



TUGAS AKHIR - TF181801

**PERANCANGAN SISTEM PENGUKURAN
KETINGGIAN GELOMBANG LAUT PADA
BUOYWEATHER TYPE II DENGAN
MENGUNAKAN *WAVELET FILTER* DAN *KALMAN
FILTER* UNTUK MENINGKATKAN AKURASI DATA**

Dina Firdiana Rosalina
NRP. 0231154000014

Dosen Pembimbing :
Dr.Ir Syamsul Arifin, MT

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan



TUGAS AKHIR - TF 181801

**PERANCANGAN SISTEM PENGUKURAN
KETINGGIAN GELOMBANG LAUT PADA
BUOYWEATHER TYPE II DENGAN
MENGUNAKAN *WAVELET FILTER* DAN
KALMAN FILTER UNTUK MENINGKATKAN
AKURASI DATA**

**Dina Firdiana Rosalina
NRP. 0231154000014**

**Dosen Pembimbing :
Dr.Ir Syamsul Arifin, MT**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019**

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 181801

***DESIGN OF SEA WAVE HEIGHT
MEASUREMENT SYSTEM IN TYPE II
BUOYWEATHER USING WAVELET FILTER AND
KALMAN FILTER TO INCREASE DATA
ACCURACY***

Dina Firdiana Rosalina
NRP. 0231154000014

Supervisor :
Dr.Ir Syamsul Arifin, MT

*ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019*

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama : Dina Firdiana Rosalina

NRP : 02311540000014

Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul “Perancangan Sistem Pengukuran Ketinggian Gelombang Laut pada *Buoyweather Type II* dengan Menggunakan *Wavelet Filter* dan *Kalman Filter* untuk Meningkatkan Akurasi Data” adalah bebas dari plagiarisme. Apabila pernyataan ini tidak terbukti benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 1 Agustus 2019

Yang membuat pernyataan,



Dina Firdiana Rosalina

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERANCANGAN SISTEM PENGUKURAN KETINGGIAN
GELOMBANG LAUT PADA *BUOYWEATHER TYPE II*
DENGAN MENGGUNAKAN *WAVELET FILTER* DAN
KALMAN FILTER UNTUK MENINGKATKAN AKURASI
DATA**

Oleh:

Dina Firdiana Rosalina
NRP. 0231154000014

Surabaya, 1 Agustus 2019

**Menyetujui,
Pembimbing**



Dr. Ir. Svamsul Arifin, MT
NIP. 19630907 198903 1 004

**Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Fisika FTI-ITS**



Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D
NIP. 19780902 200312 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERANCANGAN SISTEM PENGUKURAN KETINGGIAN
GELOMBANG LAUT PADA *BUOYWEATHER TYPE II*
DENGAN MENGGUNAKAN *WAVELET FILTER* DAN
KALMAN FILTER UNTUK MENINGKATKAN AKURASI
DATA**

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

Dina Firdiana Rosalina
NRP. 0231154000014

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Syamsul Arifin, MT.....(Pembimbing)
2. Dr. Suyanto, ST, MT..... (Penguji I)
3. Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT.....(Penguji II)
4. Erna Septyaningrum, ST, MT.....(Penguji III)

SURABAYA
AGUSTUS, 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERANCANGAN SISTEM PENGUKURAN KETINGGIAN GELOMBANG LAUT PADA *BUOYWEATHER TYPE II* DENGAN MENGGUNAKAN *WAVELET FILTER* DAN *KALMAN FILTER* UNTUK MENINGKATKAN AKURASI DATA

Nama : Dina Firdiana Rosalina
NRP : 0231154000014
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Syamsul Arifin, MT

Abstrak

Tinggi gelombang merupakan salah satu variabel cuaca laut yang sangat penting karena berpengaruh langsung terhadap segala aktifitas laut. Data tinggi gelombang yang selama ini diinformasikan oleh stasiun cuaca BMKG tidak berasal dari pengukuran langsung di tempat uji melainkan berasal dari data arah angin yang diolah dengan persamaan tertentu sehingga didapatkan nilai ketinggian gelombang. Tugas akhir ini bertujuan untuk merancang alat ukur ketinggian gelombang secara langsung di tempat uji. Terdapat beberapa kendala pada proses pengukuran atau pengiriman data yang dapat menurunkan tingkat akurasi data, contohnya *noise* atau gangguan. Akurasi data dapat ditingkatkan dengan mereduksi *noise* dari data hasil pembacaan sensor. Mereduksi *noise* atau gangguan pada data hasil pembacaan sensor dapat dilakukan dengan menambahkan *filter*. Algoritma *filter* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *kalman filter* dan *wavelet filter*. Pengujian sistem pengukur ketinggian dilakukan dua kali yaitu menggunakan sistem pegas dan *wave simulator*. Pengujian menggunakan sistem pegas mendapatkan rata-rata persentase *error* pengukuran sebesar 6.37 %. Pengujian menggunakan *wave simulator* mendapatkan rata-rata persentase *error* 11.124 %. Data hasil pengujian menggunakan *wave simulator* selanjutnya ditambahkan algoritma *filter* sehingga rata-rata persentase *error* pengukuran menjadi 6.399 %. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor ketinggian gelombang laut mampu membaca ketinggian gelombang laut. Penurunan rata-rata persentase *error* pada pengujian menggunakan *wave simulator* sebelum dan sesudah penambahan algoritma *filter* menunjukkan bahwa penambahan algoritma *filter* menyebabkan penurunan *error* pada data hasil pengukuran.

Kata kunci : Buoyweather, IMU 9DOF, Kalman Filter, Ketinggian Gelombang, Wavelet Filter

**DESIGN OF SEA WAVE HEIGHT MEASUREMENT
SYSTEM IN TYPE II BUOYWEATHER USING WAVELET
FILTER AND KALMAN FILTER TO INCREASE DATA
ACCURACY**

Name : Dina Firdiana Rosalina
NRP : 0231154000014
Department : Engineering Physics FTI-ITS
Supervisor : Dr. Ir. Syamsul Arifin, MT

ABSTRACT

Wave height is one of the marine weather variables that is very important because it directly affects all marine activities. The wave height data that has been informed by the weather station BMKG has not originated from direct measurements at the test site but originated from wind direction data which is processed with certain equations to obtain wave height values. This final project aims to design wave height measuring devices directly at the test site. There are several obstacles in the process of measuring or sending data that can reduce the level of accuracy of the data, for example noise or interference. Data accuracy can be increased by reducing noise from the sensor reading data. Reducing noise or interference with data from sensor readings can be done by adding filters. The filter algorithm used in this research is kalman filter and wavelet filter. Testing the altitude measuring system is done twice, using the spring system and wave simulator. Testing using a spring system gets an average measurement error percentage of 6.37 %. Testing using wave simulator gets an average error percentage of 11.124 %. The test data using a wave simulator then added a filter algorithm so that the average measurement error percentage becomes 6.399 %. The results showed that the sea wave height sensor was able to read the height of the ocean wave. Decreasing the average percentage error in testing using a wave simulator before and after the addition of a filter algorithm shows that the addition of a filter algorithm causes a decrease in errors in the measurement data.

Keywords: Buoyweather, IMU 9DOF, Kalman Filter, Wave Height, Wavelet Filter,

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **PERANCANGAN SISTEM PENGUKURAN KETINGGIAN GELOMBANG LAUT PADA *BUOYWEATHER TYPE II* DENGAN MENGGUNAKAN *WAVELET FILTER* DAN *KALMAN FILTER* UNTUK MENINGKATKAN AKURASI DATA.** Penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Fisika ITS.
2. Bapak Dr. Ir. Syamsul Arifin, MT selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan motivasi, bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Suyanto, ST, MT, Ibu Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT, dan Ibu Erna Septyaningrum ST, MT selaku dosen penguji tugas akhir yang telah membimbing dan memberikan masukan sehingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
4. Bapak Ir. Zulkifli, M.Sc selaku dosen wali penulis yang telah sabar memberi dukungan, bimbingan serta ilmu yang sangat bermanfaat selama kuliah.
5. Bapak Dr. Suyanto, ST, MT selaku kepala Laboratorium Komputasi dan Sistem Siber Fisik yang telah memberikan sarana dan prasarana guna menunjang pelaksanaan tugas Akhir ini.
6. Bapak serta Ibu dosen dan karyawan Teknik Fisika ITS atas bantuannya selama menjalani perkuliahan.
7. Bapak, Ibu, Adik, dan keluarga tercinta yang senantiasa memberikan dukungan, semangat dan doa kepada penulis yang menjadikan motivasi terbesar penulis.

