



TUGAS AKHIR - TF 141581
RANCANG BANGUN SISTEM PENGUKURAN
KETINGGIAN GELOMBANG LAUT
MENGGUNAKAN SENSOR IMU 9

HIKMAH RAGIL TURJATININGSIH
NRP 2415 105 021

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, M.T.
Dr. Ir. Syamsul Arifin, M.T.
Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - TF 141581

RANCANG BANGUN SISTEM PENGUKURAN KETINGGIAN GELOMBANG LAUT MENGUNAKAN SENSOR IMU 9

**HIKMAH RAGIL TURJATININGSIH
NRP 2415 105 021**

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, M.T.
Dr. Ir. Syamsul Arifin, M.T.
Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TF 141581
DESIGN OF SEA WAVE HEIGHTS
MEASUREMENT SYSTEM USING IMU 9

HIKMAH RAGIL TURJATININGSIH
NRP 2415 105 021

Supervisors

Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, M.T.

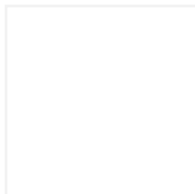
Dr. Ir. Syamsul Arifin, M.T.

Department of Engineering Physics

Faculty of Industrial Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2017



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hikmah Ragil Turjatiningsih

NRP : 2415105021

Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya berjudul “RANCANG BANGUN SISTEM PENGUKURAN KETINGGIAN GELOMBANG LAUT MENGGUNAKAN SENSOR IMU 9” bebas dari plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 28 Juli 2017
Yang membuat pernyataan,

Hikmah Ragil Turjatiningsih

NRP. 2415105021

TUGAS AKHIR
RANCANG BANGUN SISTEM PENGUKURAN
KETINGGIAN GELOMBANG LAUT MENGGUNAKAN
SENSOR IMU 9

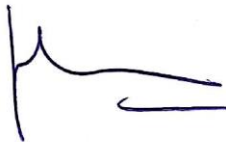
Oleh:



Hikmah Ragil Turjatiningsih
NRP. 2415 105 021

Surabaya, 14 Juli 2017

Menyetujui,
Pembimbing I



Prof. Dr. Ir. Aulia Siti A., MT
NIP.196601161989032001

Menyetujui,
Pembimbing II



Dr. Ir. Syamsul Arifin, MT.
NIP.196309071989031004

Mengetahui,
Ketua Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS


Agus M. Muhammad Hatta, S.T., MSi, Ph.D
NIP.197809022003121002
DEPARTEMEN
TEKNIK FISIKA
V

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGUKURAN
KETINGGIAN GELOMBANG LAUT MENGGUNAKAN
SENSOR IMU 9**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Hikmah Ragil Turjatningsih

NRP. 2415 105 021

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah M.T.(Pembimbing I)
2. Dr. Ir. Syamsul Arifin M.T. (Pembimbing II)
3. Imam Abadi S.T., M.T.(Penguji I)
4. Ir. Tutug Dhanardono M.T.(Penguji II)
5. Ir. Ya'umar M.T.(Penguji III)

**SURABAYA
JULI 2017**

RANCANG BANGUN SISTEM PENGUKURAN KETINGGIAN GELOMBANG LAUT MENGGUNAKAN SENSOR IMU 9

Nama Mahasiswa : Hikmah Ragil Turjatiningsih
NRP : 2415105021
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT
Dr. Ir. Syamsul Arifin, MT

Abstrak

Gelombang laut merupakan salah satu komponen laut yang mempunyai pengaruh besar pada aktifitas kehidupan yang berada di lautan. Kebutuhan untuk memperkirakan gelombang laut sangat penting untuk segala aktifitas di laut seperti pencarian sumber pangan sampai dengan transportasi. Penelitian ini didasari oleh penelitian yang berjudul "Rancang Bangun Sistem Monitoring Ketinggian Gelombang Laut pada *Prototype Buoyweather Type II*" yang memberikan hasil berupa ketinggian gelombang laut secara *realtime*, tetapi hasil pembacaan tinggi gelombang tidak sesuai dengan kondisi riil karena gaya berat dari *buoy* lebih besar dari gaya angkat gelombang di Pantai Kenjeran. Solusi untuk masalah gelombang tidak dapat terbaca sesuai keadaan riil tersebut sensor IMU 9 sebagai sensor tinggi gelombang laut diletakkan di wahana apung terpisah yang mempunyai ukuran lebih kecil sehingga dapat mengikuti gerakan gelombang laut dan membaca tinggi gelombang laut dengan lebih akurat. Kalibrasi data dilakukan di Laboratorium Vibrasi Jurusan Teknik Fisika ITS menggunakan sistem pegas dengan simpangan 2, 4, 6, 8 dan 10 cm sebanyak 6 kali percobaan. Pada uji kalibrasi didapatkan hasil *fraksi error* rata-rata 1.56%. Validasi data dilakukan dengan menggunakan *wave simulator* di Laboratorium Hidrodinamika Jurusan Teknik Perkapalan ITS dan didapatkan rata-rata *fraksi error* dari pembacaan gelombang laut pada wahana apung terpisah adalah 3.289%.

Kata Kunci: Gelombang laut, IMU 9, *Buoy*, akurasi

DESIGN OF SEA WAVE HEIGHTS MEASUREMENT SISTEM USING SENSOR IMU 9

Name : Hikmah Ragil Turjatiningsih
NRP : 2415105021
Departement : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT
Dr. Ir. Syamsul Arifin, MT

Abstract

Sea waves are one component of the ocean that has a major influence on the activities of life in the ocean. The need to estimate the ocean waves is very important for all activities in the sea such as fishing or transport. This research is based on a research entitled "Design of Sea Wave Height Monitoring Sistem on Prototype Buoyweather Type II" which gives the result of sea wave height in realtime, but the wave reading result did not match the real condition. In this study IMU 9 sensors as high wave sensors of the sea are placed in separate floating rides that have smaller sizes so as to follow the movement of ocean waves and read the wave height of the sea more accurately. Data calibration was done at Vibration Laboratory of Department of Physical Engineering ITS using spring sistem with deviation 2, 4, 6, 8 and 10 cm for 6 days. In the calibration test obtained an average error of 1.56%. Data validation was done by using wave simulator at Hydrodynamic Laboratory of ITS Shipping Department and got average error from sea wave reading on separate floating vehicle is 3,289%.

Keyword: *Sea Wave, IMU 9, Buoy, accuration*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur bagi Allah SWT, Tuhan semesta alam, yang hanya dengan ijinNya, tugas akhir ini dapat berjalan dengan baik. Rasa syukur akan seluruh karuniaNya, nikmatNya, dan segala anugerahNya bagi kita semua.

Penulis menyadari bahwa terselesaikannya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunianya yang tak terhingga banyaknya.
2. Papa Alm. Turmudhi dan Mama Eni Hartiningsih yang selalu memberikan dukungan materi dan semangat yang tak terhingga banyaknya kepada penulis.
3. Bapak Agus Muhammad Hatta S.T., M.Si, Ph.D., selaku Ketua Departemen Teknik Fisika FTI-ITS.
4. Dosen pembimbing tugas akhir, Ibu Prof. Dr. Ir. Aulia Siti A. M.T. dan Bapak Dr. Ir. Syamsul Arifin M.T., terima kasih atas bimbingan dan konsultasinya, juga semua materi dan fasilitas yang telah diberikan.
5. Dosen penguji tugas akhir, Bapak Dr. Imam Abadi S.T., M.T., Bapak Ir. Tutug Dhanardono M.T. dan Bapak Ir. Ya'umar M.T. atas segala sarannya kepada penulis.
6. Ridha Sari Turyana, Ridha Citra Turyani, Kharisma Cahyaning Turnami dan Mochammad Reza Zakaria atas segala perhatian, semangat dan nasehatnya kepada penulis.
7. Bapak Condro dan Mas Rudi atas segala bimbingan dan bantuannya selama melakukan validasi data di Lab. Hidrodinamika Teknik Perkapalan ITS.
8. Tim Penelitian *Buoyweather* Teknik Fisika ITS tahun 2017 atas segala bantuan dan kerjasamanya kepada penulis.

Dan semua pihak yang tidak bisa kami sebutkan satu-persatu, terima kasih atas bantuannya.

Karena kesempurnaan hanya milik Allah SWT, sehingga dalam skripsi ini pastilah terdapat kekurangan yang perlu diperbaiki, oleh karena itu semua saran dan kritik demi perbaikan dan pengembangan skripsi ini sangat penulis hargai. Penulis penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Surabaya, 2017

Penulis

DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Buoyweather.....	5
2.2 Sistem Pengukuran	7
2.3 Gelombang Laut	11
2.4 IMU 9	13
2.5 Arduino Mega 2650.....	14
2.6 Keandalan	16
BAB III METODOLOGI	23
3.1 Analisis Hasil Penelitian Sebelumnya.....	24
3.2 Perumusan Masalah.....	24
3.3 Studi Literatur.....	24
3.4 Perancangan Rangkaian Sistem Minimum Buoyweather	25

3.5	Pembuatan Wahana Apung Pembaca Gelombang Laut ..	26
3.6	Perancangan Perangkat Lunak.....	28
3.6.1	Pembacaan Data Sensor Accelerometer	28
3.6.2	Konversi Data ke Gravitasi.....	29
3.6.3	Sensing Data Menjadi Jarak Berdasarkan hasil kalibrasi	30
3.7	Kalibrasi Data Pembacaan Gelombang Laut.....	30
3.8	Validasi Data	31
3.9	Analisa Data	32
3.10	Perhitungan Keandalan.....	32
3.11	Pembahasan Hasil.....	33
3.12	Kesimpulan.....	33
BAB IV _ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Kalibrasi Alat Ukur	35
4.1.1	Uji saat Simpangan Standar 2 cm.....	35
4.1.2	Percobaan dengan simpangan 4 cm.....	40
4.1.3	Percobaan dengan simpangan 6 cm.....	45
4.1.4	Percobaan dengan simpangan 8 cm.....	50
4.1.5	Percobaan dengan simpangan 10 cm.....	55
4.1.6	Hasil Kalibrasi di Laboratorium Vibrasi ITS	59
4.2	Validasi Alat Ukur di Laboratorium Hidrodinamika ITS	63
4.2.1	Hasil Validasi Alat Ukur	63
4.3	Analisa Keandalan.....	76
4.3	Pembahasan	76
BAB _PENUTUP		79

5.1	Kesimpulan.....	79
5.2	Saran.....	79
LAMPIRAN		85
BIODATA PENULIS.....		91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Buoyweather	5
Gambar 2.2 Enam Degree of freedom.....	6
Gambar 2.3 Blok Diagram Sistem Pengukuran.....	7
Gambar 2. 4 Gelombang Laut	12
Gambar 2.5 Sensor IMU 9 DOF.....	14
Gambar 2.6 Arduino Mega 2650.....	15
Gambar 2. 7 Getaran Teredam	19
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	21
Gambar 3. 2 Wiring Elektronis sistem minimum Buoyweather..	25
Gambar 3. 3 Board Sistem Minimum Buoyweather	26
Gambar 3. 4 Minimum Sistem Buoyweather	26
Gambar 3. 5 Rancangan Wahana Apung Pengukur Tinggi	27
Gambar 3. 6 Wahana Apung Pengukur Tinggi Gelombang	27
Gambar 3. 7 Diagram Alir Pembuatan Perangkat Lunak Penel ..	28
Gambar 3. 8 Resultan dari sumbu x,y dan z.....	29
Gambar 3. 9 Definisi tinggi dan panjang gelombang laut	30
Gambar 3. 10 Sistem Pegas pada Lab Vibrasi TF ITS	31
Gambar 3. 11 Validasi Data di Lab Hidrodinamika	32
Gambar 4. 1 Plotting data simpangan 2 cm pada uji ke 1	35
Gambar 4. 2 Plotting data simpangan 2 cm pada uji kedua.....	36
Gambar 4. 3 Plotting data simpangan 2 cm pada uji ketiga	37
Gambar 4. 4 Plotting data simpangan 2 cm pada uji keempat.....	37
Gambar 4. 5 Plotting data simpangan 2 cm pada uji kelima	38
Gambar 4. 7 Plotting data simpangan 4 cm pada uji ke 1	40
Gambar 4. 8 Plotting data simpangan 4 cm pada uji kedua.....	41
Gambar 4. 9 Plotting data simpangan 4 cm pada uji ketiga	41
Gambar 4. 10 Plotting data simpangan 4 cm pada uji keempat...	42
Gambar 4. 11 Plotting data simpangan 4 cm pada uji kelima	43
Gambar 4. 12 Plotting data simpangan 4 cm pada uji kelima	43
Gambar 4. 14 Plotting data simpangan 6 cm pada uji kedua.....	46
Gambar 4. 15 Plotting data simpangan 6 cm pada uji ketiga	46
Gambar 4. 16 Plotting data simpangan 6 cm pada uji keempat...	47

Gambar 4. 17 Plotting data simpangan 6 cm pada uji kelima	48
Gambar 4. 18 Plotting data simpangan 6 cm pada uji keenam.....	48
Gambar 4. 19 Plotting data simpangan 8 cm pada uji ke 1	50
Gambar 4. 20 Plotting data simpangan 8 cm pada uji kedua.....	51
Gambar 4. 21 Plotting data simpangan 8 cm pada uji ketiga	51
Gambar 4. 22 Plotting data simpangan 8 cm pada uji keempat...	52
Gambar 4. 23 Plotting data simpangan 8 cm pada uji kelima	53
Gambar 4. 24 Plotting data simpangan 8 cm pada uji keenam.....	53
Gambar 4. 25 Plotting data simpangan 10 cm pada uji ke 1	55
Gambar 4. 26 Plotting data simpangan 10 cm pada uji kedua.....	55
Gambar 4. 27 Plotting data simpangan 10 cm pada uji ketiga	56
Gambar 4. 30 Plotting data simpangan 10 cm pada uji keenam..	58
Gambar 4. 31 Plotting Data Gelombang 0.5 cm pada uji 1	63
Gambar 4. 32 Plotting Data Gelombang 1.26 cm pada uji 1	64
Gambar 4. 33 Plotting Data Gelombang 1.91 cm pada uji 1	64
Gambar 4. 34 Plotting Data Gelombang 2.61 cm pada uji 1	65
Gambar 4. 35 Plotting Data Gelombang 0.5 cm pada uji kedua .	66
Gambar 4. 36 Plotting Data Gelombang 1.26 cm pada uji	66
Gambar 4. 37 Plotting Data Gelombang 1.91 cm pada uji	67
Gambar 4. 38 Plotting Data Gelombang 2.61 cm pada uji	68
Gambar 4. 39 Plotting Data Gelombang 2.61 cm pada uji	68
Gambar 4. 40 Plotting Data Gelombang 0.5 cm pada uji	69
Gambar 4. 41 Plotting Data Gelombang 1.26 cm pada uji	70
Gambar 4. 42 Plotting Data Gelombang 1.91 cm pada uji	70
Gambar 4. 43 Plotting Data Gelombang 2.61 cm pada uji	71
Gambar 4. 44 Plotting Data Gelombang 3.25 cm pada uji	71
Gambar 4. 45 Plotting Data Gelombang 0.5 cm pada uji hari 4..	72
Gambar 4. 46 Plotting Data Gelombang 1.26 cm pada uji hari...	73
Gambar 4. 47 Plotting Data Gelombang 1.91 cm pada uji hari...	73
Gambar 4. 48 Plotting Data Gelombang 2.61 cm pada uji hari...	74
Gambar 4. 49 Plotting Data Gelombang 2.61 cm pada uji hari...	74

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Hasil Decay Simpangan 2 cm.....	39
Tabel 4. 2 Hasil Pembacaan Simpangan 2 cm.....	40
Tabel 4.3 Hasil Decay Simpangan 4 cm.....	44
Tabel 4. 4 Hasil Pembacaan Simpangan 4 cm.....	44
Tabel 4.5 Hasil Decay Simpangan 6 cm.....	49
Tabel 4. 6 Hasil Pembacaan Simpangan 6 cm.....	49
Tabel 4.7 Hasil Decay Simpangan 8 cm.....	54
Tabel 4. 8 Hasil Pembacaan Simpangan 8 cm.....	54
Tabel 4.9 Hasil <i>Decay</i> Simpangan 10 cm.....	59
Tabel 4. 10 Hasil Pembacaan Simpangan 10 cm.....	59
Tabel 4. 11 Hasil Kalibrasi di Lab. Vibrasi	60
Tabel 4. 12 Nilai Standar Deviasi dan Ketidakpastian Kalib	61

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara maritim dimana komposisi lautan lebih besar daripada daratannya. Transportasi laut memiliki peran yang cukup tinggi dalam kehidupan sehari-hari dengan komposisi lautan yang ada di Indonesia. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang berfungsi untuk memantau kondisi lingkungan lautan sehingga transportasi laut dapat berjalan dengan lancar (BMKG, 2010).

Kehidupan Indonesia dengan pulau berciri maritim, yaitu dengan memanfaatkan laut sebagai sumber hidupnya. Sumber daya laut dari sudut ekonomi mempunyai keunggulan komparatif, sedangkan posisinya dapat menjadi keunggulan positif. Luasan perairan laut tersebut tidak diimbangi dengan adanya sebuah fasilitas informasi mengenai data perkiraan cuaca yang dilakukan secara *real time* (Rizky, Arifin, & N., 2016). Gelombang laut merupakan salah satu komponen laut yang mempunyai pengaruh besar pada aktivitas kehidupan yang berada di lautan (Ronny, 2012). Kebutuhan untuk memperkirakan gelombang laut sangat penting untuk segala aktifitas di laut seperti pencarian sumber pangan sampai dengan transportasi. Perkiraan cuaca dengan tingkat akurasi yang tinggi dibutuhkan untuk aktivitas di laut, dan untuk memperoleh informasi cuaca tersebut dibutuhkan *Buoyweather* (Rizky, Arifin, & N., 2016).

Penelitian yang pernah dilakukan tentang pengukuran gelombang laut antara lain berjudul “Penggunaan Data Angin Hasil Prediksi Model *Weather Research and Forecasting* (WRF) untuk Prediksi Gelombang Laut Menggunakan Model *Wavewatch III* (WW3)” yang menggunakan masukan data medan angin sebagai peramal tinggi gelombang laut dan mendapatkan hasil $RSME \pm 0.7$ untuk wilayah perairan Indonesia secara umum. Penelitian lainnya yaitu yang berjudul “Rancang Bangun, Uji Coba dan Analisis Hasil Pengukuran *Instrument* Pengukur Tinggi Gelombang Permukaan

Laut” yang menggunakan sensor *accelerometer* yang diletakkan di atas pelampung di perairan Wakatobi. Hasil yang didapatkan adalah rata-rata gelombang laut sebesar 0.72 meter.

Penelitian ini didasari oleh peneliti yang berjudul ”Rancang Bangun Sistem Monitoring Ketinggian Gelombang Laut pada *Prototype Buoyweather Type II*” yang memberikan hasil berupa ketinggian gelombang laut secara *realtime*, tetapi hasil pembacaan tinggi gelombang tidak sesuai dengan kondisi riil pada perairan Kenjeran, Surabaya. Hasil pembacaan tinggi gelombang rata-rata pada penelitian ini adalah 0.1 cm dan ini tidak sesuai dengan keadaan riil dikarenakan gaya berat *buoy* yang lebih besar dari gaya angkat gelombang di pantai Kenjeran, sedangkan pada penelitian ini, yaitu yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Pengukuran Ketinggian Gelombang Laut Menggunakan Sensor IMU 9”, sensor IMU 9 sebagai sensor tinggi gelombang laut diletakkan di wahana apung terpisah yang mempunyai ukuran lebih kecil sehingga dapat mengikuti gerakan gelombang laut pada pantai kenjeran yang merupakan perairan tenang dan dapat membaca tinggi gelombang dengan lebih akurat.

