arduino ke processing
//dengan kasus data banyak variabel dalam satu pengukuran

//Nantinya data akan di trim di dalam processing dengan ","
//sebagai pembatas tiap-tiap data variabel yang berbeda

Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 2

Script Processing

//Script Processing Penampil Data Instrumen Pendeteksi Dini Tsunami//

//Kharis Aulia Alam

//Departemen Teknik Geofisika ITS

//Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan

//Institut Teknologi Sepuluh Nopember

//Surabaya

//kharisaulia11@gmail.com

//Script terinspirasi oleh Hamzah Afif dalam Penelitiannya tentang Rancang Bangun Sistem Monitoring Tanah

```
import processing.serial.*;
```

```
Serial myPort;
```

```
String myString;
```

```
PFont tulisan;
```

```
Table table;
```

```
int lf = 10;
```

```
int pos;
```

```
int vel1;
```

```
int vel2;
```

```
int xpos = 120;
```

```
int last_xpos=120;
```

```
int y_sekarang_pos;
```

```
int data_pos;
```

```
float[] yValues;
```

```
int w=930;
```

```
boolean dataReceived;
```

```
void setup()
```

```
{
```

```

size(1000,750);
smooth();
tulisan=loadFont("AgencyFB-Bold-48.vlw");
textFont(tulisan);

yValues= new float[w];

myPort=new Serial(this, "COM6", 57600);
myPort.bufferUntil(lf);
dataReceived=false;

table = new Table();
table.addColumn("Tanggal");
table.addColumn("Waktu");
table.addColumn("Ketinggian Air");
table.addColumn("Kecepatan dari Sensor Ultrasonik");
table.addColumn("Kecepatan dari Sensor Doppler");
}

```

```

void draw()
{
//background dan judul
background(#E3DCDC);
textSize(36);
fill(0);
text("Early Warning System Tsunami-TG",310,50);
strokeWeight(5);
stroke(#114881);
line(50,37.5,250,37.5);
line(775,37.5,950,37.5);
line(50,37.5,50,712.5);
line(950,37.5,950,712.5);
line(50,712.5,950,712.5);
}

```

```

//
if(dataReceived) {
    dataReceived=false;
}

//menampilkan waktu
int d= day();
int m= month();
int y= year();
int h= hour();
int n= minute();
int s= second();

//menampilkan waktu
String strCalendar = str(d) + "-" + str(m) + "-" + str(y);
String strTime = str(h) + ":" +str(n) + ":" + str(s);
fill(0);
textSize(25);
text(strCalendar,75,80);
text(strTime,170,80);

//background grafik
strokeWeight(3);
stroke(0);
fill(255);
rect(120,470,810,200);
fill(0);
text("Grafik Ketinggian Air Terhadap Waktu",70,460);

strokeWeight(1);
stroke(0);
for(float j=0;j<10;j++)
line(120,470+20*j,930,470+20*j);
textSize(15);