8. Teman-teman seperjuangan dalam mengerjakan Tugas Akhir Tim *Buoyweather*, Nabila, Kartika, Adel, Bima, Abiyyu, Wildan, dan Isa.
9. Mas dan Mbak alumni *Buoyweather* yang telah banyak membantu dan memberi saran, khususnya mas Iqbal dan mas Fathur.
10. Teman-teman seperjuangan penulis, yaitu Yesika, Ismi, Bina, Dewi, Arifa, Nabila, Siti, Kartika, Tenti, Retno, dan Asmaul yang senantiasa membantu dan memberi dukungan kepada penulis.
11. Teman-teman seperjuangan Teknik Fisika ITS 2015 yang selalu memotivasi dan rela membantu dalam proses pengerjaan Tugas Akhir.
12. Laboratorium Workshop dan Instrumentasi beserta orang-orang didalamnya yang telah memberikan penulis tempat bernaung.
13. Adik-adik Teknik Fisika angkatan 2016, 2017, dan 2018 yang membantu proses pengerjaan Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidaklah sempurna. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan sehingga terbentuk laporan Tugas Akhir yang lebih baik. Penulis juga berharap semoga laporan ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembacanya.

Surabaya, 1 Agustus 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME Error! Bookmark not defined.	
LEMBAR PENGESAHAN	ix
LEMBAR PENGESAHAN II	xi
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xv
KATA PENGANTAR.....	xvii
DAFTAR ISI	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL	xxiii
DAFTAR NOTASI	xxv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Sistematika Laporan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Buoyweather Type II.....	5
2.2 Gelombang Laut	5
2.3 Sistem Pengukuran	9
2.4 Sensor IMU 9DOF	12
2.5 Mikrokontroler	13
2.6 Signal Filtering	15
2.7 Kalman Filter.....	16
2.8 Wavelet Transform Filter	17
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Tahapan Penelitian	23
3.2 Perumusan Masalah.....	24
3.3 Studi Literatur.....	24
3.4 Perancangan Sistem.....	24
3.5 Pengujian Sistem	33
3.6 Pengujian Real Ketinggian Gelombang Laut	36

3.7	Analisis Data dan Pembahasan.....	36
3.8	Kesimpulan dan Saran.....	37
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN		39
4.1	Analisa Data	39
4.2	Pembahasan	68
BAB V PENUTUP		70
5.1.	Kesimpulan.....	71
5.2.	Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA.....		73
LAMPIRAN		77
BIODATA PENULIS.....		121

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Buoyweather.....	5
Gambar 2. 2	Tiga Komponen yang Mempengaruhi Besarnya Gelombang (Chapter 4 – Waves, 2019)	6
Gambar 2. 4	Distribusi Statistik Ketinggian Gelombang (Ainsworth, 2019).....	7
Gambar 2. 5	Klasifikasi Tinggi Gelombang (Social Media Blog-Bureau of Meteorology, 2019)	8
Gambar 2. 6	Diagram Blok Sistem Pengukuran (Bentley, 2005).....	9
Gambar 2. 7	Sensor IMU 9DOF (SparkFun, 2019)	12
Gambar 2. 8	Arduino Due AT91SAM3X8E (Amazon, 2019)	14
Gambar 2. 9	Proses <i>Signal Filtering</i> (Morris, 2011).....	15
Gambar 2. 10	Proses <i>Filter</i> pada <i>Discreate Transform Filter</i> ..	19
Gambar 2. 11	Proses Dekomposisi Wavelet Transform.....	20
Gambar 2. 12	Proses Rekonstruksi Wavelet Transform.....	21
Gambar 2. 13	<i>Signal Denoising</i> menggunakan <i>Wavelet Transform</i> (Syachjaya, 2018)	21
Gambar 3. 1	Diagram Alir Penelitian.....	23
Gambar 3. 2	Diagram Alir Perancangan Sistem.....	25
Gambar 3. 3	<i>Wiring</i> Sensor Ketinggian Gelombang.....	26
Gambar 3. 4	Diagram Alir Pemrograman Pembacaan Sensor	27
Gambar 3. 5	Perbandingan Antara <i>Body Reference Frame</i> dengan <i>Inertial References Frame</i>	29
Gambar 3. 6	Diagram Alir Perancangan Algoritma <i>Filter</i>	33
Gambar 3. 7	Diagram Blok Sistem.....	33
Gambar 3. 8	Sistem Pegas	34
Gambar 3. 9	Gerak Sinusoidal pada Pegas.....	35
Gambar 3. 10	<i>Wave Simulator</i>	36
Gambar 4. 1	Respon Sensor Simpangan 2 cm Uji ke-1	40
Gambar 4. 2	Respon Sensor Simpangan 2 cm Uji ke-2	40
Gambar 4. 3	Respon Sensor Simpangan 2 cm Uji ke-3	41
Gambar 4. 4	Respon Sensor Simpangan 4 cm Uji ke-1	42
Gambar 4. 5	Respon Sensor Simpangan 4 cm Uji ke-2	42

Gambar 4. 6	Respon Sensor Simpangan 4 cm Uji ke-3.....	43
Gambar 4. 7	Respon Sensor Simpangan 6 cm Uji ke-1.....	44
Gambar 4. 8	Respon Sensor Simpangan 6 cm Uji ke-2.....	44
Gambar 4. 9	Respon Sensor Simpangan 6 cm Uji ke-3.....	45
Gambar 4. 10	Respon Sensor Simpangan 8 cm Uji ke-1.....	46
Gambar 4. 11	Respon Sensor Simpangan 8 cm Uji ke-2.....	46
Gambar 4. 12	Respon Sensor Simpangan 8 cm Uji ke-3.....	47
Gambar 4. 13	Respon Sensor Simpangan 10 cm Uji ke-1.....	48
Gambar 4. 14	Respon Sensor Simpangan 10 cm Uji ke-2.....	48
Gambar 4. 15	Respon Sensor Simpangan 10 cm Uji ke-3.....	49
Gambar 4. 16	Hasil Uji Sensor dan Simpangan Standard Ketinggian Gelombang	51
Gambar 4. 17	Respon Pengujian Tinggi Gelombang 2 mm	53
Gambar 4. 18	Respon Pengujian Tinggi Gelombang 4 mm	55
Gambar 4. 19	Respon Pengujian Tinggi Gelombang 6 mm	57
Gambar 4. 20	Respon Pengujian Tinggi Gelombang 8 mm	59
Gambar 4. 21	Respon Pengujian Tinggi Gelombang 10 mm ...	61
Gambar 4. 22	Hasil Uji Menggunakan <i>Wave Simulator</i>	63
Gambar 4. 23	Hasil Penambahan Algoritma <i>Kalman Filter</i> dan <i>Wavelet Filter</i>	65
Gambar 4. 24	Hasil Pengujian Realtime di Laut Kenjeran.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Spesifikasi Sensor IMU 9DOF	13
Tabel 2. 2	Spesifikasi Arduino Due	14
Tabel 4. 1	Hasil Pembacaan Simpangan 2 cm	41
Tabel 4. 2	Hasil Pembacaan Simpangan 4 cm	43
Tabel 4. 3	Hasil Pembacaan Simpangan 6 cm	45
Tabel 4. 4	Hasil Pembacaan Simpangan 8 cm	47
Tabel 4. 5	Hasil Pembacaan Simpangan 10 cm	49
Tabel 4. 6	Hasil Kalibrasi Sensor menggunakan Sistem Pegas	50
Tabel 4. 7	Hasil Pengujian Ketinggian Gelombang 2 mm	52
Tabel 4. 8	Hasil Pengujian Ketinggian Gelombang 4 mm	54
Tabel 4. 9	Hasil Pengujian Ketinggian Gelombang 6 mm	56
Tabel 4. 10	Hasil Pengujian Ketinggian Gelombang 8 mm	58
Tabel 4. 11	Hasil Pengujian Ketinggian Gelombang 10 mm	60
Tabel 4. 12	Hasil Validasi Sensor menggunakan <i>Wave Simulator</i>	62
Tabel 4. 13	Hasil Penambahan <i>Kalman Filter</i> dan <i>Wavelet Filter</i>	64
Tabel 4. 14	Hasil Pengambilan Data <i>Real</i>	66
Tabel 4. 15	Penambahan Algoritma <i>Wavelet Filter</i>	68