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang sebelumnya, maka permasalahan yang dapat diambil yaitu:

- a. Apakah sistem pembaca tinggi gelombang laut dapat membaca gelombang pada tempat uji?
- b. Apakah dengan meletakkan sistem pembaca tinggi gelombang di wahana apung terpisah dapat menaikkan akurasi sensor dalam pembacaan tinggi gelombang laut?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah:

- a. Dapat merancang sistem *instrument* pembaca tinggi gelombang laut yang dapat membaca gelombang pada tempat uji.
- b. Dapat menaikkan akurasi sensor dalam pembacaan tinggi gelombang laut.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

- a. Pengukuran tinggi gelombang laut menggunakan sensor IMU 9 DOF Stick dengan mikrokontroler Arduino Mega 2560.
- b. Wahana apung untuk mengukur ketinggian gelombang pada penelitian ini berdasarkan oleh desain pada penelitian Rancang Bangun, Uji Coba dan Analisis Hasil Pengukuran Instrumen Pengukur Tinggi Gelombang Permukaan Laut
- c. Variabel yang dikendalikan adalah 3 derajat kebebasan (*degree of freedom*) yang didekati dengan model 1 DOF.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Dapat memberikan informasi ketinggian laut sebagai pemantauan cuaca di bidang maritim dan dapat sebagai bahan analisa untuk sistem peringatan dini dalam hal cuaca di bidang maritim.

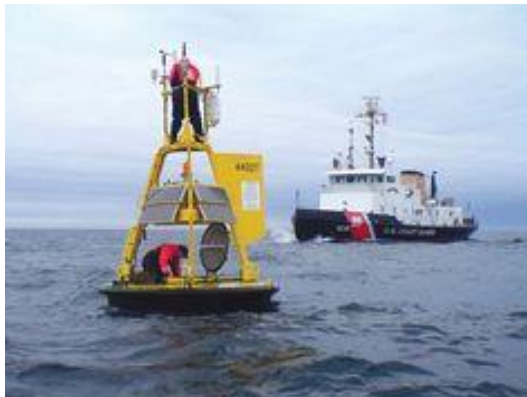
Hal ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

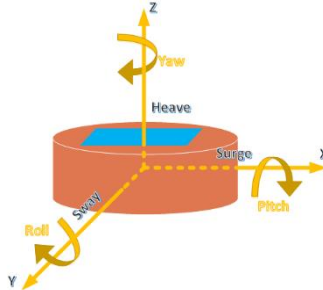
2.1 *Buoyweather*

Buoyweather merupakan sebuah alat yang mengapung di laut dan digunakan untuk memantau cuaca maritim. Beberapa manfaat dari *Buoyweather* adalah untuk *early warning system*, pendukung cuaca maritim dan untuk meningkatkan keselamatan transportasi laut ataupun sebagai navigasi kapal di pelabuhan sehingga dapat mendarat dengan baik (Wafi, Arifin, & Aisjah, 2014). *Buoyweather* memberikan sebuah informasi perkiraan cuaca pada bidang maritim dengan meliputi variabel yang terdiri dari kecepatan angin, temperatur udara, tekanan udara, kelembapan udara dan GPS. Tetapi, terdapat juga *buoyweather* yang hanya digunakan untuk mengetahui informasi cuaca pada bidang maritim dan dapat memantau khususnya ketinggian gelombang air laut dengan secara *real time* (Rizky, Arifin, & N., 2016). Bentuk fisik *Buoyweather* dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.1 *Buoyweather* (Anonim, Video Clips About Collecting Climate Data at Buoyweather, 2011)

Buoyweather atau wahana apung juga mempunyai dinamika gerak sama seperti dinamika gerak sama seperti dinamika kapal yang terdiri dari gerakan translasi (*surge, sway, heave*) dan gerakan rotasi (*roll, pitch, yaw*) yang dapat dijelaskan di bawah ini (Sari, 2011):



Gambar 2.2 Enam *Degree of freedom*

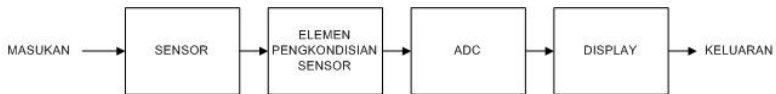
- a. *Surge*
Gerak dinamik yang terjadi di *buoyweather* dengan orientasi gerak translasi pada sumbu x, dengan secara maju dan mundur.
- b. *Sway*
Gerak dinamik yang terjadi di *buoyweather* dengan orientasi gerak translasi pada sumbu y, dengan secara ke kiri dan ke kanan.
- c. *Heave*
Gerak dinamik yang terjadi di *buoyweather* dengan orientasi gerak translasi pada sumbu z dengan secara naik turun.
- d. *Roll*
Gerak dinamik yang terjadi pada *buoyweather* dengan orientasi gerak rotasi pada sumbu x dengan secara berputar maju
- e. *Pitch*
Gerak dinamik yang terjadi di *buoyweather* dengan orientasi gerak rotasi pada sumbu y dengan secara berputar ke depan.

f. *Yaw*

Gerak dinamik yang terjadi di *buoyweather* dengan orientasi gerak rotasi pada sumbu z dengan secara berputar ke samping.

2.2 Sistem Pengukuran

Sistem pengukuran adalah sebuah sistem yang digunakan untuk mengambil, mengolah dan menampilkan informasi data dari sebuah pengukuran pada pembacaan sensor (Rizky, Arifin, & N., 2016). Sistem pengukuran pada umumnya memiliki empat tahapan proses agar menjadi sebuah sistem yang sempurna terdiri dari sensor, elemen pengkondisian sensor, ADC (*Analog to Digital Converter*) dan elemen presentasi data (P. Bentley, 2015)



Gambar 2.3 Blok Diagram Sistem Pengukuran (P. Bentley, 2015)

a. Sensor

Sensor adalah sebuah indikator sensitif yang berfungsi untuk mengetahui perubahan pada besaran fisis yang berubah menjadi besaran fisis lainnya pada saat melakukan pengukuran.

b. Elemen Pengkondisian Sensor

Elemen pengkondisian sensor merupakan divais yang berfungsi untuk memanipulasi sinyal analog agar terbaca oleh ADC.

c. ADC

ADC (*Analog to Digital Converter*) merupakan divais yang berfungsi untuk memproses sinyal analog dari elemen pengkondisian sensor agar menjadi sinyal digital.

d. *Display*

Sinyal digital yang didapatkan setelah proses ADC lalu ditampilkan untuk visualitas kepada *user*.

Sistem pengukuran memiliki beberapa parameter *instrument* yang perlu diperhatikan yaitu:

a. *Span*

Span merupakan variasi maksimum pada *input* ataupun *output*. *Span input* suatu alat ukur adalah (P. Bentley, 2015):

$$\text{Span Input} = I_{\max} - I_{\min} \quad (2.1)$$

Sedangkan *span output* suatu alat ukur adalah:

$$\text{Span Output} = O_{\max} - O_{\min} \quad (2.2)$$

b. Linearitas

Suatu alat ukur dapat dikatakan linear jika memiliki nilai masukan dan keluaran pada garis lurus. Garis lurus ideal adalah dengan menghubungkan titik minimum A (I_{\min} , O_{\min}) ke titik maksimum B (I_{\max} , O_{\max}). Linearitas dapat dirumuskan seperti pada persamaan 2.3 (P. Bentley, 2015).

$$O - O_{\min} = \left[\frac{O_{\max} - O_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \right] (I - I_{\min}) \quad (2.3)$$

c. Akurasi

Akurasi merupakan ketepatan hasil suatu alat ukur dibandingkan dengan keadaan sebenarnya. Apabila nilai hasil pengukuran tersebut sesuai maka didapatkan hasil pembacaan alat ukur akan semakin akurat (Rizky, Arifin, & N., 2016).

d. Presisi

Presisi merupakan bagian dari sistem pengukuran yang berfungsi untuk menampilkan sebuah data pengukuran yang sama pada pengukuran berulang (Rizky, Arifin, & N., 2016).

e. Toleransi

Toleransi menunjukkan besarnya *fraksi error* maksimum yang didapatkan ketika melakukan sebuah pengukuran (Rizky, Arifin, & N., 2016). Toleransi juga disebut sebagai standart

deviasi yang berfungsi untuk mengetahui tingkat penyebaran data dari nilai rata-rata yang diambil setiap pengukuran.

f. *Range*

Range berfungsi untuk mengetahui batas nilai maksimum dan minimum data dari masukan dan keluaran yang dapat dihasilkan oleh alat ukur.

g. Sensitivitas

Sensitivitas merupakan sebuah perubahan yang dihasilkan dari hasil pembacaan alat ukur dengan memberikan sejumlah variasi pembacaan dalam pengujian atau pengukuran tersebut (P. Bentley, 2015). Sensitivitas dapat dihitung menggunakan persamaan 2.4.

$$\text{Sensitivitas} = \frac{\text{output}}{\text{input}} \quad (2.4)$$

2.3 Analisa Ketidakpastian

Ketidakpastian adalah nilai ukur sebaran kelayakan yang dapat dihubungkan dengan nilai terukurnya, dimana di dalam nilai sebaran tersebut terdapat nilai rentang yang menunjukkan nilai sebenarnya (Kurnianingtyas, 2015). Klasifikasi ketidakpastian, antara lain:

a. Tipe A

Nilai ketidakpastian yang dilihat dari analisis pengukuran statistik. Dimana rumus umum ketidakpastian tipe A dapat dilihat di persamaan 2.5.

$$U_{a1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.5)$$

dengan:

σ = standart deviasi koreksi

n = Jumlah data

U_{n1} = Ketidakpastian hasil pengukuran

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} \quad (2.6)$$

dengan:

SSR (*Sum Square Residual*) = \sum SR (*Square Residual*)

SR = R^2 (*Residu*)

U_{n2} = Ketidakpastian Regresi

$$Y_i = t_i - x_i \quad (2.7)$$

$$Y_{reg} = a + (b \times t_i) \quad (2.8)$$

$$a = \bar{y}_i + (b \times \bar{t}_i) \quad (2.9)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum t_i y_i - \sum y \cdot \sum t_i}{n \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2} \quad (2.10)$$

dengan:

t_i = Pembacaan standar

x_i = Pembacaan alat

y_i = Nilai koreksi

b. Tipe B

Nilai ketidakpastian yang tidak dilihat dari analisis pengukuran statistik (Kurnianingtyas, 2015). Berikut merupakan rumus umum dari ketidakpastian tipe B:

$$U_{B1} = \frac{\frac{1}{2} \times \text{Resolusi}}{\sqrt{3}} \quad (2.11)$$

$$U_{B2} = \frac{a}{k} \quad (2.12)$$

dengan:

U_{B1} = Nilai ketidakpastian resolusi

U_{B2} = Nilai ketidakpastian dari alat standar/kalibrator

c. Ketidakpastian Baku Gabungan (Kombinasi)

Ketidakpastian baku gabungan disimbolkan dengan U_c , dimana nilai ketidakpastian yang digunakan untuk mewakili nilai estimasi standar deviasi dari hasil pengukuran (Kurnianingtyas, 2015). Nilai ketidakpastian baku gabungan merupakan hasil penggabungan dari nilai – nilai ketidakpastian tipe A dan tipe B. Berikut merupakan rumus umum ketidakpastian baku gabungan:

$$U_c = \sqrt{U_{A1}^2 + U_{A2}^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2} \quad (2.13)$$

dengan:

U_c = Nilai ketidakpastian kombinasi

U_{A1} = Nilai ketidakpastian hasil pengukuran

U_{A2} = Nilai ketidakpastian regresi

U_{B1} = Nilai ketidakpastian resolusi

U_{B2} = Nilai ketidakpastian kalibrator

d. Ketidakpastian Diperluas, U_{exp} ^[7]

Ketidakpastian diperluas merupakan akhir nilai ketidakpastian dengan tingkat kepercayaan. Tingkat kepercayaan adalah tingkat keyakinan mengenai daerah nilai sebenarnya pada suatu pengukuran

$$U_{exp} = k \times U_c \quad (2.14)$$

dengan:

k = Faktor cakupan

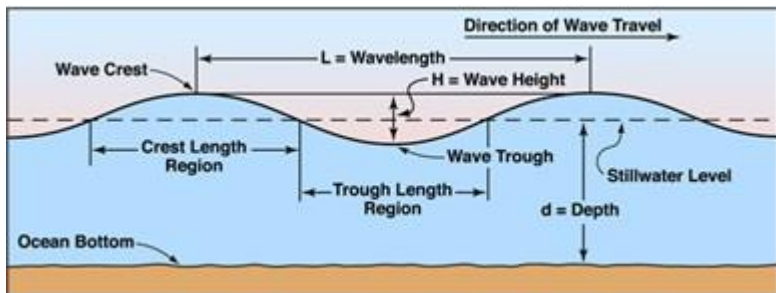
U_c = Nilai ketidakpastian kombinasi

2.3 Gelombang Laut

Gelombang laut adalah peristiwa naik turunnya sebuah permukaan air laut dari ukuran kecil hingga sampai yang paling panjang atau pasang surutnya air laut. Terjadinya sebuah tinggi gelombang laut disebabkan karena adanya kecepatan angin,

lamanya angin yang bertiup dan jarak angin yang bertiup (A.K.Laing, 1998).

Tinggi gelombang adalah jarak vertikal antara puncak gelombang dan lembah gelombang dimana tinggi gelombang sendiri terdiri dari berbagai macam gelombang angin, gelombang pasang surut dan gelombang tsunami. Menentukan tinggi gelombang laut terlebih dahulu memahami klasifikasi gelombang laut. Klasifikasi gelombang laut disebabkan dari panjang periode. Panjang periode tersebut memiliki hubungan dengan energi relatif. Semakin panjang gelombang periode gelombang laut maka akan menghasilkan energi relatif gelombang laut, sehingga gelombang laut tersebut dapat diklasifikasikan berdasarkan periode panjang gelombang laut tersebut (A.K.Laing, 1998).



Gambar 2. 4 Gelombang Laut (Havinga, 2009)

Bentuk gelombang dibagi menjadi berbagai bentuk yang masing-masing memiliki karakteristik dan energi yang berbeda. Secara umum ada dua jenis gelombang yang sering dijumpai, yaitu gelombang linier dan nonlinier. Gelombang linier ini memiliki karakteristik berbentuk sinusoidal dengan panjang gelombang yang lebih besar dari tinggi gelombangnya. Untuk gelombang tipe yang kedua yaitu bentuk gelombang non-linear atau biasa juga dikenal dengan bentuk gelombang tak beraturan. Karakteristik gelombang yang terjadi pada gelombang non-linier tidak membentuk karakteristik gelombang sinusoidal seperti pada gelombang linier. Karakteristik gelombang non-linear yaitu

dengan puncak gelombang yang meruncing dan panjang gelombang yang mengecil (Age , Fitri, & Soemartojo, 2013).

2.4 IMU 9

Sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*) merupakan sebuah komponen inersia yang digunakan untuk panduan sebuah sistem yang umumnya digunakan pada kendaraan darat, kendaraan laut dan roket kendali. Sensor IMU bekerja dengan mensensing sebuah gerakan dan perpindahan arah dengan menggunakan kombinasi sensor *accelerometer* digunakan untuk menentukan percepatan gravitasi, *gyroscope* digunakan untuk menentukan percepatan sudut dan sensor magnetometer digunakan untuk heading atau menentukan arah mata angin dan digunakan sebagai referensi pada sumbu *yaw* (Azfar, 2009).

Accelerometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran (*vibration*), dan mengukur percepatan akibat gravitasi (inklinasi). *Accelerometer* dapat digunakan untuk mengukur getaran pada mobil, mesin, bangunan, dan instalasi pengamanan. *Accelerometer* juga dapat diaplikasikan pada pengukuran aktivitas gempa bumi dan peralatan-peralatan elektronik, seperti permainan 3 dimensi, *mouse* komputer, dan telepon. Untuk aplikasi yang lebih lanjut, sensor ini banyak digunakan untuk keperluan navigasi (Riyadi, Wahyudi, & Setiawan, 2010). *Accelerometer* juga terdapat pada sensor IMU 9 DOF, dimana di dalam sensor IMU 9 DOF terdiri dari sensor 3-axis *accelerometer*, 3-axis *gyroscope* dan 3-axis magnetometer.



Gambar 2.5 Sensor IMU 9 DOF (*Elektronics, 2016*)

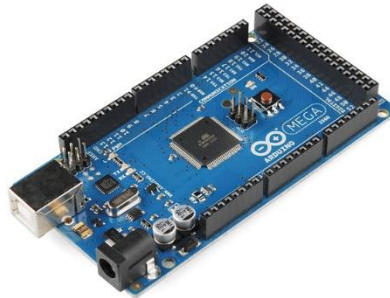
Gambar 2.5 merupakan bentuk fisik sensor IMU 9 DOF dimana sensor tersebut mempunyai spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.1 Spesifikasi Sensor IMU 9 DOF (*Rizky, Arifin, & N., 2016*)

No	Parameter	Keterangan
1	<i>Input Voltage</i>	2.0 volt – 3.3 volt
2	ADXCL345	3-axis digital <i>accelerometer</i>
3	ITG-3200	3-axis digital <i>gyroscope</i>
4	HMC5883L	3-axis digital magnetometer
5	Interface	i2c serial data

2.5 Arduino Mega 2650

Arduino merupakan sebuah perangkat elektronika yang bersifat *open source* sebagai *platform* dari *physical computing*. *Physical computing* adalah membuat sebuah sistem perangkat fisik dengan menggunakan perangkat lunak dan *hardware* yang sifatnya interaktif yaitu dapat menerima rangsangan dari lingkungan dan merespon balik. Arduino adalah kombinasi antara *hardware*, bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment* (IDE). IDE adalah sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk menulis program, meng-*compile* menjadi kode biner serta meng-*upload* ke dalam *memory microcontroller* (Ferdiansyah, 2015).



Gambar 2.6 Arduino Mega 2560

Arduino mega memiliki 54 pin digital *input* dan *output*. Semua pin beroperasi pada tegangan 5 volt. Setiap pin dapat memberikan atau menerima arus maksimum 40 mA dan memiliki resistor *pull-up* internal sebesar 20-50 KOhm. Selain itu beberapa pin memiliki fungsi khusus, yaitu:

- Serial
Pin serial berfungsi sebagai penerima (RX) dan sebagai pengirim (TX) TTL data serial. Pin ini terhubung ke pin yang sesuai dari chip FTDI USB-to-TTL Serial.
- *External Interrupt* (Interupsi Eksternal)
Pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu sebuah interupsi pada nilai yang rendah, meningkat atau menurun, atau perubahan nilai.
- PWM
PWM berfungsi untuk menyediakan keluaran berupa 8-bit keluaran analog.
- SPI
Pin ini mendukung komunikasi SPI. Komunikasi SPI ini tersedia pada *hardware* tetapi belum didukung dalam bahasa Arduino.

- LED
Tersedia secara *built-in* pada papan Arduino Mega, ketika pin diset bernilai HIGH, maka LED menyala, dan ketika pin diset bernilai LOW, maka LED padam.

Arduino mega memiliki 16 pin sebagai *input* analog, yang masing-masing menyediakan resolusi 10 bit (yaitu 1024 nilai yang berbeda). Secara *default* pin ini dapat diukur/diatur dari mulai ground sampai dengan 5 Volt, juga memungkinkan untuk mengubah titik jangkauan tertinggi atau terendah. Selain itu juga, beberapa pin memiliki fungsi yang dikhususkan, yaitu:

- I2C
Mendukung komunikasi I2C (TWI) menggunakan perpustakaan *wire*.
- AREF
AREF digunakan dengan fungsi `analogReference()` yang berfungsi untuk referensi tegangan untuk *input* analog..
- RESET
Jalur LOW ini digunakan untuk me-reset (menghidupkan ulang) mikrokontroler. Biasanya digunakan untuk menambahkan tombol reset pada *shield* yang menghalangi papan utama Arduino.

2.6 Keandalan

Keandalan adalah probabilitas suatu sistem, komponen, atau divais yang akan tampil tanpa kegagalan untuk jangka waktu tertentu dalam kondisi operasi tertentu. Disiplin keandalan pada dasarnya adalah studi tentang penyebab, distribusi, dan prediksi kegagalan (Dieter, 2000).

Fungsi *reliability* adalah fungsi matematik yang menyatakan hubungan *reliability* dengan waktu. Karena nilai fungsi *reliability* merupakan probabilitas maka nilai fungsi *reliability* R bernilai $0 \leq R \leq 1$. Fungsi *reliability* dinotasikan sebagai $R(t)$ dari sistem jika dipakai selama t satuan waktu. Probabilitas sistem dapat berkerja

baik selama $[0,t]$. Fungsi *reliability* terhadap waktu dapat dinyatakan seperti persamaan 2.15 (Sumantri, 2013):

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_0^t f(t)dt \quad (2.15)$$

Laju kegagalan λ adalah banyaknya kegagalan. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi komponen (Sumantri, 2013).