```



```
fill(0);
text("0",100,675);text("4",100,655);text("8",100,635);text("12",100,615);
text("16",100,595);text("20",100,575);text("24",100,555);text("28",100,535);
text("32",100,515);
text("h (cm)",80,480);
point(130,650);
```

```
//background posisi
strokeWeight(3);
stroke(0);
fill(255);
rect(70,160,500,70);
fill(#114881);
rect(400,160,100,70);
textSize(25);
fill(0);
text("Nilai Ketinggian Air ",160,205);
text("cm",525,202.5);
fill(255);
text(int(pos),425,205);
```

```
//background kecepatan ultrasonik
strokeWeight(3);
stroke(0);
fill(255);
rect(70,250,500,70);
fill(#114881);
rect(400,250,100,70);
textSize(25);
fill(0);
text("Kecepatan Terukur",160,280);
text("Sensor Ultrasonik",165,305);
text("cm/s",517.5,290);
fill(255);
```

```
text(vel1,425,295);

//background nilai kecepatan doppler
strokeWeight(3);
stroke(0);
fill(255);
rect(70,340,500,70);
fill(#114881);
rect(400,340,100,70);
textSize(25);
fill(0);
text("Kecepatan Terukur",160,370);
text("Sensor Doppler",172.5,395);
text("cm/s",517.5,380);
fill(255);
text(vel2,425,385);
```

```
//simbol elips aman
fill(255);
ellipse(700,240,75,75);
fill(0);
text("AMAN",755,250);
```

```
//simbol elips bahaya
fill(255);
ellipse(700,325,75,75);
fill(0);
text("BAHAYA",755,335);
```

```
//grafik posisi (data)
if (pos != 0)
{
  data_pos = int(map(pos, 0, 30, 0, 150));
  y_sekarang_pos=int(670-data_pos);
```

```
for(int i=120; i<w; i++)
{
    yValues[i-1]=yValues[i];
}

    yValues[w-1]=y_sekarang_pos;
for(int i=121; i<w; i++)
{
    stroke(#114881);
    line(i-1,yValues[i-1],i,yValues[i]);

}
}
```

```
if(vel1>2 && vel2>2) {
    fill(255,0,0);
    ellipse(700,325,75,75);
} else {
    fill(0,255,0);
    ellipse(700,240,75,75);
}
}
```

```
void serialEvent (Serial p)
{
myString = p.readString();
    if (myString != null)
    {
        dataReceived = true;
        String[] list = split(myString, ",");
        if(list.length > 1)
        {
            pos=int(trim(list[1]));

```

```

        vel1=int(trim(list[2]));
        vel2=int(trim(list[3]));
        print("list: ");
        printArray(list);
        println("list length: " + list.length);
    }
}

//define waktu untuk tabel
int d= day();
int m= month();
int y= year();
int h= hour();
int n= minute();
int s= second();

//store data
TableRow newRow = table.addRow();
newRow.setString("Tanggal", str(d) + ":" + str(m) + ":" + str(y));
newRow.setString("Waktu", str(h) + ":" + str(n) + ":" + str(s));
newRow.setInt("Ketinggian Air", pos);
newRow.setInt("Kecepatan dari Sensor Ultrasonik", vel1);
newRow.setInt("Kecepatan dari Sensor Doppler",vel2);

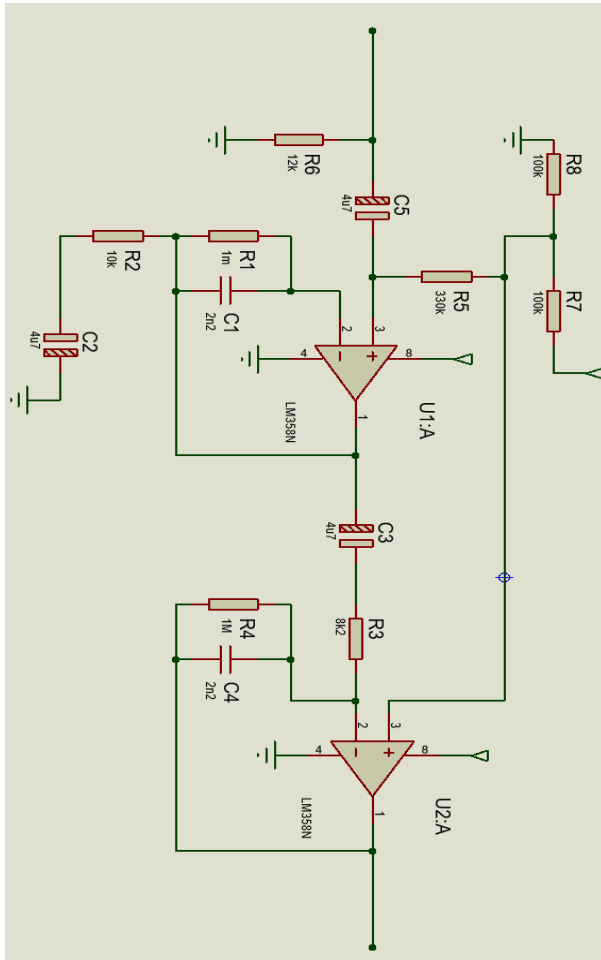
myString = "Data_EWS_Tsunami" + ".csv";
saveTable(table, myString);
}