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOTASI

Notasi	Nama	Satuan
H_{mean}	Tinggi gelombang rata-rata	m
$H_{\text{most probable}}$	Tinggi gelombang yang paling mungkin	m
$H_{\frac{1}{10}}$	Tinggi gelombang tertinggi 10%	m
$H_{\frac{1}{100}}$	Tinggi gelombang tertinggi 100%	m
H_{max}	Tinggi gelombang maksimum	m
H_s	Tinggi gelombang signifikan	m
X_k^{\wedge}	Prediksi nilai pengukuran	-
P_k^{\wedge}	Prediksi nilai error kovarian	-
X_{k-1}	Koreksi nilai pengukuran pada k-1	-
P_{k-1}	Koreksi error kovarian pada k-1	-
A	Matriks keadaan	-
B	Matriks kendali	-
U	Input kontrol	-
Q	<i>Process noise covariance</i>	-
K	<i>Kalman gain</i>	-
H	Turunan dari suatu fungsi untuk melinierkan suatu sistem	-
R	<i>Measurement noise covariance</i>	-
X_k	Koreksi nilai pengukuran sensor	-
P_k	Koreksi nilai error kovarian	-
<i>measurement</i>	Nilai pengukuran actual sensor	-
$c_j[k]$	Koefisien aproksimasi	-
$d_j[k]$	Koefisien detail	-
g	<i>Theoretical local gravity</i>	m/s ²
IGF	<i>International Gravity Formula</i>	-
FAC	<i>Free Air Correction</i>	-
Φ	<i>Latitude</i>	°
h	<i>Height relative to sea level</i>	m

Notasi	Nama	Satuan
A_{mag}	Sumbu orientasi sensor <i>accelerometer</i>	-
a_x	Pembacaan sumbu x sensor <i>accelerometer</i>	g atau m/s^2
a_y	Pembacaan sumbu y sensor <i>accelerometer</i>	g atau m/s^2
a_z	Pembacaan sumbu z sensor <i>accelerometer</i>	g atau m/s^2
A_a	Percepatan vertikal gelombang laut	g atau m/s^2

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara maritim terbesar di dunia dengan luas lautan mencapai 5,8 juta km² dari total luas wilayah sebesar 7,81 juta km² (Roza, 2017). Luas lautan Indonesia yang mencapai 75,7% membuat laut memiliki peran penting bagi kehidupan masyarakat Indonesia. Beberapa kegiatan yang melibatkan sektor kelautan yaitu sarana transportasi, eksplorasi sumber daya laut, bahkan pertahanan dan keamanan negara. Melihat pentingnya laut bagi kehidupan masyarakat Indonesia, membuat pengamatan terhadap cuaca kelautan sangat diperlukan agar seluruh kegiatan yang memanfaatkan sektor kelautan dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan.

Pengamatan cuaca kelautan dilakukan untuk mendapatkan nilai variabel cuaca laut, yaitu: arah angin, kecepatan angin, tekanan udara, suhu dan kelembaban di atas permukaan air laut, serta tinggi gelombang (Wirjohamidjojo & Sugarin, 2008). Tinggi gelombang merupakan variabel cuaca laut yang sangat penting untuk diamati karena mempengaruhi keamanan dan keselamatan seluruh aktivitas kelautan, contohnya kegiatan pelayaran, eksplorasi sumber daya perairan, serta kegiatan wisata (Khotimah, 2012). Direktorat KPLP Ditjen Hubla menyatakan bahwa pada tahun 2009, 33% dari 124 kecelakaan kapal di Indonesia, disebabkan oleh kondisi alam, yang dalam hal ini adalah ketinggian gelombang laut (Khotimah, 2012). Organisasi Meteorologi Dunia (WMO) dalam *Guide to the Marine Meteorological Services* yang dikeluarkan pada tahun 2018, menyebutkan bahwa informasi tentang gelombang merupakan bagian terpenting yang harus ada dalam setiap informasi kelautan (WMO, 2018).

Informasi ketinggian gelombang yang selama ini dilaporkan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) didapatkan melalui pemodelan gelombang laut menggunakan data kecepatan angin yang merupakan faktor utama pembentuk

gelombang. Data kecepatan angin sebagai *input* kemudian dimodelkan menggunakan persamaan tertentu sehingga dihasilkan *output* berupa data ketinggian gelombang laut (Khotimah, 2012). Perhitungan menggunakan data kecepatan angin menunjukkan bahwa pengukuran ketinggian gelombang yang dilakukan oleh BMKG tidak dilakukan secara langsung di tempat uji sehingga tidak dapat diketahui nilai ketinggian gelombang sebenarnya di tempat uji. Perancangan sensor ketinggian gelombang laut diperlukan agar dapat dilakukan pengukuran ketinggian gelombang laut secara langsung.

Penelitian yang pernah dilakukan mengenai perancangan sistem pengukuran ketinggian gelombang laut antara lain berjudul “Rancang Bangun Sistem Monitoring Ketinggian Gelombang Laut pada *Prototype Buoyweather Type IP*” yang mendapatkan hasil rata-rata persentase *error* pengukuran sebesar 17.0817 % (Rizky, 2016). Penelitian lainnya yaitu berjudul “Rancang Bangun Sistem Pengukuran Ketinggian Gelombang Laut Menggunakan Sensor IMU 9DOF” yang mendapatkan rata-rata persentase *error* pengukuran 3.289 % (Turjatiningsih, Arifin, & Aisjah, 2017). Data hasil pengukuran diharuskan data dengan tingkat keakuratan yang tinggi. Hal ini karena data hasil pembacaan digunakan sebagai informasi cuaca yang akan digunakan oleh masyarakat. Terdapat beberapa kendala yang dapat menurunkan tingkat akurasi data pada suatu proses pengukuran atau pengiriman data, contohnya *noise* atau gangguan. Peningkatan akurasi data dapat dilakukan dengan mereduksi *noise* dari data hasil pembacaan sensor. Reduksi *noise* atau gangguan pada data hasil pembacaan sensor dapat dilakukan dengan menambahkan *filter* (Syachjaya, 2018).

Penelitian tentang penambahan algoritma *filter* pada sistem pengukuran *buoyweather* sudah pernah dilakukan sebelumnya dengan judul “Integrasi Sistem Akuisisi Data pada *Buoyweather Station Type IP*”. Penelitian ini menggunakan *kalman filter* untuk mereduksi *error* hasil pengukuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *kalman filter* mampu mereduksi standar deviasi data pengukuran pada beberapa variabel, yaitu variabel suhu, kelembaban, tekanan, dan arah angin sedangkan pada variabel

kecepatan angin mengalami peningkatan standar deviasi. Penurunan standar deviasi menunjukkan bahwa *kalman filter* mampu mereduksi *error* pengukuran (Suryadharma, 2016). Penelitian lainnya tentang *filter* pada *buoyweather* juga pernah dilakukan dengan judul “Rekonstruksi Sistem Akuisisi Data dengan *Filter* Menggunakan *Wavelet Transform* Untuk Meningkatkan Kinerja *Buoyweather Station Type II*”. Penelitian ini menggunakan *wavelet transform* untuk mereduksi *error* hasil pengukuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan algoritma *wavelet transform filter* dapat meningkatkan akurasi data pembacaan sensor, hal ini dapat dilihat pada nilai RMSE yang menurun. Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa *kalman filter* dan *wavelet filter* bekerja dengan cukup baik dalam mereduksi *error* hasil pengukuran sehingga dalam penelitian ini dilakukan kombinasi *kalman filter* dan *wavelet filter* dengan tujuan untuk meningkatkan kemampuan reduksi *error* sehingga didapatkan data yang lebih akurat. Penelitian yang dilakukan oleh Marcos menunjukkan bahwa kombinasi *kalman filter* dan *wavelet filter* dapat meningkatkan reduksi *error* pada *image filtering* (Laia, et al., 2008).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Apakah pemasangan sensor ketinggian gelombang pada *buoyweather type II* dapat mengukur ketinggian gelombang laut di tempat uji?
- b. Apakah penambahan algoritma *filter* mampu meningkatkan akurasi pembacaan sensor ketinggian gelombang laut pada *buoyweather type II*?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Merancang alat pengukur ketinggian gelombang yang dapat mengukur ketinggian gelombang laut di tempat uji.

- b. Mendapatkan peningkatan akurasi sensor ketinggian gelombang laut.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Variabel yang akan dibahas adalah ketinggian gelombang laut.
- b. Pengukuran tinggi gelombang laut pada *buoyweather type II* menggunakan sensor IMU 9DOF.
- c. Algoritma *filter* yang digunakan adalah *wavelet transform filter* dan *kalman filter*.

1.5 Sistematika Laporan

Laporan ini terdiri dari lima bab, diantaranya bab pertama merupakan pendahuluan yang berisi mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika laporan. Bab kedua adalah tinjauan pustaka yang berisi mengenai dasar teori yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan tugas akhir. Bab ketiga adalah metode penelitian yang berisi mengenai *flowchart* dan langkah-langkah penelitian. Bab empat adalah Analisis data dan pembahasan yang berisi tentang hasil pengujian yang telah dilakukan dan data yang didapatkan kemudian dilakukan Analisa dan pembahasan. Bab 5 adalah penutup yang berisi kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran untuk pengembangan pada penelitian selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Buoyweather Type II*

Buoyweather merupakan sebuah alat yang mengapung di laut dan digunakan untuk memantau cuaca maritim. *Buoyweather* digunakan sebagai *early warning system*, pendukung cuaca maritim, dan untuk meningkatkan keselamatan transportasi laut (Wafi, Arifin, & Aisjah). *Buoyweather* memberikan informasi prediksi cuaca dengan cara memberikan informasi pada beberapa variabel cuaca, yaitu : kecepatan angin, arah angin, tekanan udara, kelembaban udara, temperatur udara, dan ketinggian gelombang laut serta informasi lokasi (GPS) (Turjatiningsih, Arifin, & Aisjah, 2017).