Availability adalah kemampuan suatu sistem dapat beroperasi sebagaimana mestinya pada waktu yang ditentukan (Sumantri, 2013). Analisa rekayasa ketersediaan (*availability engineering analysis*) merupakan sebuah metodologi yang dapat membantu para peneliti dalam memperbaiki produktivitas dari sebuah *plant*.

Availability menyatakan peluang komponen atau sebuah sistem yang memberikan fungsi terbaik ketika dibutuhkan, sehingga bisa diambil kesimpulan untuk menilai *availability* maka dibutuhkan nilai kegagalan atau perbaikan (Sumantri, 2013). Dalam menentukan ketersediaan didapatkan dari dua faktor yaitu, MTTR (*Mean Time to Repair*) atau ukuran perawatan dari sebuah komponen, dan MTTF (*Mean Time to Failure*) atau ukuran dari keandalan komponen. MTTF dan MTTR dapat dirumuskan pada persamaan (Dieter, 2000):

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.16)$$

$$MTTR = \frac{\mu}{\text{waktu operasi}} \quad (2.17)$$

Keterangan:

λ = Laju Kegagalan

μ = Waktu perikan rata-rata

maka untuk *availability* didapatkan dari persamaan:

$$Availability = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (2.18)$$

Nilai dari *availability* adalah 0% sampai dengan 99,9%. Semakin tinggi nilai *availability* suatu komponen maka semakin baik kualitas komponen atau sistem tersebut. Nilai *availability* standar untuk industri adalah 90% atau lebih (Betrianis & Suhendra, 2005). Ketersediaan suatu sistem dapat dikatakan baik bila masih memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh industri.

2.7 Getaran

Getaran adalah gerakan osilasi bolak-balik yang berulang dari suatu benda dari posisi kesetimbangan statisnya (posisi diam) pada interval tertentu saat kesetimbangan tersebut terganggu oleh adanya gaya perlawanan (Pain, 2005). Gaya perlawanan tersebut diantaranya adalah gaya gesek karena persentuhan dua benda, gaya kekentalan cairan atau gas, gaya plastisitas (pelumeran suatu jenis logam atau non logam). Getaran dikelompokkan menjadi dua, yang pertama getaran bebas dan getaran paksa, yang kedua adalah getaran teredam dan tidak teredam.

a. Getaran Bebas

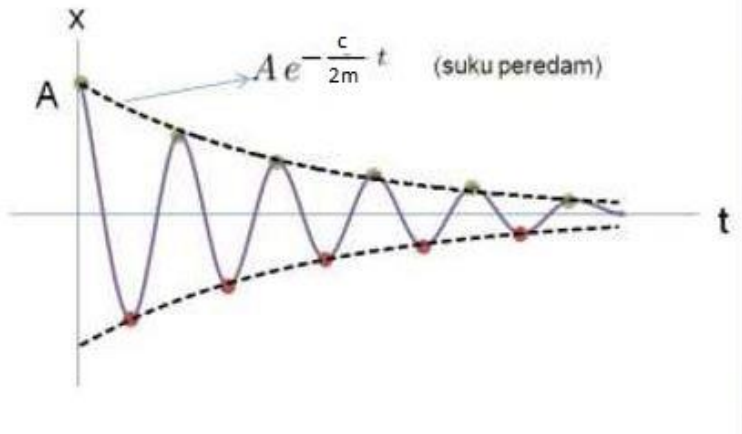
Getaran bebas adalah getaran sementara yang terjadi setelah bebas dari gangguan (Sari I. A., 2013). Sistem yang bergetar bebas akan memiliki lebih dari satu frekuensi dikarenakan oleh distribusi massa dan kekuatannya. Semua sistem yang memiliki massa dan elastisitas akan mengalami getaran bebas atau getaran yang terjadi tanpa rangsangan dari luar.

b. Getaran Paksa

Getaran paksa adalah getaran suatu benda yang dipaksakan oleh suatu gaya yang bekerja secara terus-menerus (Sari I. A., 2013). Frekuensi getaran benda akan sama dengan frekuensi rangsangannya.

c. Getaran Teredam

Getaran teredam adalah gerak periodik tidak mengalami osilasi sempurna, dimana pada suatu titik tertentu, gerak periodik akan mengalami pelemahan pada akhirnya menjadi nol (Sari I. A., 2013).



Gambar 2. 7 Getaran Teredam (Sari I. A., 2013)

Getaran teredam umumnya dipengaruhi oleh gaya gesekan. dimana:

$$F_{gesekan} = c \cdot v \quad (2. 19)$$

dengan:

$$c = \text{decay} \left(\frac{\text{N}}{\text{m/s}} \right)$$

v = kecepatan (m/s)

Gambar 2.7 memiliki persamaan kesetimbangan yang dapat dilihat pada persamaan 2.20.

$$\sum F = m \cdot a = -k \cdot x - c \cdot v \quad (2. 20)$$

atau dapat ditulis:

$$m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = 0 \quad (2.21)$$

dengan:

- m = massa (kg)
- a = percepatan (m/s^2)
- c = *decay* ($N/\frac{m}{s}$)
- v = kecepatan (m/s)
- k = konstanta restorasi (N/m)
- x = displacement (m)

Getaran teredam selalu akan mengalami penurunan logaritmik. Penurunan logaritmik dapat didefinisikan sebagai logaritma dari hasil bagi dua puncak berturut-turut, maka dapat dirumuskan seperti yang terlihat pada persamaan 2.22, 2.23, 2.24 (Rizky, Arifin, & N., 2016).

$$\delta = \ln \frac{x_1}{x_2} \quad (2.22)$$

$$\xi = \sqrt{\frac{\delta^2}{4\pi^2 + \delta^2}} \quad (2.23)$$

$$\xi = \frac{c}{c_r} = \frac{c}{2\sqrt{km}} \quad (2.24)$$

dengan :

- x_1 = besar amplitudo simpangan pertama (m)
- x_2 = besar amplitudo simpangan kedua (m)
- δ = peluruhan logaritmik
- ξ = rasio redaman
- c = *decay* ($N/\frac{m}{det}$)

- k = konstanta restorasi (N/m)
m = massa (Kg)

d. Getaran Tidak Tereadam

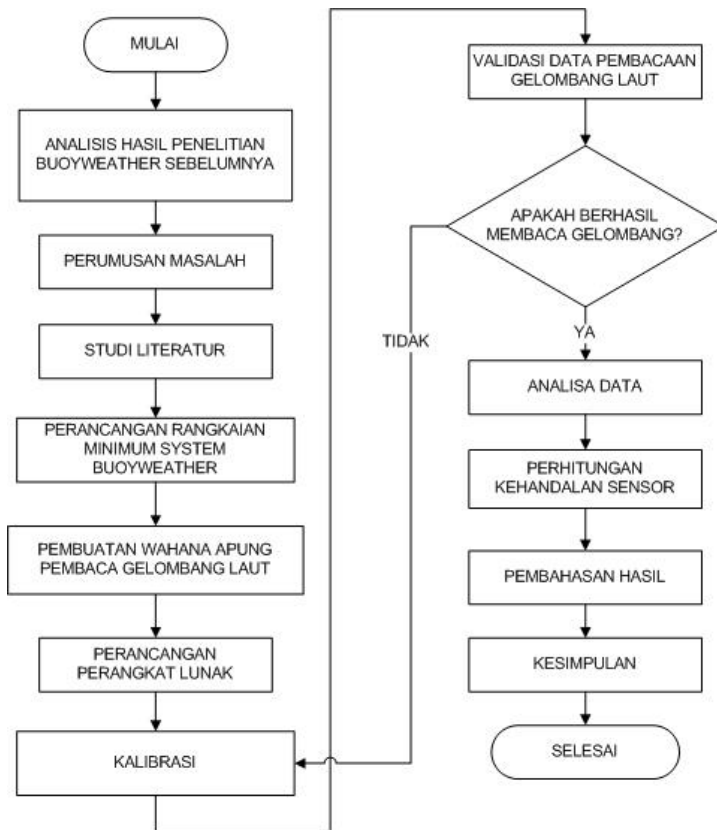
Getaran tidak teredam adalah gerak periodik yang mengalami osilasi sempurna, dimana getaran ini akan berlangsung secara terus menerus (Pain, 2005). Getaran tidak teredam tidak dapat terjadi di dunia nyata, karena getaran tanpa diberi gangguanpun akan bergesekan dengan udara sehingga akhirnya akan berhenti menjadi nol.

Hal ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI

Bab metodolgi menguraikan langkah-langkah alur penelitian perancangan sistem pengukuran tinggi gelombang laut menggunakan sensor IMU 9. Diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.1 Analisis Hasil Penelitian Sebelumnya

Tahap awal pada *flowchart* ini dimulai dengan analisis terhadap hasil penelitian sebelumnya, apa yang menjadi kekurangan dari penelitian sebelumnya dan menganalisis bagaimana cara untuk mengatasinya. Penelitian yang pernah dilakukan tentang pengukuran gelombang laut antara lain berjudul “Rancang Bangun, Uji Coba dan Analisis Hasil Pengukuran *Instrument* Pengukur Tinggi Gelombang Permukaan Laut” yang menggunakan sensor *accelelerometer* yang diletakkan di atas pelampung di perairan Wakatobi. Hasil yang didapatkan adalah rata-rata gelombang laut sebesar 0.72 meter. Kekurangan dari penelitian ini adalah tidak adanya data pembanding untuk mengetahui keakuratan sensor.

Penelitian lainnya, yaitu yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Monitoring Ketinggian Gelombang Laut pada *Prototype Buoyweather Type II*” memberikan hasil berupa ketinggian gelombang laut secara *realtime*, tetapi hasil pembacaan tinggi gelombang tidak sesuai dengan kondisi riil pada perairan Kenjeran, Surabaya. Hasil pembacaan tinggi gelombang rata-rata pada penelitian ini adalah 0.1 cm dan ini tidak sesuai dengan keadaan riil.

3.2 Perumusan Masalah

Sebelum melakukan penelitian, maka dibuat perumusan masalah yang menentukan cakupan pembahasan. Dalam penelitian ini terdapat beberapa cakupan masalah, yaitu dengan meletakkan sensor IMU 9 di wahana apung terpisah, akurasi sensor dalam pembacaan tinggi gelombang laut akan naik atau tidak. Cakupan masalah yang kedua adalah apakah rancangan yang dibuat dapat mengukur tinggi gelombang laut secara riil pada lapangan uji.

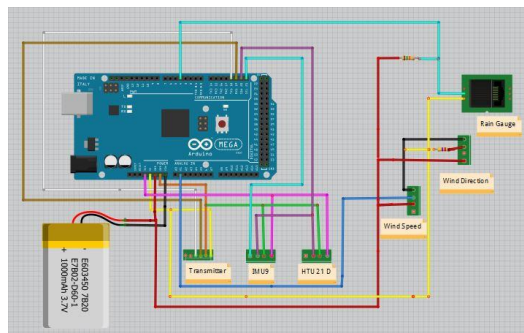
3.3 Studi Literatur

Studi literatur ini dilakukan dengan mencari dan mempelajari informasi mengenai uji performansi suatu sensor yang diaplikasikan dan pembuatan sistem pembacaan tinggi

gelombang, diantaranya studi literatur tentang cuaca maritim, karakteristik gelombang, sensor *accelerometer*, proses pengukuran, *Buoyweather*, dll.

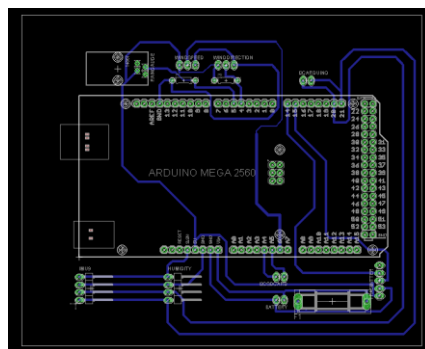
3.4 Perancangan Rangkaian Sistem Minimum *Buoyweather*

Langkah selanjutnya setelah melakukan studi literatur adalah melakukan perancangan rangkaian elektronik sistem minimum. Rancangan dari rangkaian elektronik pada sistem *Buoyweather* dapat dilihat pada gambar 3.2.



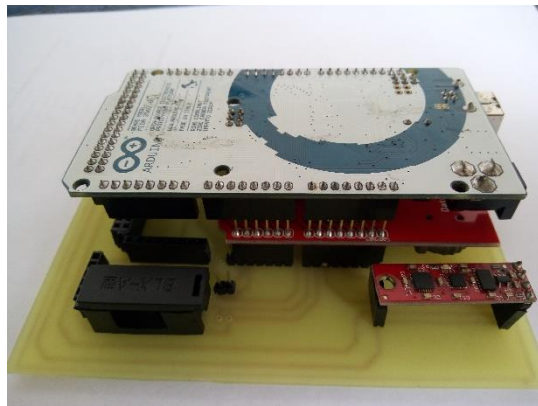
Gambar 3. 2 Wiring Elektronis sistem minimum *Buoyweather*

Rancangan dari *wiring* elektronik sistem minimum *Buoyweather*, dibuat *schematic* dan *boardnya* menggunakan perangkat lunak *eagle*.



Gambar 3. 3 *Board* Sistem Minimum *Buoyweather*

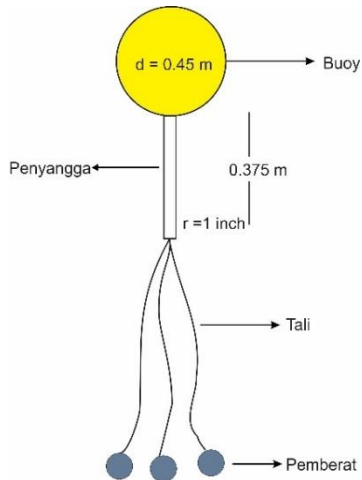
Rangkaian sistem minimum ini terdiri dari Arduino Mega 2650 sebagai prosesor dan sensor-sensor untuk memonitoring cuaca maritim. Sensor-sensor tersebut adalah sensor IMU 9 untuk mendeteksi tinggi gelombang laut, anemometer untuk mendeteksi kecepatan angin, sensor arah angin, sensor curah hujan serta sensor kelembapan. Keluaran dari sensor-sensor ini akan menjadi *input* untuk Arduino Mega 2650 sebagai pengolah data, lalu data yang telah diproses oleh Arduino akan ditransmisikan menggunakan *transmitter* ke daratan. Data tersebut akan diterima *receiver* dan akan diolah lebih lanjut. *Board* lalu dicetak menjadi PCB sehingga dapat dipasang komponen-komponen dari sistem minimum seperti yang dapat terlihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Minimum Sistem *Buoyweather*

3.5 Pembuatan Wahana Apung Pembaca Gelombang Laut

Wahana apung pada penelitian ini digunakan khusus untuk mengukur tinggi gelombang dan diintegrasikan dengan *Buoyweather* utama. Desain wahana apung pengukur tinggi gelombang pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Rancangan Wahana Apung Pengukur Tinggi Gelombang

Buoy akan dibuat dengan material *fiber*, penyangga terbuat dari material pipa paralon yang dilapisi *fiber* seperti gambar berikut:



Gambar 3. 6 Wahana Apung Pengukur Tinggi Gelombang

3.6 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak pada sistem pengukuran tinggi gelombang laut ini meliputi pemrograman pada Arduino Mega 2650 menggunakan perangkat lunak IDE Arduino untuk pembacaan data digital keluaran dari sensor IMU 9 akan diolah sesuai dengan hasil kalibrasi.



Gambar 3. 7 Diagram Alir Pembuatan Perangkat Lunak Penelitian

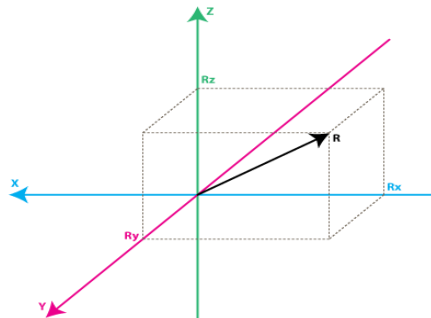
3.6.1 Pembacaan Data Sensor *Accelerometer*

Sensor IMU 9 yang digunakan dalam penelitian ini memiliki keluaran berupa sinyal i2c. Sinyal i2c ini dipanggil menggunakan *library* pada perangkat lunak IDE Arduino sehingga data digital dapat terbaca.

3.6.2 Konversi Data ke Gravitasi

Sensor *accelerometer* memiliki 3 *degree of freedom*, yaitu sumbu x, sumbu y, dan sumbu z. Untuk merubah keluaran menjadi gravitasi pertama dilakukan percobaan pembacaan saat menghadap sumbu gravitasi (9.8 m/s^2), saat pada sumbu 0 dan saat berlawanan dengan arah gravitasi (-9.8 m/s^2). Data-data tersebut kemudian dibuat grafik menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel* dan *equation* dari hasil data tersebut digunakan sebagai logaritma yang ditanamkan pada prosesor Arduino sehingga didapatkan keluaran gravitasi.

Gelombang laut dapat menyebabkan perubahan pembacaan respon sensor pada sumbu orientasi dari sensor *accelerometer* (Havinga, 2009). Sumbu orientasi sensor *accelerometer* didapatkan dari resultan sumbu x, y dan z *accelerometer* itu sendiri.



Gambar 3. 8 Resultan dari sumbu x,y dan z (Turjatiningsih, 2013)

Resultan dari sumbu x, y dan z dapat dicari menggunakan persamaan 3.1.

$$\text{resultan} = \sqrt{(gx)^2 + (gy)^2 + (gz)^2} \quad (3.1)$$

Keterangan:

gx = keluaran gravitasi pada sumbu x

gy = keluaran gravitasi pada sumbu y

gz = keluaran gravitasi pada sumbu z

3.6.3 Sensing Data Menjadi Jarak Berdasarkan hasil kalibrasi

Hasil dari pembacaan resultan keluaran gravitasi *accelerometer* akan diolah untuk mencari pembacaan respon sensor saat kalibrasi di Laboratorium Vibrasi menggunakan sistem pegas yang diberi simpangan tertentu. Data hasil lalu diplot dan jarak dari titik lembah ke titik puncak simpangan pertama merupakan jarak.



Gambar 3. 9 Definisi tinggi dan panjang gelombang laut
(Kurniawan, 2012)

Hasil dari kalibrasi ini lalu diolah menjadi keluaran *displacement* dengan mengintegrasikan dua kali karena hasil keluaran sensor masih berupa gravitasi.

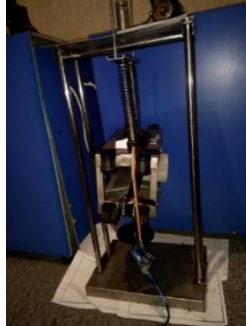
$$\int a \, dt = v \quad (3.2)$$

$$\int v \, dt = x \quad (3.3)$$

3.7 Kalibrasi Data Pembacaan Gelombang Laut

Setelah sistem yang meliputi perangkat keras dan perangkat lunak diselesaikan, dilakukan kalibrasi data pembacaan gelombang laut. Kalibrasi data dilakukan di laboratorium Vibrasi Teknik

Fisika ITS dengan alat sistem pegas yang diberi simpangan sebagai variabel bebas.



Gambar 3. 10 Sistem Pegas pada Lab Vibrasi TF ITS

3.8 Validasi Data

Validasi data dilakukan untuk mengetahui apakah data yang terbaca pada server benar merupakan tinggi gelombang pada lapangan uji. Validasi dilakukan dengan membandingkan data yang terbaca pada server dengan ombak buatan menggunakan *wave simulator* pada laboratorium hidrodinamika jurusan perkapalan ITS.



Gambar 3. 11 Validasi Data di Lab Hidrodinamika

3.9 Analisa Data

Data dari hasil pengujian sistem dianalisa apakah sistem pengukur tinggi gelombang dapat memenuhi karakteristik sensor berupa akurasi, presisi, toleransi, *range* dan sensitifitas yang diinginkan.