```

Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 3

Skema Rangkaian Amplifier



Dimana,

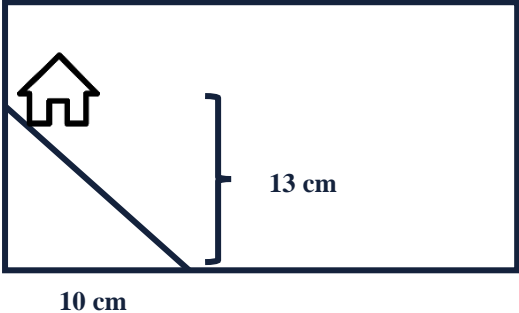
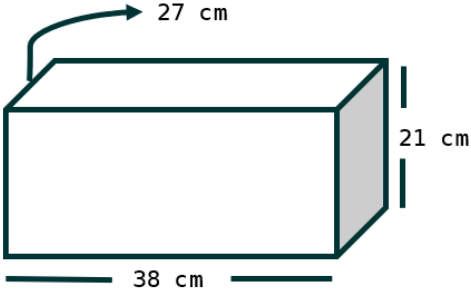
R adalah resistor

C adalah kapasitor

Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 4

Desain dan Ukuran Model Pengujian Rekayasa Tsunami



Halaman ini sengaja dikosongkan

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dari tugas akhir ini adalah seorang anak yang lahir dari pasangan Bapak Cahyo Mustiko Okta Muvianto, Ph.D dan Ibu Tri Endah Tresnawati, A.Md di Mataram pada tanggal 3 Juni 1999. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis memulai pendidikan formalnya di SD Negeri 26 Mataram (2004 - 2010), kemudian dilanjutkan di SMP Negeri 2 Mataram (2010 – 2013), lalu diteruskan ke SMA Negeri 1 Mataram (2013 – 2015), hingga akhirnya menempuh perguruan tinggi di Departemen

Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Selama menjalani kehidupan mahasiswa, penulis aktif dalam dunia organisasi lingkup departemen, yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS (HMTG ITS). Dalam kegiatan organisasi penulis di HMTG ITS, penulis pernah menjabat sebagai staf Departemen Pengabdian Masyarakat pada periode 2016/2017, yang kemudian dilanjutkan menjadi Kepala Departemen dari departemen tersebut pada periode berikutnya. Selain kegiatan organisasi, penulis juga berkecimpung dalam dunia sosial masyarakat lingkup nasional dengan mengikuti Sosmas Camp #4 pada tahun 2016 dan beberapa kepanitiaan lingkup departemen, fakultas, dan institut. Dalam bidang penelitian, penulis pernah tergabung dalam tim perancang *Early Warning System* Banjir yang turut dipamerkan pada acara Pertemuan PTNBH di ITS Surabaya tahun 2018. Penulis juga memiliki pengalaman kerja praktik di Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan, Bandung dengan mengambil tema geolistrik untuk eksplorasi air tanah. Penulis memiliki ketertarikan lebih pada metode geolistrik, serta bidang komputasi dan instrumentasi geofisika.

Akhir kata, penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya atas terselesaikannya tugas akhir yang berjudul “**Rancang Bangun *Prototype Instrumen Pendeteksi Dini Tsunami dengan Memanfaatkan Prinsip Refleksi Gelombang***”. Penulis berharap tugas akhir ini mampu membantu dalam perkembangan teknologi di Indonesia, khususnya untuk kepentingan sistem peringatan dini terhadap bencana.