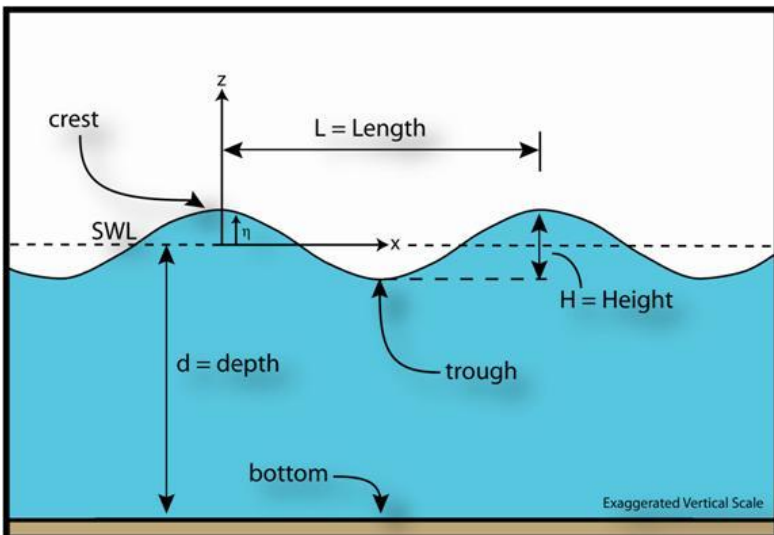
Gambar 2. 1 *Buoyweather*

2.2 **Gelombang Laut**

Gelombang adalah pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal (Wimala L. Dhanista, 2019). Fenomena gelombang yang ada di laut merupakan hasil perwujudan energi yang

diakibatkan karena adanya gangguan yang merambat dari perairan dalam menuju ke perairan dangkal. Gangguan-gangguan tersebut dapat berasal dari angin, gaya tarik benda astronomi (bulan dan matahari), dan pergerakan lempeng (Satriadi, 2017).

Besarnya gelombang ditentukan oleh tiga komponen, yaitu tinggi gelombang, panjang gelombang, dan periode (atau frekuensi) gelombang. Tinggi gelombang adalah jarak yang diukur dari palung ke puncak gelombang. Panjang gelombang adalah jarak antara puncak (atau palung) yang berurutan. Periode gelombang adalah waktu yang diperlukan gelombang untuk menempuh satu gelombang (Ainsworth, 2019). Ilustrasi terhadap tinggi gelombang, panjang gelombang, dan periode gelombang ditunjukkan pada Gambar 2.2.

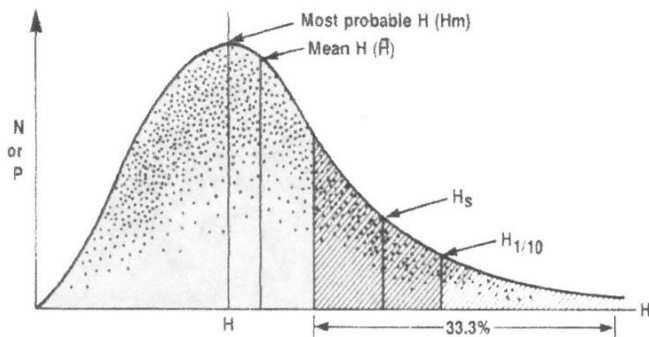


Gambar 2. 2 Tiga Komponen yang Mempengaruhi Besarnya Gelombang (Chapter 4 – Waves, 2019)

Tinggi gelombang adalah jarak vertikal antara puncak gelombang dengan lembah gelombang. Tinggi gelombang dipengaruhi oleh kecepatan angin, panjang angin, dan durasi

waktu angin bertiup. Panjang angin adalah jarak angin bertiup di atas air dengan kecepatan dan arah yang sama. Kecepatan angin yang lebih tinggi, bertiup dalam waktu yang lama, dalam panjang angin yang lebih besar menghasilkan gelombang tertinggi (Ainsworth, 2019).

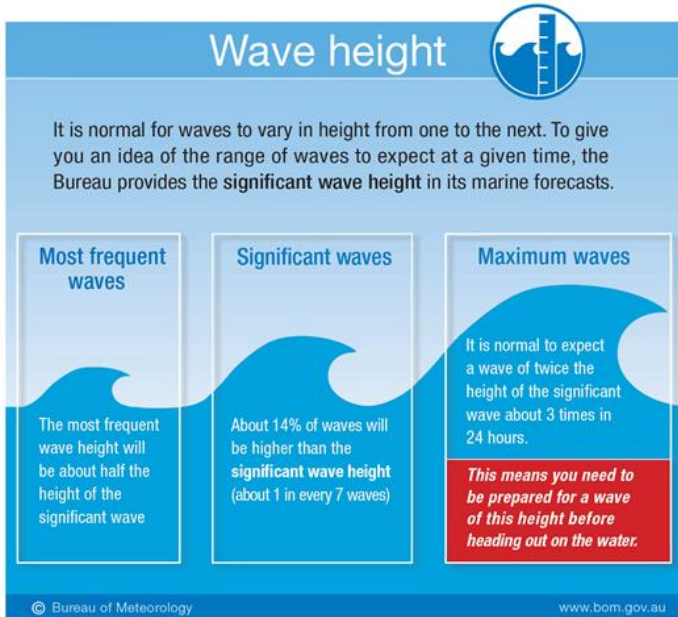
Nilai prediksi ketinggian gelombang yang dilaporkan oleh stasiun peramalan cuaca adalah tinggi gelombang signifikan (Ainsworth, 2019). Tinggi gelombang signifikan (H_s) didefinisikan sebagai tinggi rata-rata dari sepertiga gelombang tertinggi (33%) yang diukur dari lembah ke puncak. Permukaan air bergelombang terdiri dari ribuan gelombang yang berinteraksi yang berasal dari tempat yang berbeda dan menjalar ke arah yang berbeda dengan kecepatan yang berbeda (Significant wave height, n.d.).



Gambar 2. 3 Distribusi Statistik Ketinggian Gelombang (Ainsworth, 2019)

Semua gelombang yang terbentuk apabila *difilter* dan diplot pada grafik, distribusi gelombang dengan ketinggian berbeda akan menghasilkan grafik kurva lonceng seperti pada gambar 2.4. Setiap titik mewakili jumlah gelombang (N) dalam spektrum dengan ketinggian H . Gambar 2.3 menunjukkan jumlah gelombang kecil yang relatif rendah (sisi kiri grafik) dan gelombang rendah yang sangat besar (sisi kanan grafik). Jumlah gelombang (N) terbesar dalam spektrum ini berada di kisaran

ketinggian menengah (berpusat di bawah H_m). Jumlah sepertiga (33,3%) gelombang tertinggi dalam spektrum ini ditunjukkan pada bagian yang diarsir pada Gambar 2.3. Ketinggian rata-rata gelombang pada grafik yang diarsir ini adalah tinggi gelombang signifikan, H_s (Ainsworth, 2019).