3.10 Perhitungan Keandalan

Keandalan adalah probabilitas suatu komponen atau sistem akan bekerja sesuai dengan fungsinya ketika dioperasikan selama periode waktu tertentu (Ebeling, 1997). Keandalan suatu komponen atau alat sebagai peluang bahwa komponen tersebut akan berfungsi sebagaimana mestinya selama paling sedikit sampai jangka waktu tertentu dalam keadaan percobaan tertentu (Ramza & Dewanto, 2013).

Keandalan pada sensor dapat didefinisikan dengan *Failure-In-Time* (FIT), yang dilambangkan sebagai λ dan dinyatakan dalam kegagalan per 1 milyar jam (Venkatesan, et al., 2016). FIT dapat dicari menggunakan persamaan 3.4.

$$\lambda = \frac{\text{Number of failures}}{\text{Total Operating Time in Hours}} \quad (3.4)$$

Nilai λ , dapat dicari nilai MTBF (Mean Time Beetwen Failures) menggunakan persamaan 3.5.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (3.5)$$

Keandalan sensor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.6

$$R(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (3.6)$$

3.11 Pembahasan Hasil

Hasil analisa data dibahas apakah sudah dapat menaikkan akurasi sensor dari penelitian sebelumnya.

3.12 Kesimpulan

Setelah semua hasil yang diinginkan tercapai kemudian semua hasil mulai dari studi literatur sampai dengan analisa data disimpulkan.

Hal ini sengaja dikosongkan

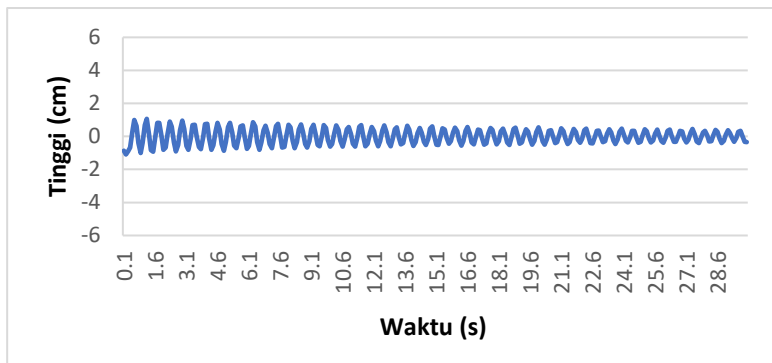
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Kalibrasi Alat Ukur

Kalibrasi alat ukur tinggi gelombang dilakukan dengan cara membandingkan dengan alat ukur yang lebih standar di Lab. Vibrasi Teknik Fisika ITS. Kalibrasi dilakukan dengan memberikan simpangan pada pegas sebagai nilai variabel yang benar, dan hasil dari alat ukur sebagai data yang dikalibrasi. Selisih antara simpangan pada pegas dengan simpangan pada alat ukur merupakan *error* dari alat ukur. Simpangan standar yang diuji coba adalah 5 nilai, yaitu 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm dan 10 cm. Uji dilakukan sebanyak 6 kali.

4.1.1 Uji saat Simpangan Standar 2 cm

Uji 1 dilakukan dengan memberi simpangan standar sebesar 2 cm dengan enam kali uji. Respon pada alat ukur menunjukkan simpangan yang beresilasi dengan pola sinusoidal menurun secara matematis dapat ditentukan nilai koefisien penurunan *decay*nya.



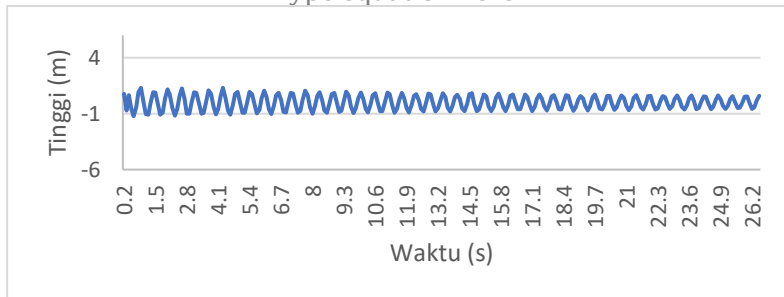
Gambar 4. 1 Plotting data simpangan 2 cm pada uji ke 1

Gambar 4.1 menunjukkan respon sensor saat mendapat simpangan 2 cm pada uji ke 1. Nilai simpangan pada alat ukur adalah amplitudo pertama dari hasil pembacaan yang didapat karena

simpangan selanjutnya sudah terpengaruh oleh peredaman pegas, pada Gambar 4.1 nilai simpangannya adalah 2.05 cm. Grafik hasil respon sensor saat kalibrasi memiliki pola penurunan logaritmik, sehingga dapat dicari nilai *decay* pada sistem tersebut menggunakan persamaan 2.24.

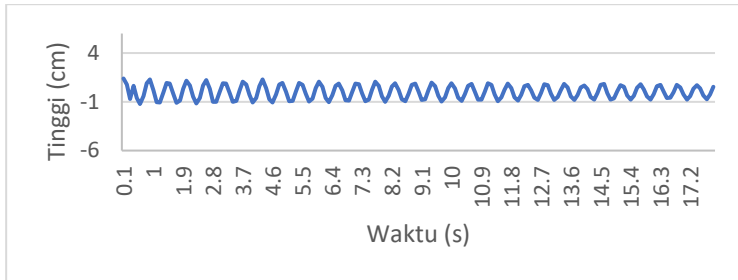
Sistem pegas yang digunakan untuk kalibrasi alat di Laboratorium Vibrasi Departemen Teknik Fisika ITS besar massanya adalah 2.7 kg dan kostanta restorasi pegas adalah 3.78 N/m. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.166$.

Type equation here.



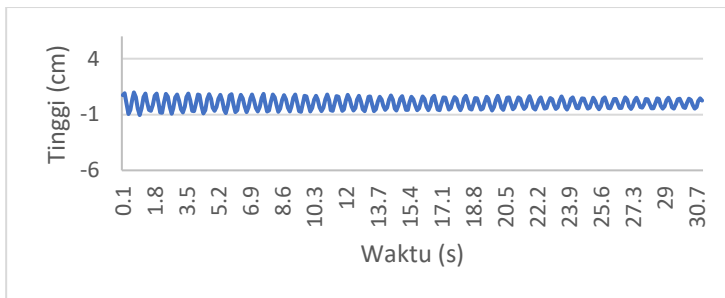
Gambar 4. 2 Plotting data simpangan 2 cm pada uji kedua

Gambar 4.2 menunjukkan respon sensor pada saat mendapat simpangan 2 cm pada uji kedua. Nilai simpangan pada alat ukur adalah amplitudo pertama dari hasil pembacaan yang didapat karena simpangan selanjutnya sudah terpengaruh oleh peredaman pegas, pada Gambar 4.2 hasil pembacaannya adalah 2.6 cm. Hasil respon tersebut dapat dilihat memiliki pola penurunan logaritmik. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.345$.



Gambar 4. 3 Plotting data simpangan 2 cm pada uji ketiga

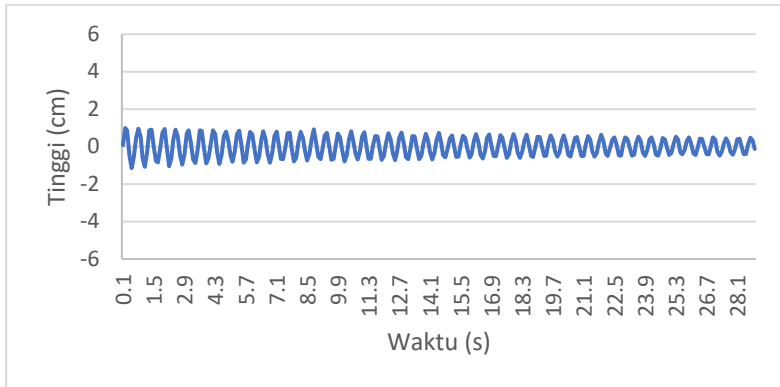
Respon sensor yang ditunjukkan oleh Gambar 4.3 terlihat bahwa ada kesalahan pada amplitudo pertama dan kedua, dimana hal ini disebabkan oleh kesalahan kalibrasi yang terbaca oleh sensor sehingga amplitudo yang digunakan adalah amplitudo ketiga. Amplitudo ketiga dari grafik tersebut menunjukkan hasil pembacaan yaitu 2.5 cm. Hasil respon tersebut dapat dilihat memiliki pola penurunan logaritmik. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.226$



Gambar 4. 4 Plotting data simpangan 2 cm pada uji keempat

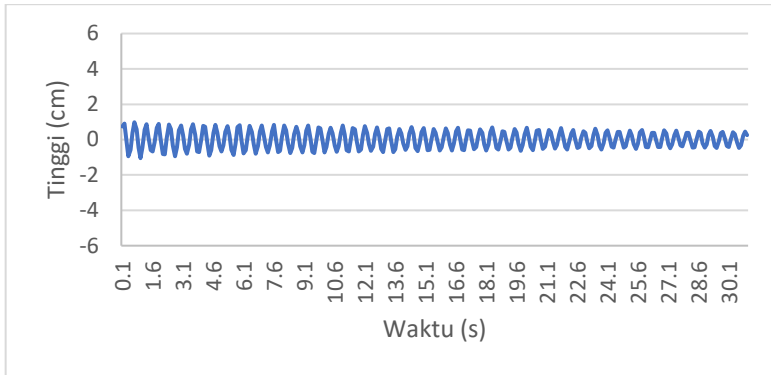
Gambar 4.4 menunjukkan respon sensor saat mendapat simpangan 2 cm pada uji keempat. Nilai simpangan pada alat ukur adalah amplitudo pertama dari hasil pembacaan yang didapat karena simpangan selanjutnya sudah terpengaruh oleh peredaman pegas, pada Gambar 4.4 besarnya simpangan yang didapat 2 cm. Sistem

pegas di Laboratorium Vibrasi Departemen Teknik Fisika ITS dengan besar massanya adalah 2.7 kg dan kostanta restorasi pegas adalah 3.78 N/m. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.075$.



Gambar 4. 5 Plotting data simpangan 2 cm pada uji kelima

Percobaan simpangan 2 cm hasil kelima mendapatkan hasil respon sensor seperti yang terlihat pada Gambar 4.5. Hasil respon sensor pada amplitudo pertama terpotong dikarenakan terlambat dalam memulai pembacaan sensor sehingga sebagian kecil data sensor yang hilang, oleh karena itu pembacaan besar simpangan digunakan amplitudo kedua. Amplitudo kedua dari grafik tersebut menunjukkan nilai 2.2 cm. Hasil respon tersebut memiliki pola penurunan logaritmik. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.085$.



Gambar 4. 6 Plotting data simpangan 2 cm pada uji keenam

Gambar 4.6 menunjukkan respon sensor mendapat simpangan 2 cm pada uji keenam. Nilai simpangan pada alat ukur adalah amplitudo pertama dari hasil pembacaan yang didapat karena simpangan selanjutnya sudah terpengaruh oleh peredaman pegas, pada Gambar 4.6 hasil pembacaannya adalah 1.97 cm. Hasil respon tersebut dapat dilihat memiliki pola penurunan logaritmik. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.085$.

Nilai *decay* pada simpangan 2 cm uji ke 1 sampai keenam didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil *Decay* Simpangan 2 cm

Hari	<i>Decay</i>
1	0.166
2	0.345
3	0.226
4	0.075
5	0.085
6	0.085
Rata-Rata	0.163

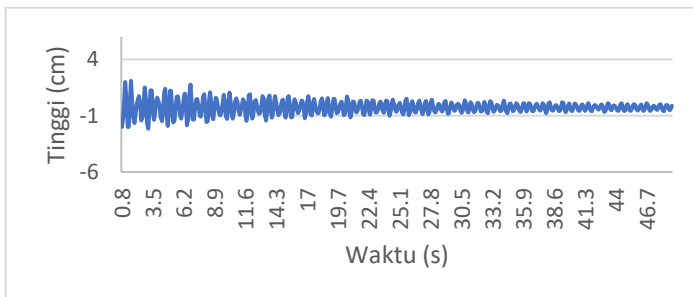
Pembacaan simpangan dengan menghitung jarak dari puncak gelombang dan lembah gelombang dan didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Pembacaan Simpangan 2 cm

Hari	Simpangan Standar (cm)	Pembacaan Simpangan Sensor (cm)	Error (cm)
1	2	2.05	0.05
2	2	2.6	0.6
3	2	2.5	0.5
4	2	2	0
5	2	2.2	0.2
6	2	1.97	0.03
Rata-Rata		2.053	0.053

4.1.2 Percobaan dengan simpangan 4 cm

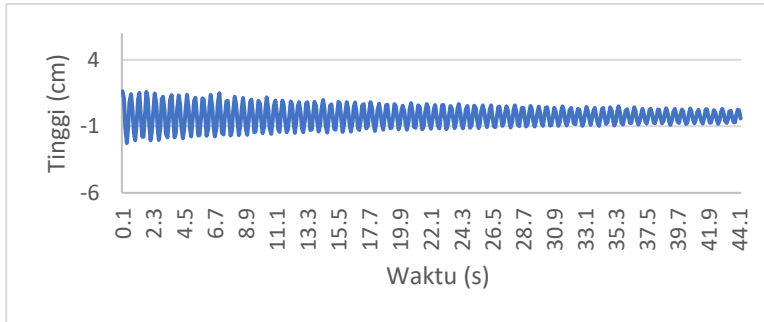
Percobaan dengan variasi simpangan 4 cm dilakukan sebanyak enam kali uji dan didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 4. 7 Plotting data simpangan 4 cm pada uji ke 1

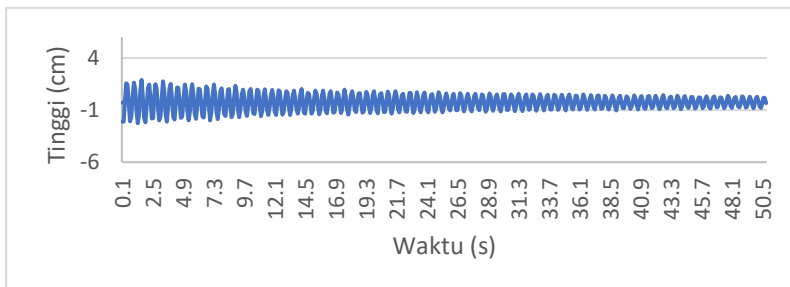
Gambar 4.7 menunjukkan respon sensor saat mendapat simpangan 4 cm pada uji ke 1 dimana hasil simpangan yang terbaca adalah 3.99 cm. Hasil respon sensor yang didapat terlihat tidak stabil, hal ini dikarenakan saat percobaan terjadi tumbukan antara sistem pegas dengan tiang sistem pegas. Sistem pegas di Laboratorium Vibrasi

Departemen Teknik Fisika ITS besar massanya adalah 2.7 kg dan kostanta restorasi pegas adalah 3.78 N/m. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.046$.



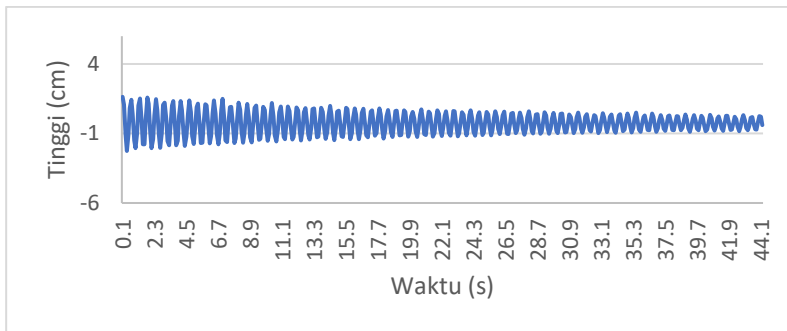
Gambar 4. 8 Plotting data simpangan 4 cm pada uji kedua

Gambar 4.8 menunjukkan respon sensor saat mendapat simpangan 4 cm pada uji kedua. Nilai simpangan pada alat ukur adalah amplitudo pertama dari hasil pembacaan yang didapat karena simpangan selanjutnya sudah terpengaruh oleh peredaman pegas, pada Gambar 4.8 besarnya simpangan adalah 3.88 cm. Sistem pegas di Laboratorium Vibrasi Departemen Teknik Fisika ITS besar massanya adalah 2.7 kg dan kostanta restorasi pegas adalah 3.78 N/m. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.879$.



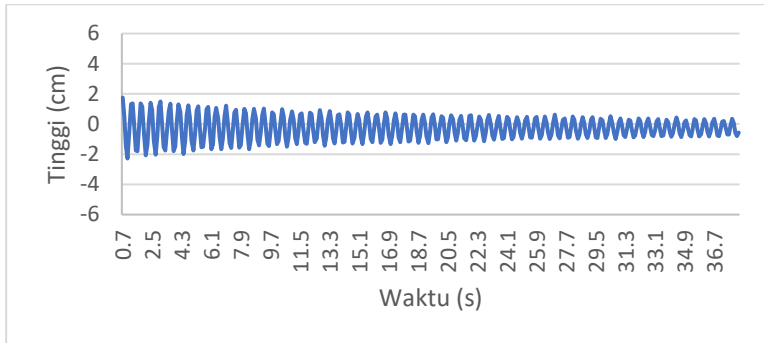
Gambar 4. 9 Plotting data simpangan 4 cm pada uji ketiga

Hasil respon sensor saat mendapat simpangan 4 cm pada uji ketiga dapat dilihat pada Gambar 4.9. Nilai simpangan pada alat ukur adalah amplitudo pertama dari hasil pembacaan yang didapat karena simpangan selanjutnya sudah terpengaruh oleh peredaman pegas, pada Gambar 4.9 besarnya simpangan adalah 3.7 cm. Hasil respon tersebut dapat dilihat memiliki pola penurunan logaritmik. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.0145$.



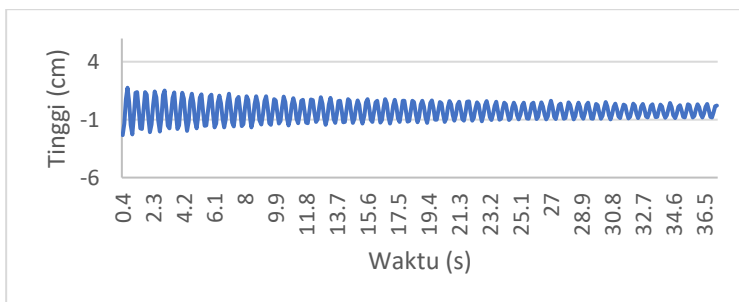
Gambar 4. 10 Plotting data simpangan 4 cm pada uji keempat

Percobaan simpangan 4 cm hasil keempat mendapatkan respon sensor seperti yang terlihat pada Gambar 4.10. Hasil respon sensor pada amplitudo pertama merupakan hasil dari pembacaan besar simpangan yang digunakan. Amplitudo pertama dari grafik tersebut menunjukkan nilai 3.9 cm. Hasil respon tersebut dapat dilihat memiliki pola penurunan logaritmik. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.087$.



Gambar 4. 11 Plotting data simpangan 4 cm pada uji kelima

Gambar 4.11 menunjukkan respon sensor pada saat mendapat simpangan 4 cm pada uji kelima. Nilai simpangan pada alat ukur adalah amplitudo pertama dari hasil pembacaan yang didapat karena simpangan selanjutnya sudah terpengaruh oleh peredaman pegas, pada Gambar 4.11 besarnya simpangan adalah 4.03 cm. Sistem pegas di Laboratorium Vibrasi Departemen Teknik Fisika ITS besar massanya adalah 2.7 kg dan kostanta restorasi pegas adalah 3.78 N/m. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.091$.



Gambar 4. 12 Plotting data simpangan 4 cm pada uji kelima

Hasil respon sensor saat mendapat simpangan 4 cm pada uji kelima dapat dilihat pada Gambar 4.12. Nilai simpangan pada alat ukur adalah amplitudo pertama dari hasil pembacaan yang didapat

karena simpangan selanjutnya sudah terpengaruh oleh peredaman pegas, pada Gambar 4.12 besarnya simpangan adalah 4.1 cm. Hasil respon tersebut dapat dilihat memiliki pola penurunan logaritmik. Besar *decay* diperoleh dengan pehitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.09$.

Nilai *decay* pada simpangan 4 cm pada uji ke 1 sampai keenam hasil yang didapatkan adalah seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil *Decay* Simpangan 4 cm

Hari	<i>Decay</i>
1	0.046
2	0.879
3	0.0145
4	0.87
5	0.091
6	0.09
Rata-Rata	0.331

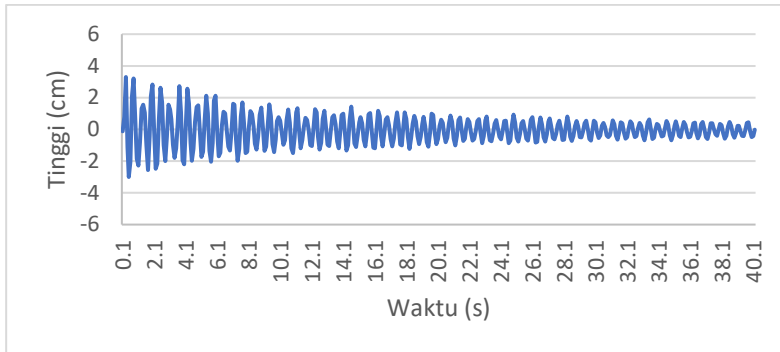
Berdasarkan Gambar 4.7 sampai dengan 4.12 besar simpangan dapat diketahui dengan menghitung jarak dari puncak gelombang dan lembah gelombang dan didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil Pembacaan Simpangan 4 cm

Hari	Simpangan Standar (cm)	Pembacaan Simpangan Sensor (cm)	Error (cm)
1	4	3.99	0.01
2	4	3.88	0.22
3	4	3.7	0.3
4	4	3.9	0.1
5	4	4.03	0.03
6	4	4.1	0.1
Rata-Rata		3.93	0.07

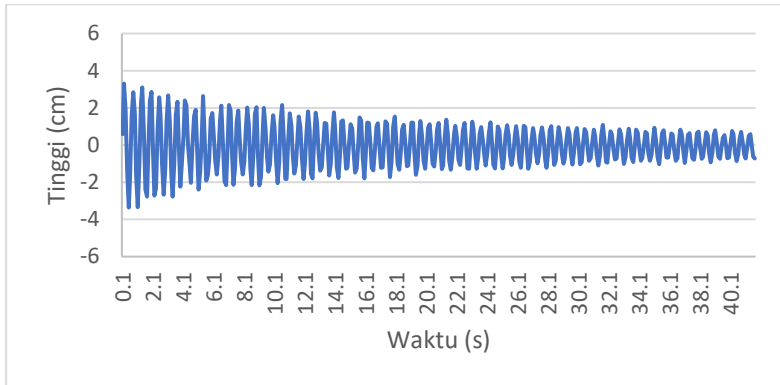
4.1.3 Percobaan dengan simpangan 6 cm

Percobaan dengan variasi simpangan 6 cm dilakukan sebanyak enam kali uji dan didapatkan hasil sebagai berikut:



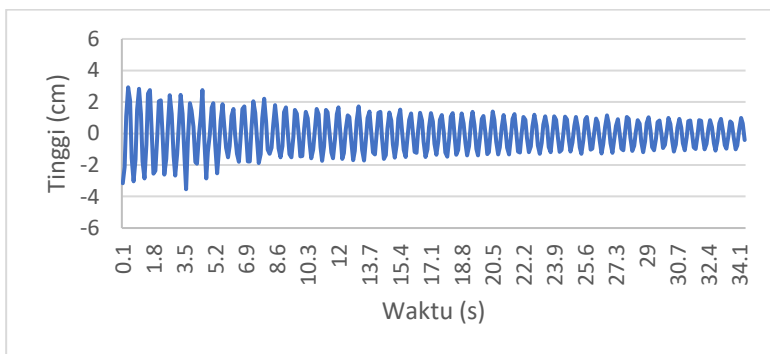
Gambar 4. 13 Plotting data simpangan 6 cm pada uji ke 1

Percobaan simpangan 4 cm pada uji ke 1 mendapatkan hasil respon sensor seperti yang terlihat pada Gambar 4.13. Hasil respon sensor pada amplitudo pertama terpotong dikarenakan terlambat dalam memulai pembacaan sensor sehingga sebagian kecil data sensor yang hilang, oleh karena itu pembacaan besar simpangan digunakan amplitudo kedua. Amplitudo kedua dari grafik tersebut menunjukkan nilai 6.19 cm. Hasil respon tersebut dapat dilihat memiliki pola penurunan logaritmik. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.028$.



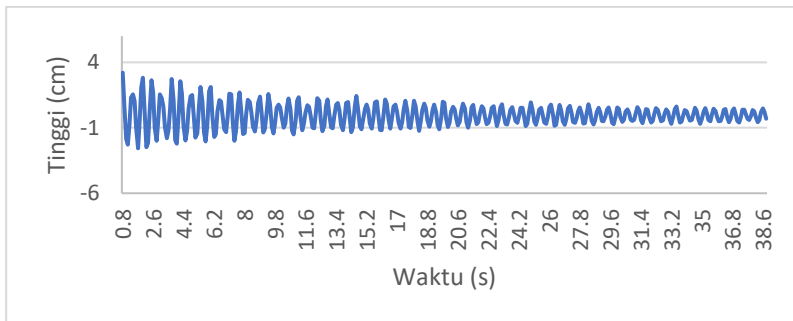
Gambar 4. 14 Plotting data simpangan 6 cm pada uji kedua

Hasil respon sensor saat mendapat simpangan 6 cm pada uji kedua yang dapat dilihat pada Gambar 4.14, dimana hasil respon sensor pada amplitudo pertama terpotong dikarenakan terlambat dalam memulai pembacaan sensor sehingga sebagian kecil data sensor yang hilang seperti pada ke 1, oleh karena itu pembacaan besar simpangan digunakan amplitudo kedua. Respon sistem pegas tersebut memiliki pola penurunan logaritmik, sistem pegas di Laboratorium Vibrasi Departemen Teknik Fisika ITS besar massanya adalah 2.7 kg dan konstanta restorasi pegas adalah 3.78 N/m, Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.031$.



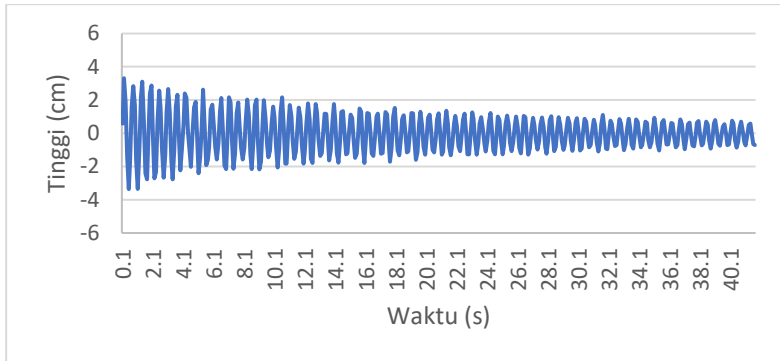
Gambar 4. 15 Plotting data simpangan 6 cm pada uji ketiga

Percobaan simpangan 6 cm pada uji ketiga mendapatkan hasil respon sensor seperti yang terlihat pada Gambar 4.15. Hasil respon sensor pada amplitudo pertama merupakan hasil dari pembacaan besar simpangan yang digunakan. Amplitudo pertama dari grafik tersebut menunjukkan nilai 6.15 cm. Hasil respon tersebut dapat dilihat memiliki pola penurunan logaritmik. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.129$.



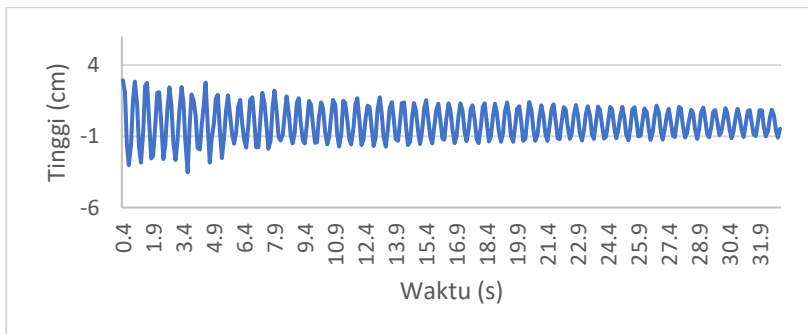
Gambar 4. 16 Plotting data simpangan 6 cm pada uji keempat

Gambar 4.16 menunjukkan respon sensor saat mendapat simpangan 6 cm pada uji keempat dimana hasil simpangan yang terbaca adalah 5.5 cm. Hasil respon sensor yang didapat terlihat tidak stabil, hal ini dikarenakan saat percobaan terjadi tumbukan antara sistem pegas dengan tiang sistem pegas. Sistem pegas di Laboratorium Vibrasi Departemen Teknik Fisika ITS besar massanya adalah 2.7 kg dan kostanta restorasi pegas adalah 3.78 N/m. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.029$.



Gambar 4. 17 Plotting data simpangan 6 cm pada uji kelima

Gambar 4.17 menunjukkan respon sensor saat mendapat simpangan 6 cm pada uji kelima. Nilai simpangan pada alat ukur adalah amplitudo pertama dari hasil pembacaan yang didapat karena simpangan selanjutnya sudah terpengaruh oleh peredaman pegas, pada Gambar 4.11 besarnya simpangan adalah 6 cm. Sistem pegas di Laboratorium Vibrasi Departemen Teknik Fisika ITS besar massanya adalah 2.7 kg dan kostanta restorasi pegas adalah 3.78 N/m. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.036$.



Gambar 4. 18 Plotting data simpangan 6 cm pada uji keenam

Hasil respon sensor saat mendapat simpangan 6 cm pada uji keenam dapat dilihat pada Gambar 4.18. Nilai simpangan pada alat

ukur adalah amplitudo pertama dari hasil pembacaan yang didapat karena simpangan selanjutnya sudah terpengaruh oleh peredaman pegas, pada Gambar 4.18 besarnya simpangan adalah 5.95 cm. Hasil respon tersebut dapat dilihat memiliki pola penurunan logaritmik. Besar *decay* diperoleh dengan pehitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.129$.

Nilai *decay* pada simpangan 6 cm pada uji ke 1 sampai keenam mendapatkan hasil yang dapat dilihat pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil *Decay* Simpangan 6 cm

Hari	<i>Decay</i>
1	0.028
2	0.031
3	0.129
4	0.129
5	0.036
6	0.129
Rata-Rata	0.331

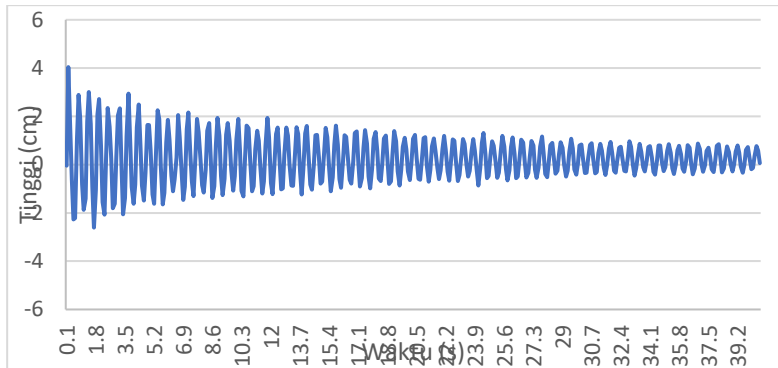
Berdasarkan Gambar 4.13 sampai dengan 4.18 juga dapat diketahui pembacaan simpangan dengan menghitung jarak dari puncak gelombang dan lembah gelombang dan didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Hasil Pembacaan Simpangan 6 cm

Hari	Simpangan Standar (cm)	Pembacaan Simpangan Sensor (cm)	Error (cm)
1	6	6.19	0.19
2	6	6.08	0.08
3	6	6.15	0.15
4	6	5.5	0.5
5	6	6	0
6	6	5.95	0.05
Rata-Rata		5.98	0.02

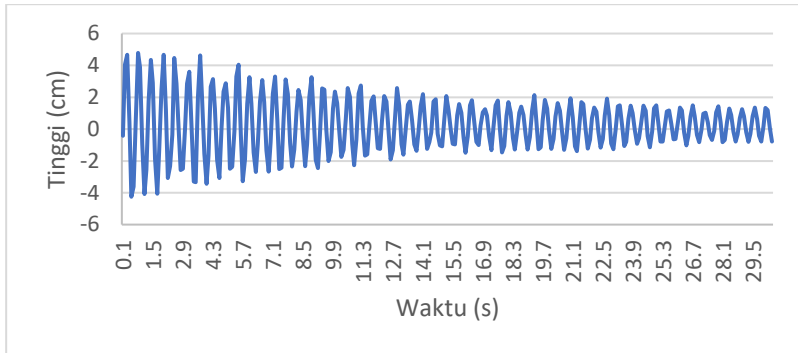
4.1.4 Percobaan dengan simpangan 8 cm

Percobaan dengan variasi simpangan 8 cm dilakukan sebanyak enam kali uji dan didapatkan hasil sebagai berikut:



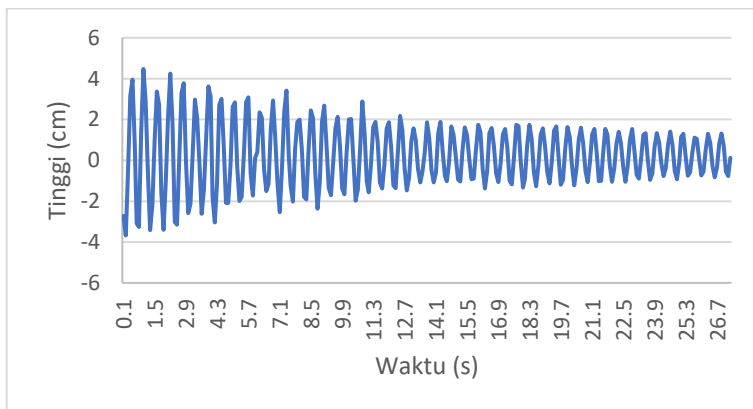
Gambar 4. 19 Plotting data simpangan 8 cm pada uji ke 1

Hasil respon sensor saat mendapat simpangan 8 pada uji cm pada uji ke 1 yang dapat dilihat pada Gambar 4.19, dimana hasil respon sensor pada amplitudo pertama terpotong dikarenakan terlambat dalam memulai pembacaan sensor sehingga sebagian kecil data sensor yang hilang seperti pada ke 1, oleh karena itu pembacaan besar simpangan digunakan amplitudo kedua. Respon sistem pegas tersebut memiliki pola penurunan logaritmik, sistem pegas di Laboratorium Vibrasi Departemen Teknik Fisika ITS besar massanya adalah 2.7 kg dan kostanta restorasi pegas adalah 3.78 N/m. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.035$.



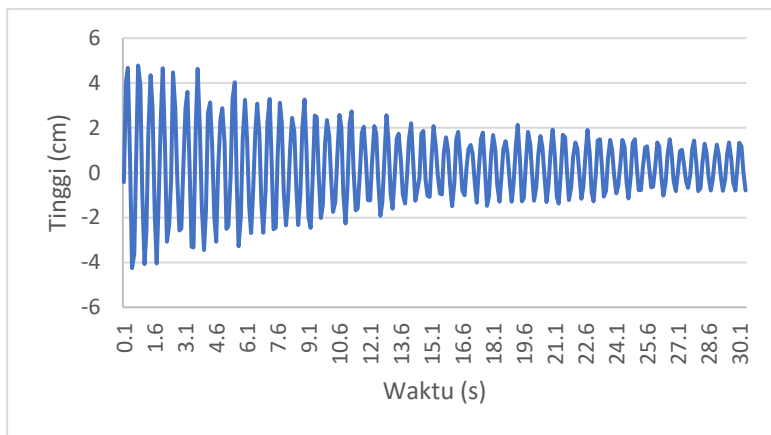
Gambar 4. 20 Plotting data simpangan 8 cm pada uji kedua

Percobaan simpangan 8 cm pada uji kedua mendapatkan hasil respon sensor seperti yang terlihat pada Gambar 4.20. Hasil respon sensor pada amplitudo pertama merupakan hasil dari pembacaan besar simpangan yang digunakan. Amplitudo pertama dari grafik tersebut menunjukkan nilai 8.3 cm. Hasil respon tersebut dapat dilihat memiliki pola penurunan logaritmik. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.191$.



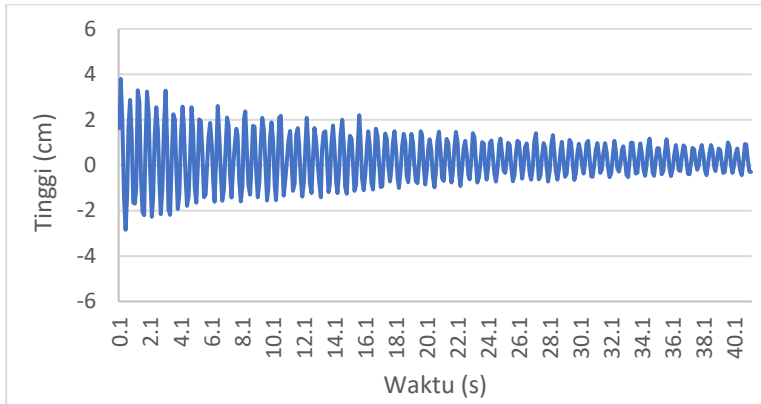
Gambar 4. 21 Plotting data simpangan 8 cm pada uji ketiga

Hasil respon sensor saat mendapat simpangan 8 cm pada uji ketiga dapat dilihat pada Gambar 4.21. Nilai simpangan pada alat ukur adalah amplitudo pertama dari hasil pembacaan yang didapat karena simpangan selanjutnya sudah terpengaruh oleh peredaman pegas, pada Gambar 4.21 besarnya simpangan adalah 7.89 cm. Hasil respon tersebut dapat dilihat memiliki pola penurunan logaritmik. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.128$.



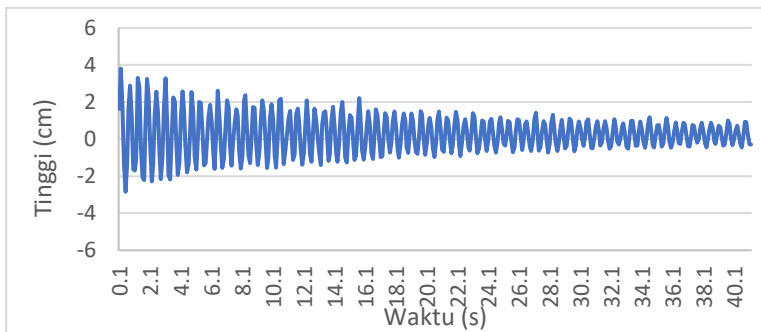
Gambar 4. 22 Plotting data simpangan 8 cm pada uji keempat

Gambar 4.22 menunjukkan respon sensor pada saat mendapat simpangan 8 cm pada uji keempat. Nilai simpangan pada alat ukur adalah amplitudo pertama dari hasil pembacaan yang didapat karena simpangan selanjutnya sudah terpengaruh oleh peredaman pegas dan pada Gambar 4.22 besarnya simpangan adalah 7.7 cm. Sistem pegas di Laboratorium Vibrasi Departemen Teknik Fisika ITS besar massanya adalah 2.7 kg dan kostanta restorasi pegas adalah 3.78 N/m. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.035$.



Gambar 4. 23 Plotting data simpangan 8 cm pada uji kelima

Percobaan simpangan 8 cm pada uji kelima mendapatkan hasil respon sensor seperti yang terlihat pada Gambar 4.23. Hasil pembacaan simpangan merupakan amplitudo pertama dari grafik tersebut menunjukkan nilai 8 cm. Hasil respon tersebut dapat dilihat memiliki pola penurunan logaritmik. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.052$.



Gambar 4. 24 Plotting data simpangan 8 cm pada uji keenam

Hasil respon sensor saat mendapat simpangan 8 cm pada uji keenam dapat dilihat pada Gambar 4.24. Nilai simpangan pada alat

ukur adalah amplitudo pertama dari hasil pembacaan yang didapat karena simpangan selanjutnya sudah terpengaruh oleh peredaman pegas, pada Gambar 4.24 besarnya simpangan adalah 7.91 cm. Hasil respon tersebut dapat dilihat memiliki pola penurunan logaritmik. Besar *decay* diperoleh dengan pehitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.049$.