Gambar 2. 4 Klasifikasi Tinggi Gelombang (Social media blog- Bureau of Meteorology, 2019)

Tinggi gelombang rata-rata (H_{mean}), tinggi gelombang yang paling mungkin ($H_{\text{most probable}}$), dan tinggi gelombang tertinggi 10% ($H_{\frac{1}{10}}$) juga dapat diketahui dari nilai H_s . Tinggi gelombang rata-rata (H_{mean}) kira-kira sama dengan $\frac{2}{3}$ (0.64) dari nilai H_s dan ketinggian gelombang tertinggi 10 % ($H_{\frac{1}{10}}$) kira-kira sama dengan 1.27 dari nilai H_s . Ketinggian gelombang tertinggi 1% ($H_{\frac{1}{100}}$) kira-

kira sama dengan 1.67 dari nilai H_s , dan tinggi gelombang maksimum (H_{max}) kira-kira sama dengan dua kali H_s (Ainsworth, 2019).

$$H_{mean} = 0.64 \times H_s \quad (2.1)$$

$$H_{most\ probable} = 0.6 \times H_s \quad (2.2)$$

$$H_{\frac{1}{10}} = 1.27 \times H_s \quad (2.3)$$

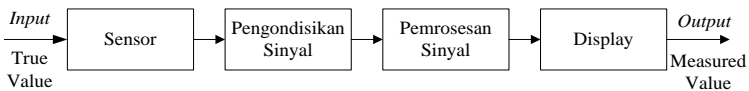
$$H_{\frac{1}{100}} = 1.67 \times H_{ss} \quad (2.4)$$

$$H_{max} = 2 \times H_s \quad (2.5)$$

2.3 Sistem Pengukuran

Sistem Pengukuran adalah sistem informasi yang memberikan sebuah nilai pada proses yang diukur kepada seorang pengamat. Pengukuran bertujuan untuk menghubungkan pengamat dengan variabel yang diukur sehingga didapatkan nilai dan informasi dari variabel tersebut yang nantinya akan digunakan dalam menentukan keputusan suatu kepentingan, misalkan pada penentuan kondisi cuaca. Kondisi cuaca sangat dipengaruhi beberapa faktor diantaranya temperatur udara, kelembaban udara tekanan udara, kecepatan angin, arah angin, kompas dan ketinggian gelombang laut. Pengukuran pada variabel-variabel tersebut sangat diperlukan untuk mendapatkan nilai yang dibutuhkan sehingga dapat ditentukan pula kondisi cuaca saat itu (Turjatiningsih, Arifin, & Aisjah, 2017).

Tujuan dari sistem pengukuran pada dasarnya adalah untuk mengetahui nilai dari suatu besaran yang ingin diamati. Sebuah sistem pengukuran secara umum terdiri dari sensor, pengondisian sinyal, pemrosesan sinyal dan *display*.



Gambar 2. 5 Diagram Blok Sistem Pengukuran (Bentley, 2005)

Diagram blok pengukuran pada gambar 2.6 menjelaskan bahwa sensor merupakan alat yang bersentuhan langsung dengan variabel atau besaran fisis yang diamati. Proses selanjutnya yaitu pengondisian sinyal yang berfungsi untuk merubah sinyal menjadi bentuk yang sesuai untuk proses lebih lanjut. Proses selanjutnya setelah pengondisian sinyal yaitu pemrosesan sinyal yang bertujuan untuk mengubah sinyal yang terukur menjadi sinyal yang dapat ditampilkan sehingga sinyal tersebut dapat muncul di *display* untuk diamati (Bentley, 2005).

Sistem pengukuran memiliki karakteristik statik yaitu:

a. *Error*

Kesalahan dalam sistem pengukuran disebut *error*. *Error* terbagai menjadi dua, yaitu *error* yang muncul selama proses pengukuran dan *error* yang muncul akibat sinyal pengukuran dipengaruhi oleh gangguan (*noise*) selama pengiriman sinyal dari titik pengukuran ke penerima sinyal. Pengukuran yang ideal menunjukkan nilai yang terukur sama dengan nilai yang sebenarnya. Untuk menghitung *error* dapat digunakan persamaan 2.6 (Bentley, 2005).

$$Error = Nilai\ Terukur - Nilai\ Sebenarnya \quad (2.6)$$

b. *Linearitas*

Sebuah instrumen dikatakan linear jika hubungan nilai Input dan output berada pada garis lurus. Garis lurus ideal menghubungkan titik pada nilai minimum A(I min, O min) menuju titik maksimum B(I max, O max) (Bentley, 2005). Garis lurus ideal dinyatakan dalam persamaan 2.7:

$$O - O_{min} = \left[\frac{O_{max} - O_{min}}{I_{max} - I_{min}} \right] (I - I_{min}) \quad (2.7)$$

$$O_{ideal} = KI + a \quad (2.8)$$

dengan nilai K adalah kemiringan garis:

$$K = \frac{Omax - Omin}{Imax - Imin} \quad (2.9)$$

dan a adalah pembuat nol (zero bias):

$$a = Omin - KImin \quad (2.10)$$

c. Akurasi

Akurasi adalah kemampuan dari alat ukur untuk mendapat nilai *output* sedekat mungkin dengan nilai sebenarnya dari objek maupun variabel yang diukur. Nilai sebenarnya merupakan nilai yang berasal dari alat yang sudah terstandarisasi dan terkalibrasi. Semakin dekat nilai yang dihasilkan melalui alat dengan nilai yang dihasilkan oleh kalibrator, maka alat ukur tersebut semakin akurat (Bentley, 2005).

d. Presisi

Presisi menyatakan derajat kebebasan sebuah instrumen dari kesalahan acak. Sejumlah pembacaan yang diambil pada besaran input yang sama menggunakan instrumen dengan nilai presisi tinggi, maka sebaran pembacaan akan sangat kecil. Instrumen yang memiliki presisi tinggi dapat memiliki tingkat akurasi yang rendah (Bentley, 2005).

e. Toleransi

Toleransi menunjukkan besarnya persentase *error* maksimum yang didapatkan ketika melakukan sebuah pengukuran. Toleransi juga disebut sebagai standar deviasi yang berfungsi untuk mengetahui tingkat penyebaran data dari nilai rata-rata yang diambil setiap pengukuran (Bentley, 2005).

f. Range

Range Merupakan nilai batas maksimal dan minimal dari *input* dan *output*. *Range input* yaitu I_{max} atau input maksimum dan I_{min} atau input minimum sedangkan untuk *range output* yaitu

Omax atau *output* maksimum dan Omin atau *output* minimum (Bentley, 2005).

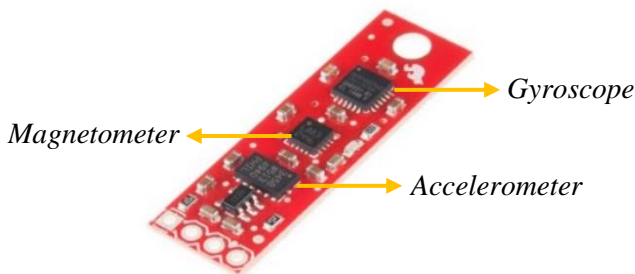
g. Sensitivitas

Sensitivitas merupakan sebuah perubahan yang dihasilkan dari hasil pembacaan alat ukur dengan memberikan sejumlah variasi pembacaan dalam pengujian atau pengukuran tersebut. Sensitivitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.11 (Bentley, 2005).

$$\text{Sensitivitas} = \frac{\text{output}}{\text{input}} \quad (2.11)$$

2.4 Sensor IMU 9DOF

Pengukuran ketinggian gelombang laut dapat dilakukan menggunakan sensor IMU (*Inertial measurement unit*). Sensor IMU merupakan sebuah komponen inersia yang digunakan untuk panduan sebuah sistem yang umumnya digunakan pada kendaraan darat, kendaraan laut dan roket kendali (Turjatiningsih, Arifin, & Aisjah, 2017). Sensor IMU bekerja dengan mendeteksi sebuah gerakan dengan menggunakan kombinasi sensor *accelerometer* yang digunakan untuk menentukan percepatan gravitasi, *gyroscopes* yang digunakan untuk menentukan percepatan sudut dan sensor *magnetometer* digunakan untuk *heading* atau menentukan arah mata angin (Syachjaya, 2018).



Gambar 2. 6 Sensor IMU 9DOF (SparkFun, 2019)

Sensor IMU 9DOF terdiri dari beberapa sensor, yaitu *3-axis accelerometer*, *3-axis gyroscope*, dan *3-axis magnetometer* (SparkFun, 2019), dimana sensor tersebut mempunyai spesifikasi yang dapat ditunjukkan dibawah ini (Analog Device, 2009) (Honeywell, 2009).

Tabel 2. 1 Spesifikasi Sensor IMU 9DOF

Parameter	Keterangan
<i>Input voltage</i>	2 to 3.3 volt
ADXCL345	<i>3 axis digital accelerometer</i>
ITG-3200	<i>3 axis digital Gyroscope</i>
HMC5883L	<i>3 axis digital Magnetometer</i>

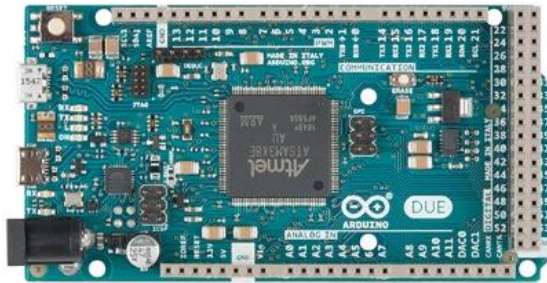
Pengukuran variabel ketinggian gelombang menggunakan *accelerometer* pada IMU 9DOF. Sensor *accelerometer* pada IMU 9DOF mengukur percepatan gravitasi pada posisi tertentu. Nilai *output* sensor *accelerometer* pada IMU 9DOF bergantung pada sensitivitas yang dipilih. Sensitivitas sensor terdiri dari beberapa jenis yaitu antara rentang $\pm 2g$ hingga $\pm 16g$ (Lihat lampiran H).

2.5 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah *chip* yang memiliki mikroprosesor di dalamnya, serta komponen pendukung lainnya seperti RAM, ROM, port I/O serta timer yang terintegrasi dalam satu *chip* atau IC (*integrated circuit*) yang berarti keseluruhan komponen utama sebuah komputer ditempatkan dalam sebuah *chip* tunggal. Prosesor atau mikroprosesor atau lebih dikenal sebagai CPU (*Central Processing Unit*) adalah sebuah *chip* yang berfungsi sebagai unit pemrosesan pusat dari suatu komputer. Performa konfigurasi CPU dengan komponen eksternalnya jauh lebih baik daripada sebuah mikrokontroler namun mikrokontroler dapat menjadi pilihan utama, terutama untuk aplikasi yang mempertimbangkan ukuran dan harga serta *portability* (kemudahan untuk dibawa).

Mikrokontroler Arduino Due memiliki 512 KB *flash memory* dan 96 KB SRAM, serta dapat berfungsi atau bekerja

apabila telah terisi oleh program. *Flash memory* digunakan untuk menyimpan perintah atau instruksi, sehingga dapat bekerja sendiri tanpa bantuan *chip* lainnya. Hal lain yang menguntungkan adalah sistem pemrograman lebih sederhana dan tidak memerlukan rangkaian yang rumit dan memiliki kemampuan untuk diprogram dan digunakan untuk tugas-tugas yang berorientasi kontrol. Spesifikasi Arduino Due dapat dilihat pada tabel 2.2.



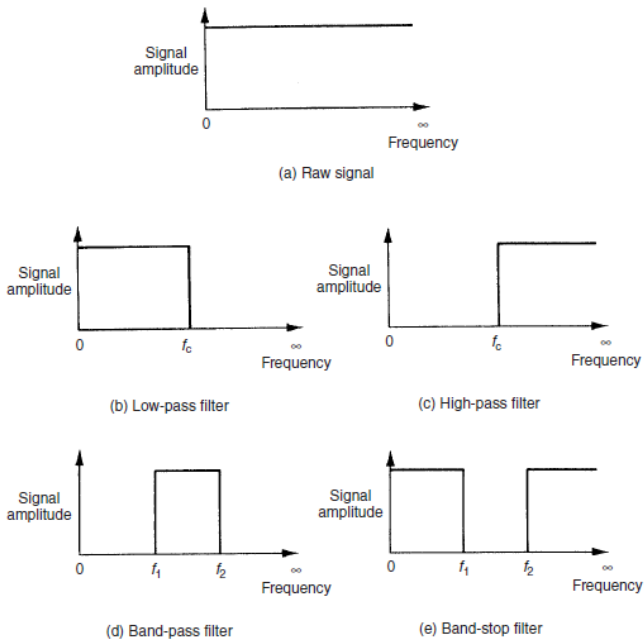
Gambar 2. 7 Arduino Due AT91SAM3X8E (Arduino store, 2019)

Tabel 2. 2 Spesifikasi Arduino Due (Electronics, 2019)

Komponen	Spesifikasi
Mikrokontroler	AT91SAM3X8E
Tegangan operasi	3.3 V
Tegangan operasi (disarankan)	7 - 12 V
Tegangan masukan	6 – 20 V
Digital I/O Pin	54 (12 PWM output)
Analog input pins	12
Analog output pins	2
Arus DC per I/O pin	130 mA
Arus DC untuk 3.3V pin	800 mA
Arus DC untuk 5V pin	800 mA
Flash memory	512 KB
SRAM	96 KB
Clock Speed	16 Hz

2.6 Signal Filtering

Filter merupakan rangkaian yang dirancang untuk meloloskan suatu pita frekuensi tertentu dan menghilangkan pita frekuensi yang lain. Istilah lain dari *filter* adalah rangkaian yang dapat memilih frekuensi agar dapat meloloskan frekuensi yang diinginkan dan menahan atau membuang frekuensi yang tidak diinginkan. *Signal filtering* atau proses *filter* pada sinyal berfungsi untuk meningkatkan kualitas pembacaan dari sinyal pada keluaran sistem pengukuran dengan cara menghilangkan *noise* dari sinyal pengukuran yang disebabkan oleh desain dari sistem pengukuran. Pita frekuensi yang dihilangkan dalam *signal filtering* dapat berupa *low-frequency*, *high-frequency*, pada keduanya atau pada bagian tengah spektrum. *Filter* yang digunakan untuk setiap operasi ini disebut dengan *low-pass filter*, *high pass filter*, *band pass filter* dan *band-stop filter* yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Proses *Signal Filtering* (Morris, 2011)

Low-pass filter yaitu *filter* yang berfungsi melewatkan sinyal dengan frekuensi rendah dibawah frekuensi *cut-off*, sinyal dengan frekuensi diatas frekuensi *cut-off* akan ditahan. *High-pass filter* merupakan *filter* yang berfungsi melewatkan sinyal dengan frekuensi tinggi dan menahan atau meredam sinyal dengan frekuensi rendah atau frekuensi dibawah frekuensi *cut-off*. *Band-pass filter* yaitu *filter* yang melewatkan sinyal dengan frekuensi tertentu. *Band-stop filter* atau bisa juga disebut dengan *band reject filter* merupakan kebalikan dari band stop filter. *Frekuensi cut-off* merupakan frekuensi yang menjadi batas dalam melewatkan dan menghalangi sinyal *input*. Contoh pada *low-pass filter* jika diketahui bahwa frekuensi *cut-off* adalah 1000 Hz maka filter hanya melewatkan sinyal dengan frekuensi berada di rentang 0 Hz-1000 Hz, dimana sinyal dengan frekuensi diatas 1000 Hz akan diredam atau ditahan.

2.7 *Kalman Filter*

Kalman filter adalah suatu metode estimasi terhadap suatu keadaan dari suatu hasil pengukuran yang terdapat *noise*. *Kalman filter* menggunakan mekanisme umpan balik dalam melakukan estimasi. *Kalman filter* akan mengestimasi nilai pengukuran dari suatu proses kemudian membandingkannya dengan nilai hasil pengukuran sensor yang biasanya mengandung *noise*. Algoritma *Kalman Filter* terdiri dari 2 tahap, yaitu tahap prediksi atau *time update* dan kemudian dilanjutkan dengan tahap koreksi atau *measurement update* (Gozali, Aisjah, & Apriliani, 2013).

Tahap prediksi atau *time update* bertujuan untuk mengestimasi nilai pengukuran selanjutnya dan *error kovarian* yang nantinya akan digunakan sebagai acuan pada tahap koreksi atau *measurement update*. Tahap koreksi atau *measurement update* bertujuan untuk membandingkan nilai hasil estimasi pada tahap koreksi dengan nilai hasil pengukuran sensor sehingga didapatkan hasil yang lebih baik. Proses membandingkan nilai estimasi hasil *time update* dengan nilai hasil pengukuran sensor dilakukan dengan *kalman gain*. Satu siklus selesai, kemudian siklus kembali berulang dimana nilai pengukuran hasil koreksi

measurement update digunakan untuk memprediksi nilai pengukuran dan error kovarian pada persamaan *time update* yang baru. Begitu seterusnya siklus berulang hingga hingga pengukuran berakhir (Yuliani & Saputra, 2016).

Algoritma Kalman Filter terdiri dari 2 tahap, yaitu tahap prediksi atau *time update* dan kemudian dilanjutkan dengan tahap koreksi atau *measurement update*. Setiap tahapan pada kalman filter terdiri dari beberapa persamaan, yaitu:

a. Persamaan *Time Update*

Persamaan *time update* berfungsi untuk mengestimasi *state* dan *error* kovarian. Persamaan *time update* adalah sebagai berikut:

$$\hat{X}_k = A \times X_{k-1} + B \times U \quad (2.12)$$

$$\hat{P}_k = A \times P_{k-1} \times A^t + Q \quad (2.13)$$

b. Persamaan *Measurement Update*

Persamaan *measurement update* berfungsi untuk menentukan kalman gain dan melakukan koreksi pada nilai hasil pengukuran dan nilai *error* kovarian yang sebelumnya telah diestimasi pada proses *time update*. Persamaan *measurement update* adalah sebagai berikut:

$$K = \frac{\hat{P}_k \times H^t}{H \times \hat{P}_k \times H^t + R} \quad (2.14)$$

$$X_k = \hat{X}_k + K \times (\text{measurement} - H \times \hat{X}_k) \quad (2.15)$$

$$P_k = \hat{P}_k - K \times H \times \hat{P}_k \quad (2.16)$$

2.8 Wavelet Transform Filter

Wavelet Transform Filter merupakan *filter* yang sangat baik digunakan pada pemrosesan sinyal, kompresi gambar, dan grafik komputer. Berbeda dengan *Fourier Transform* yang hanya cocok untuk sinyal *stationari* (sinyal yang informasi frekuensinya tidak berubah menurut waktu), *Wavelet Transform* dapat

merepresentasikan informasi waktu dan frekuensi suatu sinyal dengan baik. *Wavelet Transform* mampu memberikan informasi yang lebih baik dan detail mengenai *time-scale* jika dibandingkan dengan *short time fourier transform* (STFT), yang merupakan pengembangan dari *Fourier Transform*. Hal ini karena *Wavelet Transform* menggunakan jendela modulasi yang fleksibel sedangkan STFT menggunakan jendela modulasi yang tetap. Jendela yang sempit menyebabkan resolusi frekuensi yang buruk, dan jendela yang lebar akan menyebabkan resolusi waktu yang buruk (Baleanu, 2012) (Rakhmat Kurniawan. R & Sriani). *Wavelet transform* sudah banyak digunakan dalam penelitian, diantaranya sebagai *signal filtering*, *data compression*, *smoothing and image denoising*, dan *Fingerprint Storing* (Sifuzzaman, Islam, & Ali, 2009).