Nilai *decay* pada simpangan 8 cm pada uji ke 1 sampai keenam didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil *Decay* Simpangan 8 cm

Hari	<i>Decay</i>
1	0.035
2	0.191
3	0.128
4	0.035
5	0.052
6	0.049
Rata-Rata	0.08

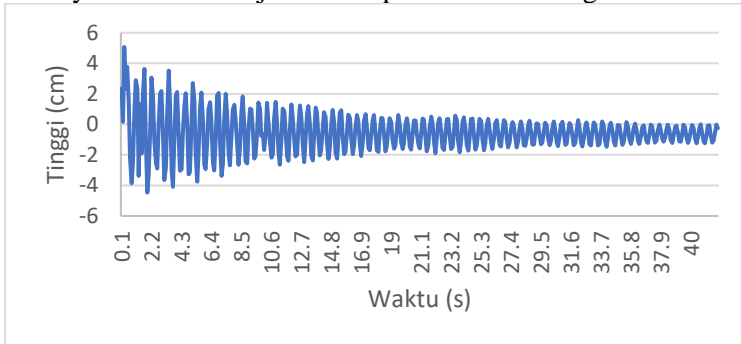
Berdasarkan Gambar 4.19 sampai dengan 4.24 juga dapat diketahui pembacaan simpangan dengan menghitung jarak dari puncak gelombang dan lembah gelombang dan didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Hasil Pembacaan Simpangan 8 cm

Hari	Simpangan Standar (cm)	Pembacaan Simpangan Sensor (cm)	Error (cm)
1	8	7.7	0.3
2	8	8.3	0.3
3	8	7.89	0.21
4	8	7.7	0.3
5	8	8	0
6	8	7.91	0.09
Rata-Rata		7.915	0.915

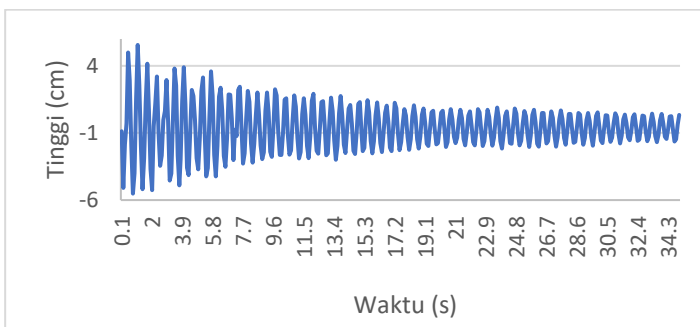
4.1.5 Percobaan dengan simpangan 10 cm

Percobaan dengan variasi simpangan 8 cm dilakukan sebanyak enam kali uji dan didapatkan hasil sebagai berikut:



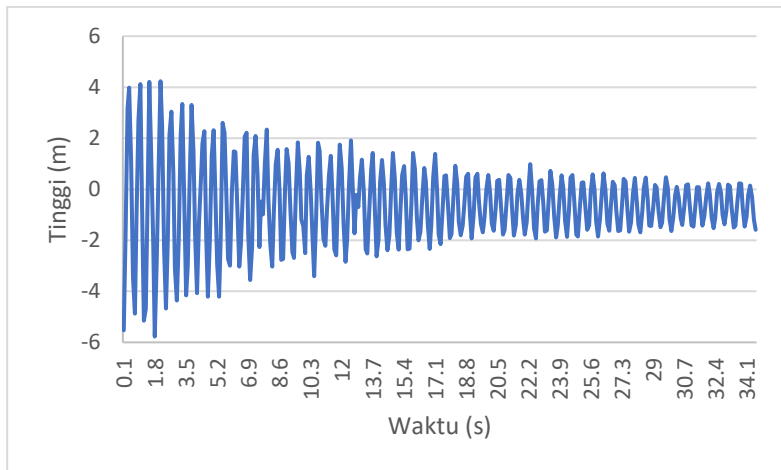
Gambar 4. 25 Plotting data simpangan 10 cm pada uji ke 1

Percobaan simpangan 10 cm pada uji ke 1 mendapatkan hasil respon sensor seperti yang terlihat pada Gambar 4.25. Hasil respon sensor pada amplitudo pertama merupakan hasil dari pembacaan besar simpangan yang digunakan. Amplitudo pertama dari grafik tersebut menunjukkan nilai 9 cm. Hasil respon tersebut dapat dilihat memiliki pola penurunan logaritmik. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.337$.



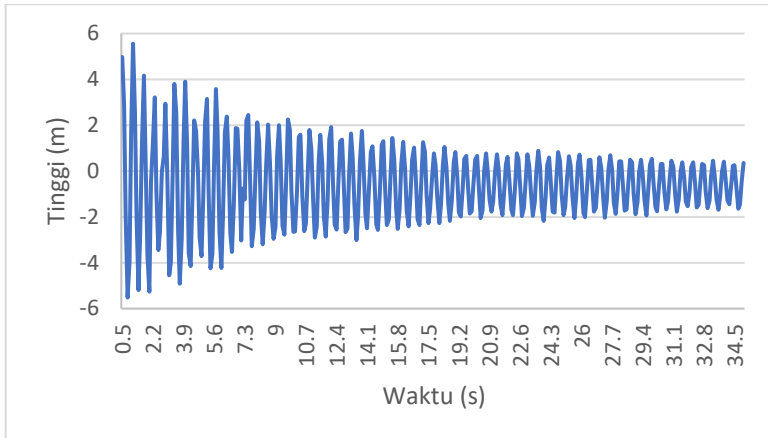
Gambar 4. 26 Plotting data simpangan 10 cm pada uji kedua

Hasil respon sensor saat mendapat simpangan 10 cm pada uji kedua dapat dilihat pada Gambar 4.26. Nilai simpangan pada alat ukur adalah amplitudo pertama dari hasil pembacaan yang didapat karena simpangan selanjutnya sudah terpengaruh oleh peredaman pegas, pada Gambar 4.26 besarnya simpangan adalah 10.07 cm. Hasil respon tersebut dapat dilihat memiliki pola penurunan logaritmik. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.42$.



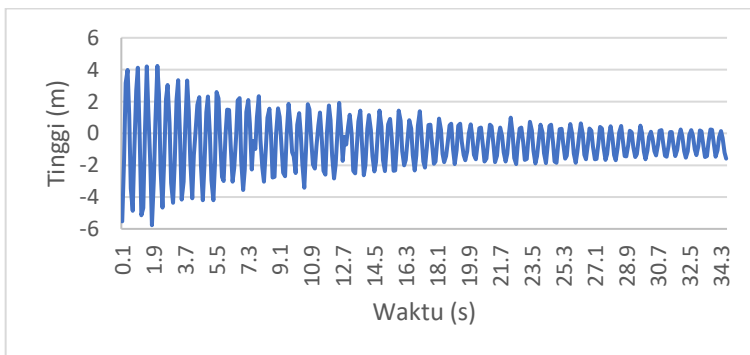
Gambar 4. 27 Plotting data simpangan 10 cm pada uji ketiga

Gambar 4.27 menunjukkan respon sensor saat mendapat simpangan 10 cm pada uji ketiga. Nilai simpangan pada alat ukur adalah amplitudo pertama dari hasil pembacaan yang didapat karena simpangan selanjutnya sudah terpengaruh oleh peredaman pegas, pada Gambar 4.27 besarnya simpangan adalah 9.5 cm. Sistem pegas di Laboratorium Vibrasi Departemen Teknik Fisika ITS telah diketahui massanya adalah 2.7 kg dan konstanta restorasi pegas adalah 3.78 N/m. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.197$.



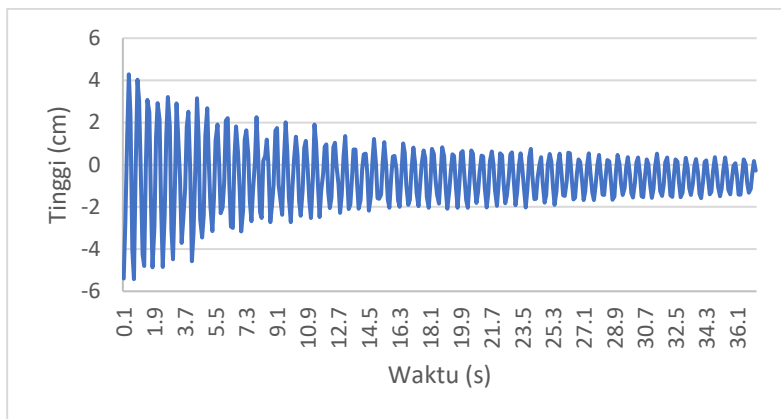
Gambar 4. 28 Plotting data simpangan 10 cm pada uji keempat

Percobaan simpangan 10 cm pada uji ke 1 mendapatkan hasil respon sensor seperti yang terlihat pada Gambar 4.28. Hasil respon sensor pada amplitudo pertama merupakan hasil dari pembacaan besar simpangan yang digunakan. Amplitudo pertama dari grafik tersebut menunjukkan nilai 10.49 cm. Hasil respon tersebut dapat dilihat memiliki pola penurunan logaritmik. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.023$.



Gambar 4. 29 Plotting data simpangan 10 cm pada uji kelima

Hasil respon sensor saat mendapat simpangan 10 cm pada uji kelima dapat dilihat pada Gambar 4.29. Nilai simpangan pada alat ukur adalah amplitudo pertama dari hasil pembacaan yang didapat karena simpangan selanjutnya sudah terpengaruh oleh peredaman pegas, respon pada Gambar 4.29 besarnya simpangan adalah 9.6 cm. Hasil respon tersebut dapat dilihat memiliki pola penurunan logaritmik. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.197$.



Gambar 4. 30 Plotting data simpangan 10 cm pada uji keenam

Gambar 4.30 menunjukkan respon sensor pada saat mendapat simpangan 10 cm pada uji keenam. Nilai simpangan pada alat ukur adalah amplitudo pertama dari hasil pembacaan yang didapat karena simpangan selanjutnya sudah terpengaruh oleh peredaman pegas, respon pada Gambar 4.30 besarnya simpangan adalah 9.98 cm. Sistem pegas di Laboratorium Vibrasi Departemen Teknik Fisika ITS besar massanya adalah 2.7 kg dan kostanta restorasi pegas adalah 3.78 N/m. Besar *decay* diperoleh dengan perhitungan persamaan 2.22, 2.23 dan 2.24 dan diperoleh nilai $c = 0.061$.

Nilai *decay* pada simpangan 10 cm pada uji ke 1 sampai keenam didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil *Decay* Simpangan 10 cm

Hari	<i>Decay</i>
1	0.337
2	0.42
3	0.197
4	0.023
5	0.197
6	0.061
Rata-Rata	0.205

Berdasarkan Gambar 4.19 sampai dengan 4.24 dapat diketahui pembacaan simpangan dengan menghitung jarak dari puncak gelombang dan lembah gelombang dan didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Hasil Pembacaan Simpangan 10 cm

Hari	Simpangan Standar (cm)	Pembacaan Simpangan Sensor (cm)	Error (cm)
1	10	9	1
2	10	10.07	0.07
3	10	9.5	0.5
4	10	10.49	0.49
5	10	9.6	0.4
6	10	9.98	0.02
Rata-Rata		9.8	0.915

4.1.6 Hasil Kalibrasi di Laboratorium Vibrasi ITS

Gambar 4.1 sampai dengan Gambar 4.30 menunjukkan respon sensor *accelerometer* saat kalibrasi di Laboratorium Vibrasi Teknik Fisika ITS dengan menggunakan sistem pegas yang diberikan simpangan 2,4,6,8 dan 10 cm. Hasil Analisa dari gambar

tersebut dapat diketahui tinggi gelombang yang merupakan jarak lebah dan puncak gelombang. Data hasil kalibrasi digunakan untuk menghitung karakteristik statik berupa *fraksi error*, *span*, sensitivitas, *range* dan akurasi. Nilai *fraksi error* dapat dicari menggunakan persamaan 4.1 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \textit{fraksi error} \\ & = \left| \frac{\textit{Simpangan standar} - \textit{Simpangan alat}}{\textit{Simpangan Standar}} \right| \quad (4.1) \\ & \times 100\% \end{aligned}$$

Hasil percobaan dari ke 1 sampai dengan keenam dengan simpangan 2, 4, 6, 8 dan 10 cm dapat dilihat pada tabel 4.11 dan nilai *fraksi error*nya dihitung menggunakan persamaan 4.1 dan didapatkan hasil rata-rata *fraksi error* 1.56%.

Tabel 4. 11 Hasil Kalibrasi di Lab. Vibrasi

O pada hari ke	1	2	3	4	5	6	<i>fraksi error</i>
Standar							
2 cm	2.05	2.6	2.5	2	2.2	1.97	2.65%
4 cm	3.99	3.88	3.7	3.9	4.03	4.1	1.75%
6 cm	6.19	6.08	6.15	5.5	6	5.95	0.33%
8 cm	7.7	8.3	7.89	7.7	8	7.91	1.06%
10 cm	9	10.07	9.5	10.49	9.6	9.98	2%
	Rata-rata <i>fraksi error</i>						1.56%

Span merupakan variasi maksimum pada keluaran sensor. Besar *span* diperoleh dengan perhitungan menggunakan persamaan 2.2 dan didapatkan hasil 8.52 cm. Sensitivitas merupakan perubahan alat ukur saat diberikan variasi pembacaan. Sensitivitas diperoleh dengan perhitungan menggunakan persamaan 2.4 dan didapatkan hasil 1.049 cm. *Range* merupakan keluaran terkecil sampai dengan keluaran terbesar yang dihasilkan oleh suatu alat ukur. Berdasarkan hasil pembacaan sensor yang didapatkan *range* dari alat ukur pengukur tinggi gelombang ini adalah 1.97 cm sampai dengan

10.49 cm. Akurasi adalah nilai 100% dikurangi oleh persen nilai *fraksi error* sehingga didapatkan nilai 98.44%. Rangkuman dari karakteristik statik di atas adalah sebagai berikut:

Span : 8.52 cm
Sensitivitas : 1.049 cm
Range : 1.97 cm -10.49 cm
Fraksi error : 1.56%
 Akurasi : 98.44%

Ketidakpastian adalah nilai kelayakan dalam nilai sebaran dari suatu alat ukur. Nilai ketidakpastian dapat diperoleh dengan perhitungan menggunakan persamaan 2.5 dan didapatkan hasil yang dapat dilihat pada table 4.12.

Tabel 4. 12 Nilai Standar Deviasi dan Ketidakpastian Kalibrasi

Simpangan standar (cm)	Simpangan Pembacaan Sensor (cm)	Standar Deviasi (cm)	Ketidakpastian (cm)
2	2.05	0.076	0.031
	2.6	0.169	0.069
	2.5	0.125	0.051
	2	0.098	0.040
	2.2	0.008	0.003
	1.97	0.111	0.045
4	3.99	0.025	0.010
	3.88	0.023	0.009
	3.7	0.104	0.042
	3.9	0.014	0.006
	4.03	0.043	0.017
	4.1	0.074	0.030

Tabel 4.12 Nilai Standar Deviasi dan Ketidakpastian Kalibrasi

Simpangan standar (cm)	Simpangan Pembacaan Sensor (cm)	Standar Deviasi (cm)	Ketidakpastian (cm)
6	6.19	0.772	0.315
	6.08	0.821	0.335
	6.15	0.79	0.322
	5.5	1.080	0.441
	6	0.857	0.349
	5.95	0.879	0.359
8	7.7	0.657	0.268
	8.3	0.925	0.377
	7.89	0.742	0.303
	7.7	0.657	0.268
	8	0.791	0.3231
	7.91	0.75	0.306
10	9	0.345	0.141
	10.07	0.132	0.054
	9.5	0.122	0.049
	10.49	0.320	0.130
	9.6	0.077	0.031
	9.98	0.0924	0.0377

Instrument yang digunakan pada alat pengukur ketinggian gelombang adalah *instrument* dengan Orde 2, karena respon yang dihasilkan berupa osilasi. Respon dari sensor berdasarkan waktu disebut karakteristik dinamik. Perhitungan karakteristik dinamik pada respon sensor IMU 9 saat kalibrasi alat ukur didapatkan nilai rata-rata *decay*-nya adalah 0.221.

Setelah dilakukan kalibrasi di Lab. Vibrasi dan dilakukan pengulangan selama 6 kali, didapatkan *error* terbesar adalah 0.5

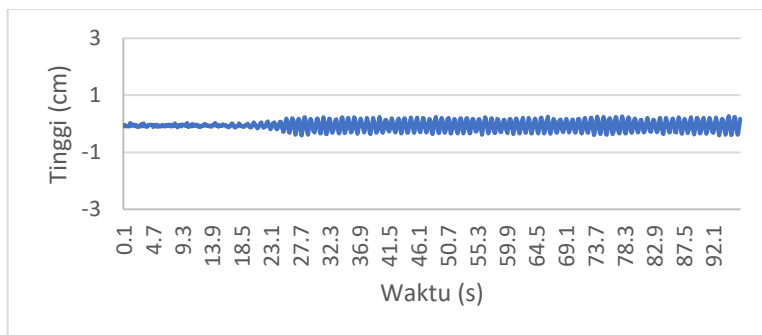
cm. Sehingga dalam perhitungan keandalan sensor dalam pembacaan tinggi gelombang laut, bila *error* pembacaan melebihi 0.5 cm akan dianggap sebagai kegagalan pembacaan sensor.

4.2 Validasi Alat Ukur di Laboratorium Hidrodinamika ITS

Validasi alat dilakukan di Laboratorium Hidrodinamika Teknik Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Validasi data bertujuan untuk mengetahui apakah *accelerometer* mampu membaca gelombang laut saat diletakkan pada wahana apung pengukur tinggi gelombang. Pengujian di Laboratorium Hidrodinamika dilakukan dengan membuat simulasi ombak menggunakan *wave simulator* yang dapat diatur tinggi gelombangnya. Tinggi gelombang *wave simulator* inilah yang akan menjadi pembanding untuk mengetahui validitas sensor.

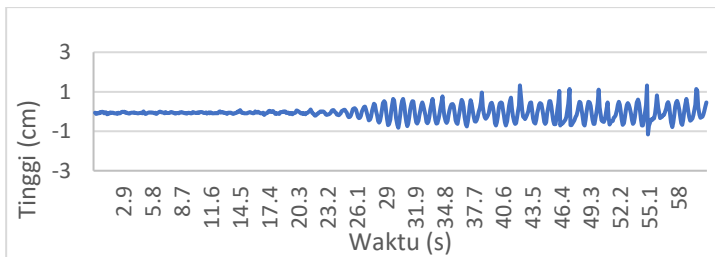
4.2.1 Hasil Validasi Alat Ukur

Percobaan ke 1 dilakukan dengan lima variasi gelombang. Variasi gelombang yang diatur pada *wave simulator* adalah 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm dan 10 cm. Pembacaan data pada percobaan ini dilakukan dari *wave simulator* dinyalakan dan dihentikan saat gelombang mulai terpengaruh gelombang balik yang bertumbukan dengan ujung kolam laboratorium hidrodinamika.



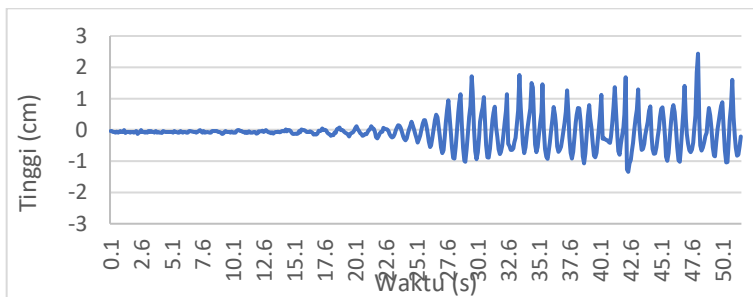
Gambar 4. 31 Plotting Data Gelombang 0.5 cm pada uji 1

Percobaan dengan tinggi gelombang 0.5 cm pada uji ke 1 mendapatkan hasil respon sensor seperti yang terlihat pada Gambar 4.31. Data rata-rata gelombang yang didapatkan dari rata-rata jarak titik lembah dan titik puncak gelombang, didapatkan hasil rata-rata respon sensor adalah 1 cm sehingga dapat dihitung *fraksi error*-nya menggunakan persamaan 4.1 dan didapatkan hasil *fraksi error* = 5.55 %.