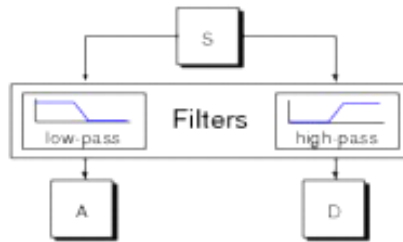
Wavelet Transform dibagi menjadi 2 jenis, yaitu sebagai berikut :

a. *Continous Wavelet Transform*

Cara kerja *Continous Wavelet Transform* adalah dengan menghitung konvolusi sebuah sinyal dengan sebuah jendela modulasi pada setiap waktu dengan setiap skala yang diinginkan. Jendela modulasi yang mempunyai skala fleksibel inilah yang biasa disebut induk *wavelet* atau fungsi dasar *wavelet*.

b. *Discreate Wavelet Transform*

Cara kerja *Discreate Wavelet Transform* yaitu sinyal pertama-tama dilewatkan pada rangkain *filter high-pass* dan *low-pass*, kemudian setengah dari masing-masing keluaran diambil sebagai *sample* melalui operasi *sub-sampling*. Proses ini disebut sebagai proses dekomposisi satu tingkat. Keluaran dari *filter low-pass* digunakan sebagai masukan di proses dekomposisi tingkat berikutnya. Proses ini diulang sampai tingkat proses dekomposisi yang diinginkan. Gabungan dari keluaran-keluaran *filter high-pass* dan satu keluaran *filter low-pass* yang terakhir, disebut sebagai koefisien wavelet, yang berisi informasi sinyal hasil transformasi yang telah terkompresi. Penelitian pada tugas akhir ini akan menggunakan *Discreate Wavelet Transform* sebagai algoritma *filter*.



Gambar 2. 9 Proses *Filter* pada *Discreate Transform Filter*

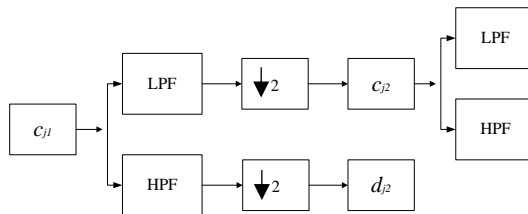
Tahapan pertama dalam operasi *Discreate Wavelet Transform* (DWT) adalah tahap dekomposisi. Dekomposisi merupakan proses memecah suatu sinyal menjadi beberapa komponen. Operasi dasar pada dekomposisi yaitu *filtering* dan *downsampling*. Proses *filtering* dilakukan dengan melewati sinyal kedalam 2 *filterisasi* DWT yaitu *high-pass filter* (HPF) dan *low-pass filter* (LPF), dimana HPF digunakan untuk menganalisa sinyal dengan frekuensi tinggi dan LPF digunakan untuk menganalisa sinyal dengan frekuensi rendah. Analisis terhadap frekuensi dilakukan dengan menggunakan resolusi yang dihasilkan setelah sinyal melewati *filterisasi*. Analisis frekuensi yang berbeda dengan menggunakan resolusi yang berbeda inilah yang disebut dengan *multi-resolution analysis*. Secara matematis proses dekomposisi DWT ditunjukkan pada persamaan berikut (Sulistyaningrum, 2017):

$$c_j[k] = \sum_m h[m - 2k]c_{j-1}[m] \quad (2.17)$$

$$d_j[k] = \sum_m g[m - 2k]c_{j-1}[m] \quad (2.18)$$

$c_j[k]$ menunjukkan koefisien aproksimasi atau disebut juga koefisien fungsi skala yang menunjukkan frekuensi rendah dari sinyal. $d_j[k]$ menunjukkan koefisien detail atau disebut juga

koefisien fungsi wavelet yang menunjukkan frekuensi tinggi dari sinyal. Proses dekomposisi dapat dilakukan melalui satu atau lebih tingkatan tergantung operasi yang diinginkan. Untuk dekomposisi lebih dari satu tingkat, persamaan 2.17 dan 2.18 dapat dilakukan pada setiap tingkatan. Dekomposisi pada tingkat berikutnya menggunakan koefisien aproksimasi sebagai sinyal input (Sulistyaningrum, 2017).



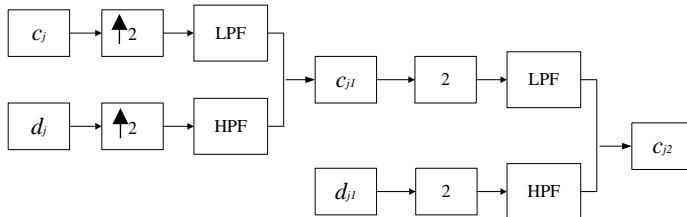
Gambar 2. 10 Proses Dekomposisi *Wavelet Transform*

Kumpulan koefisien detail dan satu koefisien aproksimasi pada dekomposisi tingkat terakhir selanjutnya disebut dengan koefisien DWT. Koefisien DWT yang didapatkan dari proses dekomposisi selanjutnya akan direkonstruksi dengan cara menggabungkan semua komponen detail dengan komponen aproksimasi sehingga membentuk sinyal asal. Proses rekonstruksi koefisien DWT menjadi sinyal asal dilakukan dengan *Inverse Discrete Wavelet Transform* (IDWT). Secara matematis proses rekonstruksi koefisien wavelet menjadi sinyal asli dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut (Sulistyaningrum, 2017):

$$c_{j-1}[k] = \sum_m c_j[m]h[k - 2m] + \sum_m d_j[m]g[k - 2m] \quad (2.19)$$

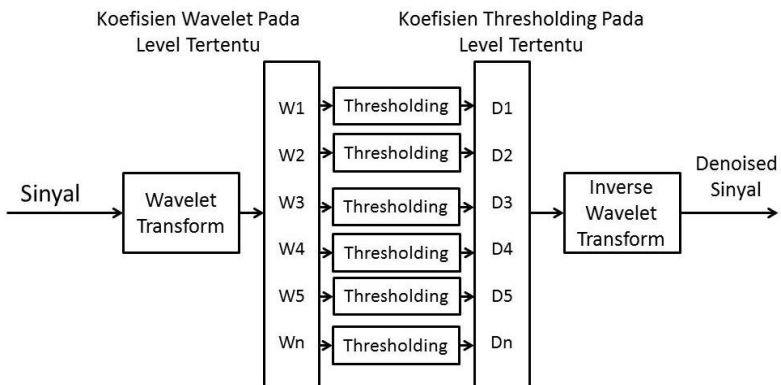
Proses rekonstruksi merupakan kebalikan dari dekomposisi. DWT menganalisis sinyal berdasarkan frekuensi melalui proses dekomposisi sinyal sehingga menghasilkan koefisien aproksimasi dan koefisien detail. DWT bekerja pada dua kumpulan fungsi yang

disebut fungsi penskalaan dan fungsi *wavelet* yang masing-masing berhubungan dengan *low-pass filter* (Sulistyaningrum, 2017).



Gambar 2. 11 Proses Rekonstruksi *Wavelet Transform*

Proses *denoising* menggunakan *wavelet transform* ditunjukkan pada Gambar 2.12. Proses *denoising* diawali dengan merubah sinyal dengan menggunakan *wavelet transform* menjadi domain *time-frekuensi*. Proses ini disebut dengan dekomposisi. Proses selanjutnya yaitu analisa sifat sinyal, *noise* pada sinyal, dan parameter-parameter lainnya. Proses selanjutnya yaitu melewati sinyal pada rangkaian *filter high-pass* dan *low-pass* sehingga didapatkan nilai koefisien dari sinyal yang merepresentasikan sifat sinyal (Syachjaya, 2018).