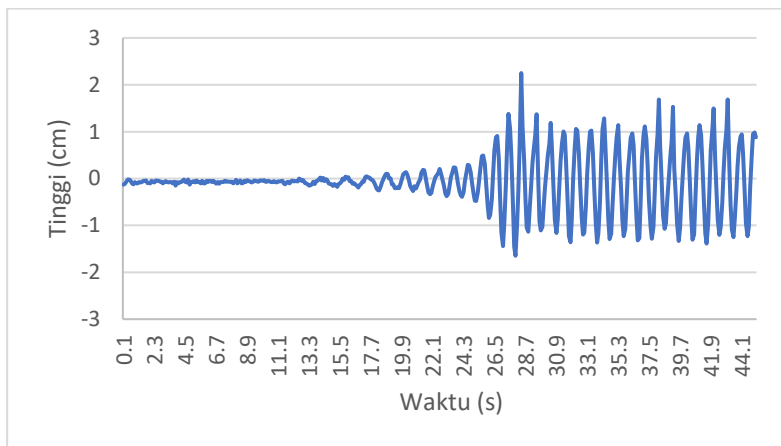
Gambar 4. 32 Plotting Data Gelombang 1.26 cm pada uji 1

Gambar 4.32 menunjukkan respon sensor *accelerometer* terhadap gelombang setinggi 1.26 cm. Hasil respon sensor pada tinggi gelombang tidak stabil dikarenakan keadaan gelombang yang rusak. Data rata-rata gelombang yang didapatkan dari rata-rata jarak titik lembah dan titik puncak gelombang, didapatkan hasil rata-rata respon sensor adalah 1 cm sehingga dapat dihitung *fraksi error*-nya menggunakan persamaan 4.1 dan didapatkan hasil *fraksi error* = 9.52 %.



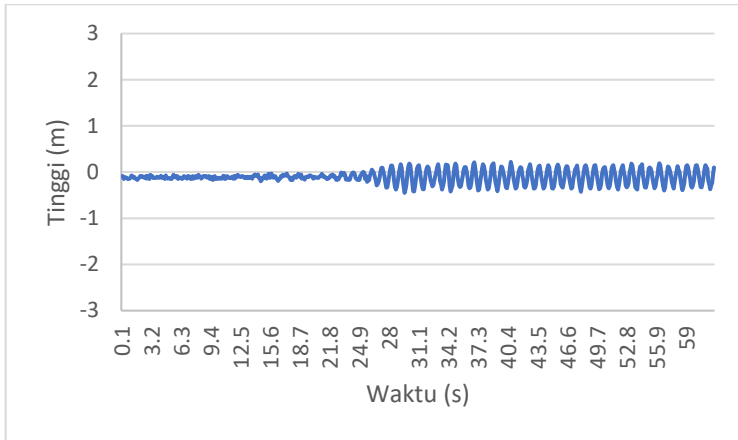
Gambar 4. 33 Plotting Data Gelombang 1.91 cm pada uji 1

Hasil respon sensor saat percobaan dengan gelombang 1.91 pada uji ke 1 dapat dilihat pada Gambar 4.29. Tinggi gelombang didapatkan dengan merata-rata data puncak gelombang dan dijumlahkan dengan data lembah gelombang. Hasil rata-rata tinggi gelombang pada grafik di atas adalah 1.75 cm sehingga dapat diitung *fraksi error*nya menggunakan persamaan 4.1 dan didapatkan hasil *fraksi error* = 13.61 %.



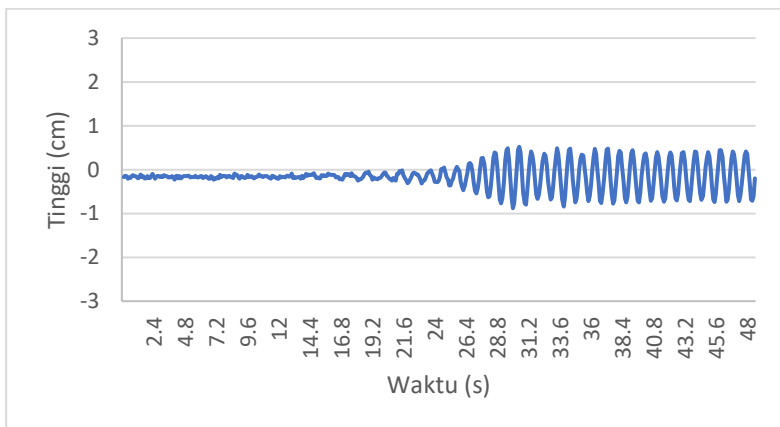
Gambar 4. 34 Plotting Data Gelombang 2.61 cm pada uji 1

Gambar 4.34 menunjukkan hasil pembacaan sensor dengan tinggi gelombang sebesar 2.61 cm. Hasil percobaan tersebut menunjukkan bahwa rata-rata tinggi gelombang 2.56 cm. Data yang disetting pada *wave* simulator dibandingkan dengan data sensor untuk mendapatkan nilai *fraksi error* pembacaan, dan dengan menggunakan persamaan 4.1 dan didapatkan hasil *fraksi error* = 1.9 %.



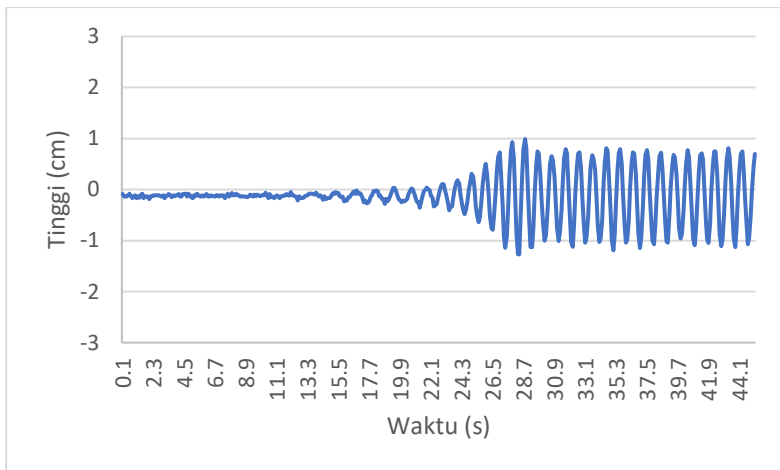
Gambar 4. 35 Plotting Data Gelombang 0.5 cm pada uji kedua

Percobaan dengan tinggi gelombang 0.5 cm pada uji kedua mendapatkan hasil respon sensor seperti yang terlihat pada Gambar 4.35. Data rata-rata gelombang yang didapatkan dari rata-rata jarak titik lembah dan titik puncak gelombang, didapatkan hasil rata-rata respon sensor adalah 0.566 cm sehingga dapat dihitung *fraksi error*nya menggunakan persamaan 4.1 dan didapatkan hasil *fraksi error* = 3.66 %.



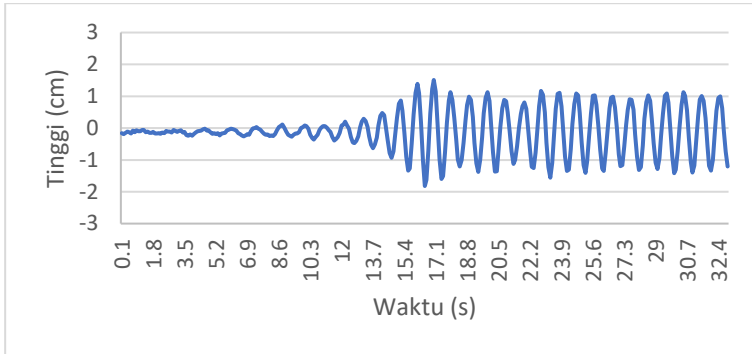
Gambar 4. 36 Plotting Data Gelombang 1.26 cm pada uji kedua

Gambar 4.36 menunjukkan respon sensor *accelerometer* terhadap gelombang setinggi 1.26 cm. Data rata-rata gelombang yang didapatkan dari rata-rata jarak titik lembah dan titik puncak gelombang, didapatkan hasil rata-rata respon sensor adalah 1.356 cm sehingga dapat dihitung *fraksi error*nya menggunakan persamaan 4.1 dan didapatkan hasil *fraksi error* = 7.61 %.



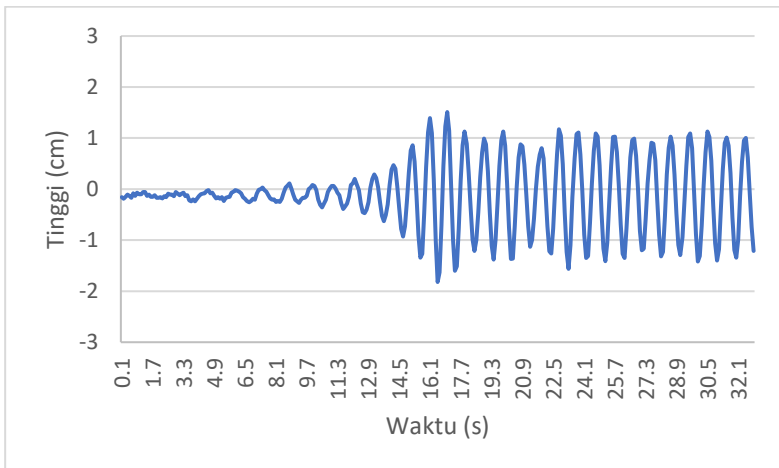
Gambar 4. 37 Plotting Data Gelombang 1.91 cm pada uji kedua

Hasil respon sensor saat percobaan dengan gelombang 1.91 pada uji kedua dapat dilihat pada Gambar 4.37. Tinggi gelombang didapatkan dengan merata-rata data puncak gelombang dan dijumlahkan dengan data lembah gelombang. Hasil rata-rata tinggi gelombang pada grafik di atas adalah 1.91 cm sehingga dapat dihitung *fraksi error*nya menggunakan persamaan 4.1 dan didapatkan hasil *fraksi error* = 1.04 %.



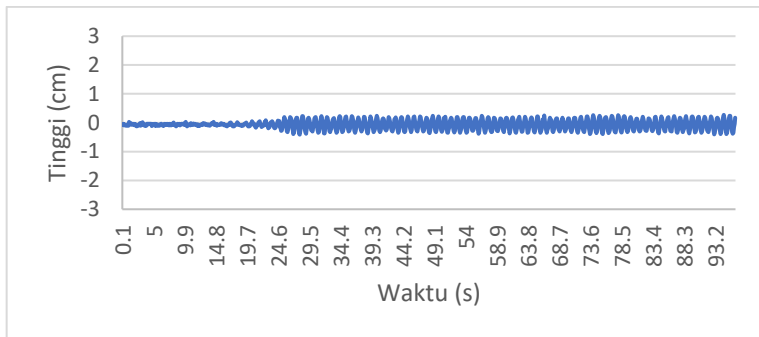
Gambar 4. 38 Plotting Data Gelombang 2.61 cm pada uji kedua

Gambar 4.38 merupakan hasil pembacaan sensor dengan tinggi gelombang sebesar 2.61 cm. Hasil percobaan tersebut menunjukkan bahwa rata-rata tinggi gelombang 2.65 cm. Data yang disetting pada *wave* simulator dibandingkan dengan data sensor untuk mendapatkan nilai *fraksi error* pembacaan, dan dengan menggunakan persamaan 4.1 didapatkan hasil *fraksi error* = 1.53 %.



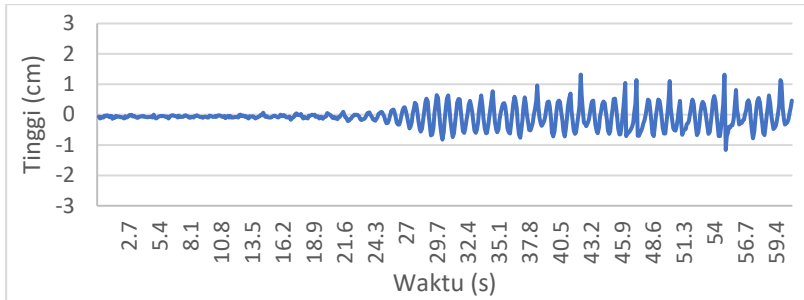
Gambar 4. 39 Plotting Data Gelombang 2.61 cm pada uji kedua

Percobaan dengan tinggi gelombang 2.61 cm pada uji kedua mendapatkan hasil respon sensor seperti yang terlihat pada Gambar 4.39. Data rata-rata gelombang yang didapatkan dari rata-rata jarak titik lembah dan titik puncak gelombang, didapatkan hasil rata-rata respon sensor adalah 2.65 cm sehingga dapat dihitung *fraksi error*nya menggunakan persamaan 4.1 dan didapatkan hasil *fraksi error* = 1.53 %.



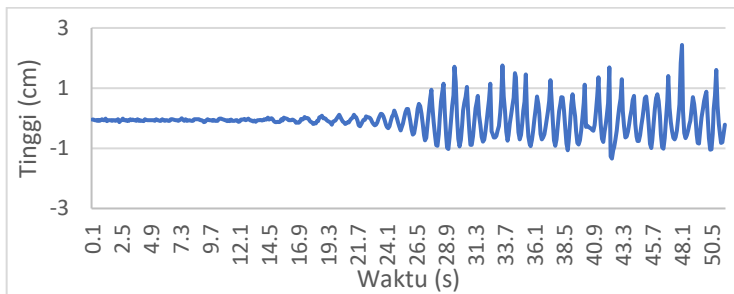
Gambar 4. 40 Plotting Data Gelombang 0.5 cm pada uji ketiga

Gambar 4.40 menunjukkan respon sensor *accelerometer* terhadap gelombang setinggi 0.5 cm. Data rata-rata gelombang yang didapatkan dari rata-rata jarak titik lembah dan titik puncak gelombang, didapatkan hasil rata-rata respon sensor adalah 0.611 cm sehingga dapat dihitung *fraksi error*nya menggunakan persamaan 4.1 dan didapatkan hasil *fraksi error* = 11.9 %.



Gambar 4. 41 Plotting Data Gelombang 1.26 cm pada uji ketiga

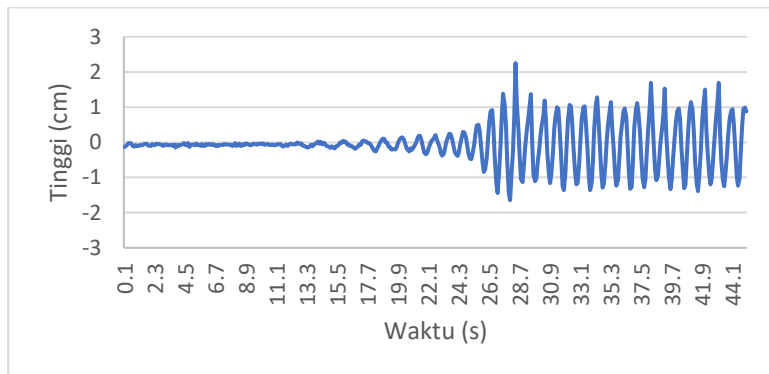
Hasil respon sensor saat percobaan dengan gelombang 1.26 pada uji ketiga dapat dilihat pada Gambar 4.41. Tinggi gelombang didapatkan dengan merata-rata data puncak gelombang dan dijumlahkan dengan data lembah gelombang. Hasil rata-rata tinggi gelombang pada grafik di atas adalah 1.042 cm sehingga dapat dihitung *fraksi error*nya menggunakan persamaan 4.1 dan didapatkan hasil *fraksi error* = 17.3 %.



Gambar 4. 42 Plotting Data Gelombang 1.91 cm pada uji ketiga

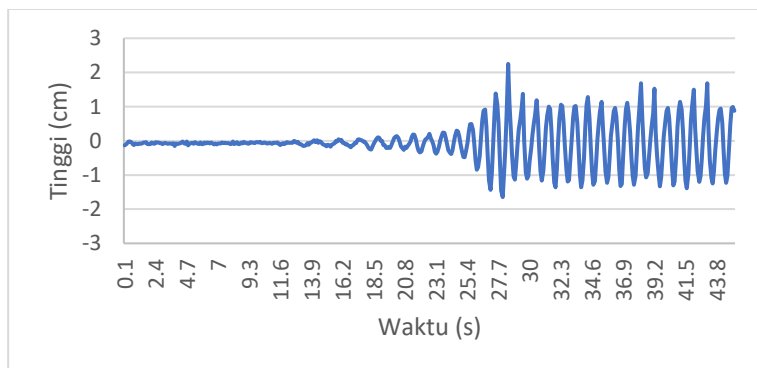
Gambar 4.42 merupakan hasil pembacaan sensor dengan tinggi gelombang sebesar 1.91 cm. Hasil percobaan tersebut menunjukkan bahwa rata-rata tinggi gelombang 2.34 cm. Data yang disetting pada *wave* simulator dibandingkan dengan data sensor untuk mendapatkan nilai *fraksi error* pembacaan, dan

dengan menggunakan persamaan 4.1 didapatkan hasil *fraksi error* = 2.25 %.



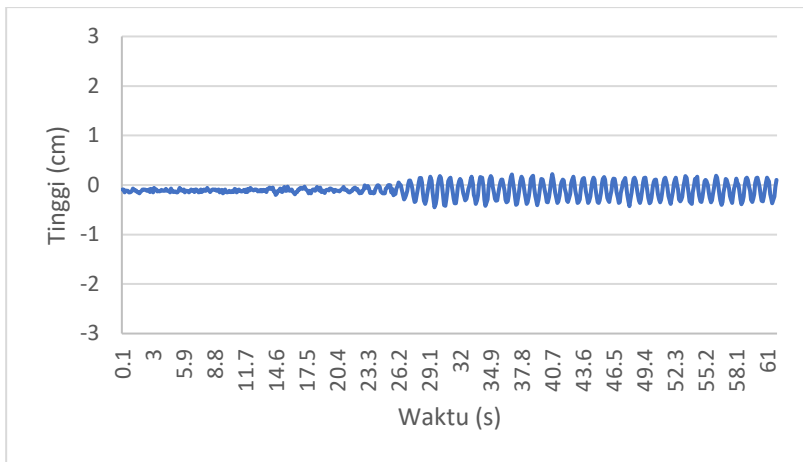
Gambar 4. 43 Plotting Data Gelombang 2.61 cm pada uji ketiga

Percobaan dengan tinggi gelombang 2.61 cm pada uji ketiga mendapatkan hasil respon sensor seperti yang terlihat pada Gambar 4.43. Data rata-rata gelombang yang didapatkan dari rata-rata jarak titik lembah dan titik puncak gelombang, didapatkan hasil rata-rata respon sensor adalah 2.75 cm sehingga dapat dihitung *fraksi error*nya menggunakan persamaan 4.1 dan didapatkan hasil *fraksi error* = 5.36 %.



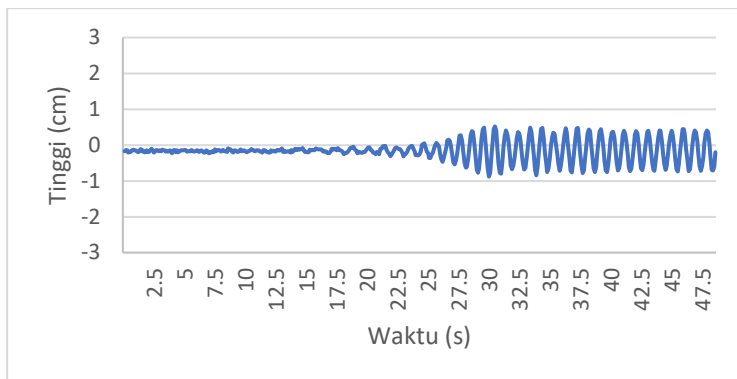
Gambar 4. 44 Plotting Data Gelombang 3.25 cm pada uji ketiga

Gambar 4.44 menunjukkan respon sensor *accelerometer* terhadap gelombang setinggi 3.25 cm. Data rata-rata gelombang yang didapatkan dari rata-rata jarak titik lembah dan titik puncak gelombang, didapatkan hasil rata-rata respon sensor adalah 3.38 cm sehingga dapat dihitung *fraksi error*nya menggunakan persamaan 4.1 dan didapatkan hasil *fraksi error* = 0.92 %.



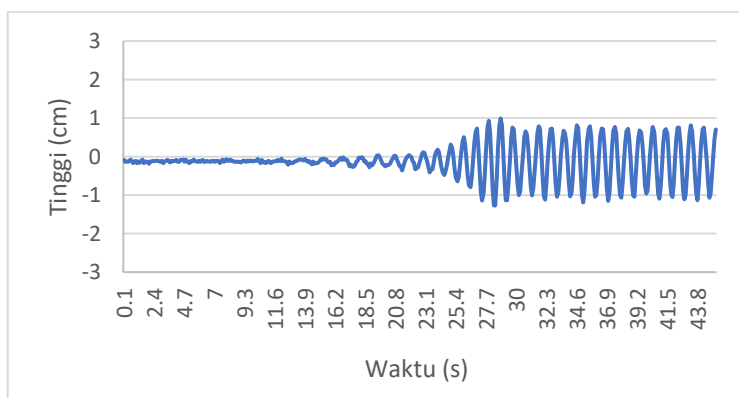
Gambar 4. 45 Plotting Data Gelombang 0.5 cm pada uji hari 4

Hasil respon sensor saat percobaan dengan gelombang 0.5 keempat dapat dilihat pada Gambar 4.45. Tinggi gelombang didapatkan dengan merata-rata data puncak gelombang dan dijumlahkan dengan data lembah gelombang. Hasil rata-rata tinggi gelombang pada grafik di atas adalah 0.551 cm sehingga dapat dihitung *fraksi error*nya menggunakan persamaan 4.1 dan didapatkan hasil *fraksi error* = 0.91 %.



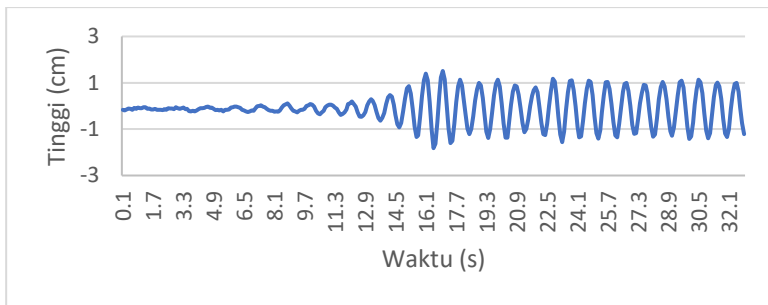
Gambar 4. 46 Plotting Data Gelombang 1.26 cm pada uji hari 4

Gambar 4.46 merupakan hasil pembacaan sensor dengan tinggi gelombang sebesar 1.26 cm. Hasil percobaan tersebut menunjukkan bahwa rata-rata tinggi gelombang 1.436 cm. Data yang disetting pada *wave* simulator dibandingkan dengan data sensor untuk mendapatkan nilai *fraksi error* pembacaan, dan dengan menggunakan persamaan 4.1 didapatkan hasil *fraksi error* = 13.96%.



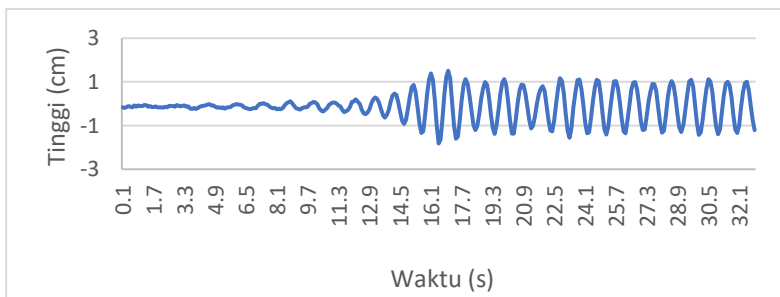
Gambar 4. 47 Plotting Data Gelombang 1.91 cm pada uji hari 4

Percobaan dengan tinggi gelombang 1.91 cm pada uji keempat mendapatkan hasil respon sensor seperti yang terlihat pada Gambar 4.47. Data rata-rata gelombang yang didapatkan dari rata-rata jarak titik lembah dan titik puncak gelombang, didapatkan hasil rata-rata respon sensor adalah 1.956 cm sehingga dapat dihitung *fraksi error*nya menggunakan persamaan 4.1 dan didapatkan hasil *fraksi error* = 2.4 %.



Gambar 4. 48 Plotting Data Gelombang 2.61 cm pada uji hari 4

Gambar 4.48 menunjukkan respon sensor *accelerometer* terhadap gelombang setinggi 2.61 cm. Data rata-rata gelombang yang didapatkan dari rata-rata jarak titik lembah dan titik puncak gelombang, didapatkan hasil rata-rata respon sensor adalah 2.59 cm sehingga dapat dihitung *fraksi error*nya menggunakan persamaan 4.1 dan didapatkan hasil *fraksi error* = 0.76 %.



Gambar 4. 49 Plotting Data Gelombang 2.61 cm pada uji hari

Hasil respon sensor saat percobaan dengan gelombang 2.61 keempat dapat dilihat pada Gambar 4.49. Tinggi gelombang didapatkan dengan merata-rata data puncak gelombang dan dijumlahkan dengan data lembah gelombang. Hasil rata-rata tinggi gelombang pada grafik di atas adalah 2.61 cm sehingga dapat dihitung *fraksi error*nya menggunakan persamaan 4.1 dan didapatkan hasil *fraksi error* = 2.76%.

Rangkuman hasil percobaan validasi data di Lab. Hidrodinamika dapat dilihat pada table 4.12. Hasil *fraksi error* per variasi pembacaan rata-rata untuk mendapatkan hasil *fraksi error* validasi data dan didapatkan hasil 3.289 %.

Tabel 4.12 Hasil Validasi Data di Lab. Hidrodinamika

O Hari ke						<i>fraksi error</i>
	1	2	3	4		
O ideal						
0.545 cm	0.515	0.566	0.611	0.53		1.76%
1.26 cm	1.14	1.356	1.042	1.562		3.74%
1.91 cm	1.876	1.934	2.341	1.984		5.66%
2.612 cm	2.543	2.653	2.752	2.476		0.289%
3.25 cm	3.5	3.546	3.383	3.285		4.97%
Rata-rata <i>fraksi error</i>						3.289%

Seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.12, saat dilakukan validasi di Lab. Vibrasi dan dilakukan pengulangan selama 4 kali, didapatkan rata-rata *fraksi error* adalah 3.289%. Hal ini menjelaskan bahwa sistem pengukur tinggi gelombang mempunyai kemampuan akurasi 96.711%.

4.3 Analisa Keandalan

Pengujian kalibrasi di Lab. Vibrasi didapatkan *error* terbesar adalah 0.5 cm. Sehingga 0.5 cm ini dianggap sebagai spesifikasi alat untuk maksimum *error*, jadi bila ada pembacaan sensor dengan *error* melebihi 0.5 cm, maka akan dianggap sebagai kegagalan sensor.

Saat dilakukan validasi di Lab. Hidrodinamika *error* di atas 0.5 cm terjadi 2 kali dalam kurun waktu 40 jam. Keandalan sensor dalam pembacaan tinggi gelombang selama 40 jam dapat dihitung sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\text{Number of failures}}{\text{Total Operating Time in Hours}} = \frac{2}{40} = 0.05$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0.05} = 20$$

$$R(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

$$R(40) = 1 - e^{-0.05 \cdot 40} = 9.97$$

Nilai keandalan yang didapat pada alat ukur ketinggian gelombang menggunakan sensor IMU 9 setelah dilakukan percobaan selama 40 jam adalah 9.97. Nilai ini masih tergolong bagus, karena untuk performansi suatu alat, nilai rata-ratanya adalah 9.5 (Ebellling, 1997)

4.3 Pembahasan

Pengujian dari sistem pengukur tinggi gelombang laut menggunakan sensor IMU 9 ini terdiri dari 3 tahap. Pertama adalah kalibrasi alat ukur. Kalibrasi alat ukur bertujuan untuk akuisisi data dari keluaran sensor menjadi simpangan. Kalibrasi data dilakukan di Laboratorium Vibrasi Jurusan Teknik Fisika ITS menggunakan sistem pegas dengan simpangan 2, 4, 6, 8 dan 10 cm sebanyak

enam kali percobaan. Hasil dari uji kalibrasi didapatkan *fraksi error* rata-rata 1.56% dimana telah dijelaskan pada Tabel 4.11.

Setelah dilakukan kalibrasi alat ukur, tahap selanjutnya adalah melakukan validasi alat ukur. Validasi alat dilakukan di Laboratorium Hidrodinamika Jurusan Teknik Perkapalan ITS. Validasi alat ukur bertujuan untuk mengetahui apakah sensor IMU 9 yang diletakkan pada wahana apung terpisah dapat membaca tinggi gelombang pada tempat uji dan untuk mengetahui apakah dengan menggunakan wahana apung terpisah dapat menaikkan akurasi dalam pembacaan tinggi gelombang laut. Validasi alat ukur ini dilakukan dengan menggunakan *wave simulator* dengan variasi gelombang 0.545 cm, 1.26 cm, 1.91 cm, 2.612 cm dan 3.25 cm. Dari hasil pengujian pada ketinggian gelombang di Lab. Hidrodinamika didapat dirata-rata *fraksi error* dari pembacaan gelombang laut pada wahana apung terpisah adalah 3.289%, atau dapat dikatakan pula bahwa akurasi sensor dalam membaca gelombang laut pada wahana apung terpisah adalah 96.711%. Hal ini membuktikan bahwa dengan menggunakan wahana apung terpisah yang lebih ringan sehingga dapat menaikkan akurasi sensor dalam membaca gelombang laut dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang memiliki akurasi 60%.

Hal ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian alat ukur di Lab. Vibrasi dan Lab. Hidrodinamika ITS maka dapat disimpulkan bahwa:

- a. Sistem pembaca tinggi gelombang dengan wahana apung terpisah yang memiliki gaya berat lebih kecil dapat menaikkan akurasi dalam pembacaan tinggi gelombang. Akurasi yang didapat dengan menggunakan wahana apung terpisah adalah 98.82% sedangkan pada penelitian sebelumnya adalah 60%.
- b. Sistem pembaca tinggi gelombang laut dapat membaca gelombang pada tempat uji, yaitu pada Laboratorium Hidrodinamika Jurusan Teknik Perkapalan ITS dengan rata-rata *fraksi error* 3.289% dan nilai keandalan 0.97.

5.2 Saran

Penelitian ini masih jauh dari sempurna dan dibutuhkan pengembangan -pengembangan ke depan agar mendapatkan hasil yang lebih baik. Saran untuk penelitian ini adalah:

- a. Dilakukan pengujian pada gelombang yang lebih tinggi untuk mengetahui pembacaan *range* sensor sebenarnya.
- b. Pada sensor ditambahkan filter elektronis agar *error* pembacaan lebih kecil.

Hal ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- A.K.Laing. (1998). An Introduction to Ocean Waves. *World Meteorological Organization* , 1.
- Age , I. T., Fitri, S. P., & Soemartojo. (2013). Studi Pengaruh Pola Gelombang tak Beraturan (Irregular Waves) dan Variasi Tenaga pada Sistem Konversi Pneumatis Energi Gelombang Laut. *Jurnal Teknik POMITS*, 1.
- Anonim. (2011, September 30). *Video Clips About Collecting Climate Data at Buoyweather*. Retrieved from OSU: <http://beyondweather.ehe.osu.edu/issue/we-study-earths-climate/video-clips-about-collecting-climate-data>
- Azfar, D. H. (2009). Study of Internal Measurement Unit Sensor. *International Conference on Man-Machine Systems*, (pp. 5-8).
- Betrianis, & Suhendra, R. (2005). Pengukuran Nilai Overall Equipment Effectiveness Sebagai Dasar Usaha Perbaikan Proses Manufaktur pada Lini Produksi. *Makara Journal of Technology*, 6.
- Dieter, G. E. (2000). *Engineering Design: A Material and Processing Approach*. Singapore: McGraw-Hill Companies, inc.
- Ebeling, C. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. New York: The McGraw Hill Companies Inc.

- Ebelling, C. E. (1997). *An Introduction to Reability and Maintainability Engineering*. Singapore: The McGraw-Hill Companies.
- Elektronics, S. (2016, December 18). *9 Degrees of Freedom-Razor IMU*. Retrieved from Sparkfun: <https://www.sparkfun.com/products/retired/10736>
- Ferdiansyah, M. I. (2015). *Rancang Bangun Mini Plant Detektor Ketinggian Kendaraan pada Jembatan Timbang dengan Menggunakan Sensor Infra Red*. Surabaya: ITS.
- Havinga, P. (2009). *Wave Monitoring using Wireless Sensor Nodes*. Australia.
- Kurnianingtyas, R. (2015). *Rancang Bangun Sistem Monitoring Tekanan berbasis Arduino pada Miniplant Mikrohidro*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kurniawan, R. (2012). *Karakteristik Gelombang Laut dan Daerah Rawan Gelombang Tinggi di Perairan Indonesia*. Depok: Universitas Indonesia.
- P. Bentley, J. (2015). *The General Measurement System*. England: Prentice Hall.
- Pain, H. (2005). *The Physics of Vibrations and Waves*. John Wiley and Son.
- Ramza, H., & Dewanto, Y. (2013). Curvature Loss Optical Fiber Analysis of Head Passive Sensor on the Mandrell Fiber. *International Journal of Current Research in Engineering*.
- Riyadi, M., Wahyudi, & Setiawan, I. (2010). Pendeteksi Posisi Menggunakan Sensor Accelerometer MMA7260Q Berbasis Mikrokontroler Atmega 32. *Transmisi*, 2.

- Rizky, A. P., Arifin, S., & N., W. H. (2016). Rancang Bangun Sistem Monitoring Ketinggian Gelombang Laut pada Prototype Buoyweather Type II. *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), 1.
- Sari, D. P. (2011). Perancangan Sistem Pengendalian dan Monitoring untuk Menghindari Tabrakan Antara Kapal di Luar Pelayaran Tanjung Perak Surabaya. *Jurnal Teknik ITS*, 3.
- Sari, I. A. (2013). *Persamaan Differensial Getaran*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Sumantri, A. H. (2013). *Analisis RPN terhadap Keandalan Instrumentasi Kompresor Udara Menggunakan Metode FMEA di PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit II Dumai*. Pekanbaru: UIN Suska Riau.
- Turjatiningsih, H. R. (2013). *Waterpass Digital dengan Akselerometer MMA 7361 Menggunakan Teori Pythagoras Berbasis MBED NXP LPC 1768*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Venkatesan, R., Vengatesan, G., Vedachalam, N., Muthiah, M. A., Lavanya, R., & Atmanand, M. A. (2016). Reliability Assessment and Integrity mangement of Data Buoy Instruments Used for Monitoring the Indian Seas. *Science Direct*, 3.
- Wafi, M. K., Arifin, S., & Aisjah, A. S. (2014). Perancangan Monitoring Kestabilan Sudut pada Buoyweather Menggunakan Sensor Accelerometer MMA7361. *Jurnal Teknik ITS*, 1.

Hal ini sengaja dikosongkan

Lampiran A

Sintaks Program yang Ditanamkan Dalam Arduino Mega 2650

```
#include <Wire.h>

#define ADXL345_ADDRESS (0xA6 >> 1)
#define ADXL345_REGISTER_XLSB (0x32)
#define ADXL_REGISTER_PWRCTL (0x2D)
#define ADXL_PWRCTL_MEASURE (1 << 3)

int accelerometer_data[3];
float ax,ay,az;
float gx,gy,gz;
float r;
float j;
float t;

char c;

void setup() {
  Wire.begin();
  Serial.begin(9600);

  for(int i = 0; i < 3; ++i) {
    accelerometer_data[i] = 0;
  }

  init_adxl345();
}

void i2c_write(int address, byte reg, byte data) {
  Wire.beginTransmission(address);
  Wire.write(reg);
  Wire.write(data);
}
```

```

    Wire.endTransmission();
}

void i2c_read(int address, byte reg, int count, byte* data) {
    int i = 0;

    Wire.beginTransmission(address);
    Wire.write(reg);
    Wire.endTransmission();
    Wire.beginTransmission(address);
    Wire.requestFrom(address,count);
    while(Wire.available()){
        c = Wire.read();
        data[i] = c;
        i++;
    }
    Wire.endTransmission();
}

void init_adxl345() {
    byte data = 0;

    i2c_write(ADXL345_ADDRESS,
ADXL_REGISTER_PWRCTL, ADXL_PWRCTL_MEASURE);

    i2c_read(ADXL345_ADDRESS,
ADXL_REGISTER_PWRCTL, 1, &data);
}

void read_adxl345() {
    byte bytes[6];
    memset(bytes,0,6);

    i2c_read(ADXL345_ADDRESS,
ADXL345_REGISTER_XLSB, 6, bytes);
}

```

```

for (int i=0;i<3;++i) {
  accelerometer_data[i] = (int)bytes[2*i] + (((int)bytes[2*i + 1]) <<
8);
}
}

```

```

void loop()

```

```

{
  read_adxl345();

```

```

ax=(0.0038*accelerometer_data[0])-0.0128;
ay=(0.0038*accelerometer_data[1])-0.0128;
az=(0.0038*accelerometer_data[2])-0.0128;

```

```

gx=ax*9.8;
gy=ay*9.8;
gz=az*9.8;

```

```

r = sqrt((gx*gx)+(gy*gy)+(gz*gz));
j = (0.7436*r) - 6.5322;

```

```

Serial.print("Gravitasi ");
Serial.print(gx);
Serial.print("\t");
Serial.print(gy);
Serial.print("\t");
Serial.print(gz);
Serial.print("\t");
Serial.print("Resultan");
Serial.print(r);
Serial.print("\t");
Serial.print("Jarak");
Serial.print(j);
Serial.println("\t");

```

```

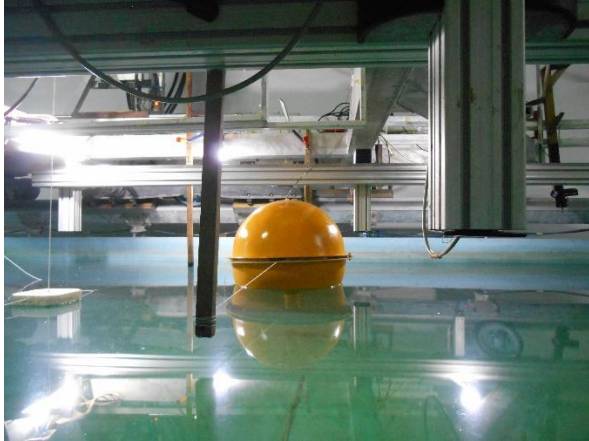
delay(100);

```

```
}}  
  
void loop()  
{  
  read_adxl345();  
  
  ax=(0.0038*accelerometer_data[0])-0.0128;  
  ay=(0.0038*accelerometer_data[1])-0.0128;  
  az=(0.0038*accelerometer_data[2])-0.0128;  
  
  gx=ax*9.8;  
  gy=ay*9.8;  
  gz=az*9.8;  
  
  r = sqrt((gx*gx)+(gy*gy)+(gz*gz));  
  
  Serial.print("Gravitasi ");  
  Serial.print(gx);  
  Serial.print("\t");  
  Serial.print(gy);  
  Serial.print("\t");  
  Serial.print(gz);  
  Serial.print("\t");  
  Serial.print("Resultan");  
  Serial.print(r);  
  Serial.println("\t");  
  
  delay(100);  
}
```


LAMPIRAN B

Dokumentasi





BIODATA PENULIS



Penulis bernama Hikmah Ragil Turjatiningsih lahir di Kendal pada tanggal 4 Januari 1993. Penulis merupakan anak terakhir dari Bapak Turmudhi dan Ibu Eni Hartiningsih. Penulis sebelumnya belajar di Diploma Elektronika dan *Instrumentasi* Universitas Gadjah Mada dan lulus pada tahun 2013. Penulis adalah programmer Tim Robot UGM pada divisi KRSI angkatan 2012. Penulis pernah bekerja sebagai Jr. Telecommunication and Security System Completion Engineer di PT. Tripatra Engineering and Constructors untuk Banyu Urip Project dengan owner Exxon Mobil Cepu Ltd. terhitung mulai 8 Desember 2013 dan memutuskan untuk resign pada 30 September 2015 dikarenakan melanjutkan pendidikan ke jenjang S1 di Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya sampai sekarang. Penulis dapat dihubungi melalui email hikmah.jati@gmail.com