Gambar 2. 12 *Signal Denoising* menggunakan *Wavelet Transform* (Syachjaya, 2018)

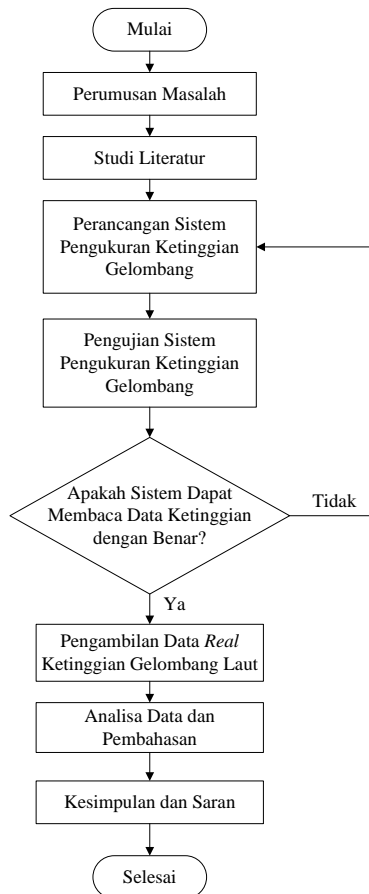
Koefisien *wavelet* yang berisi informasi sinyal kemudian dianalisa untuk menghilangkan koefisien yang mengandung *noise* pada sinyal dengan menggunakan metode *thresholding*. Metode *thresholding* digunakan untuk menghilangkan sinyal yang mengandung *noise* dan menjaga sinyal yang terbebas dari *noise* (Syachjaya, 2018).

Proses selanjutnya setelah dilakukan *thresholding* pada koefisien *wavelet* yaitu melakukan rekonstruksi sinyal. Koefisien *wavelet* yang telah melewati proses *thresholding* disebut koefisien *thresholding*. Koefisien *thresholding* ini kemudian direkonstruksi dengan *inverse wavelet transform* sehingga dihasilkan sinyal murni yang terbebas dari *noise* (Syachjaya, 2018) (Syachjaya, 2018).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Metodologi atau langkah-langkah yang digunakan untuk menyelesaikan Tugas Akhir digambarkan dalam *flowchart* seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Perumusan Masalah

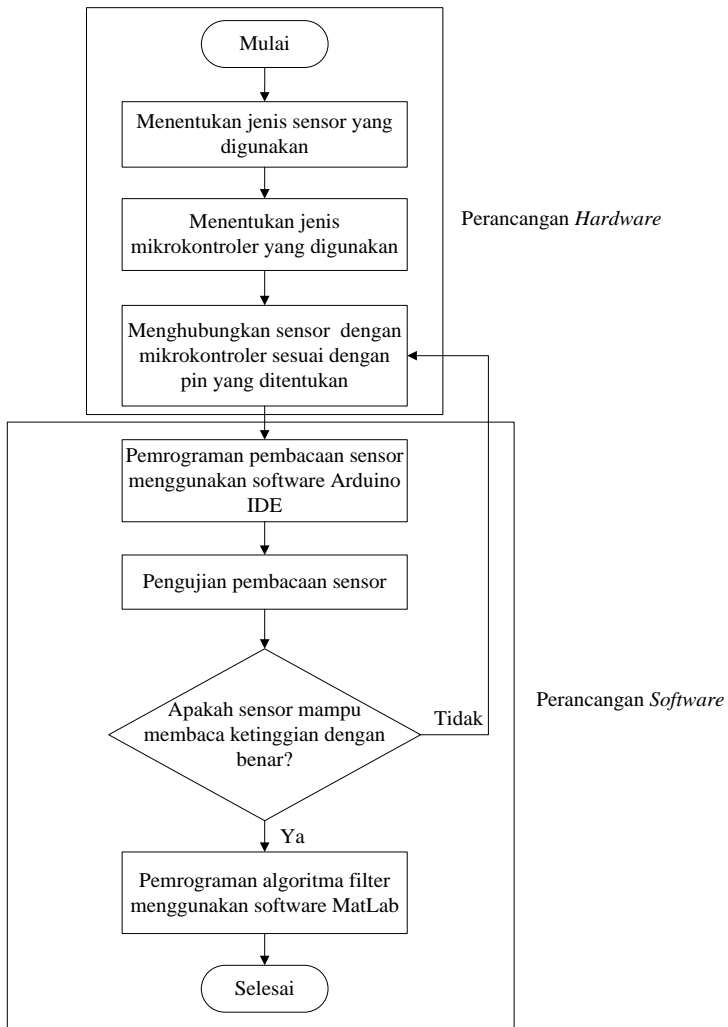
Penelitian tugas akhir didahului dengan identifikasi masalah apa yang ingin dijawab atau diselesaikan. Tugas akhir ini memiliki 2 cakupan masalah. Pertama yaitu hasil perancangan sistem pengukuran yang telah dibuat pada tugas akhir ini apakah mampu mengukur ketinggian gelombang laut ditempat uji. Kedua adalah penambahan algoritma *filter* pada sistem pengukuran apakah mampu meningkatkan akurasi pembacaan sensor ketinggian gelombang laut.

3.3 Studi Literatur

Studi Literatur bertujuan untuk mencari referensi yang digunakan sebagai dasar dalam penyusunan tugas akhir ini. Referensi atau literatur yang sesuai dengan topik penelitian sangat diperlukan agar memudahkan proses penelitian. Pendalaman materi ini digunakan untuk materi *buoyweather*, gelombang laut, sistem pengukuran, sensor IMU 9DOF, mikrokontroler arduino due, dan *filter*. Jurnal-jurnal penelitian yang terkait dengan rancang bangun sistem pengukuran gelombang laut juga turut dipelajari untuk memperkuat dasar penelitian.

3.4 Perancangan Sistem

Perancangan sistem meliputi perancangan *hardware* dan perancangan *software*. Perancangan *hardware* merupakan integrasi antara sensor pengukur ketinggian gelombang dengan mikrokontroler. Perancangan *software* terdiri dari pemrograman pembacaan sensor menggunakan *software* Arduino IDE dan perancangan algoritma filter menggunakan *software* MATLAB. Pemrograman pada Arduino IDE dilakukan agar sensor yang terpasang dapat bekerja sesuai dengan fungsinya yaitu dapat membaca ketinggian. Langkah selanjutnya jika hasil pembacaan sensor sudah sesuai yaitu perancangan algoritma *filter* menggunakan *software* MATLAB. Algoritma *filter* ditambahkan dalam sistem untuk mereduksi *error* hasil pengukuran. Diagram alir perancangan sistem dapat dilihat pada gambar 3.2.

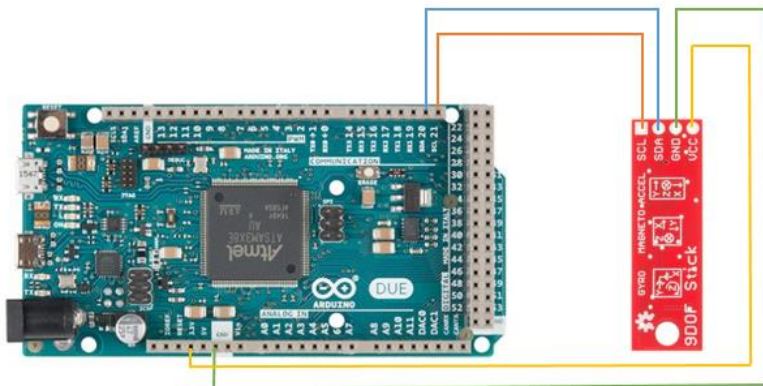


Gambar 3. 2 Diagram Alir Perancangan Sistem

3.4.1 Perancangan *Hardware*

Perancangan *hardware* merupakan integrasi antara sensor pengukur ketinggian gelombang dengan mikrokontroler. Sensor yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor IMU 9DOF

dengan mikrokontroler yang digunakan yaitu Arduino Due. Sensor IMU 9DOF terdiri dari 3 *chip* sensor, yaitu *accelerometer*, *gyroscope*, dan *magnetometer*. Sensor yang digunakan pada pengukuran variabel ketinggian gelombang adalah *accelerometer* IMU9DOF. IMU 9DOF menggunakan rangkaian I2C yang menghubungkan pin SDA, SCL, VCC dan GND pada sensor menuju mikrokontroler Arduino Due. Keempat pin dihubungkan seperti gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Wiring Sensor Ketinggian Gelombang

Gambar 3.3 menunjukkan rangkaian sensor IMU 9DOF terhadap Arduino Due yang digunakan dalam penelitian ini. Pin VCC pada IMU 9DOF dihubungkan dengan sumber 3,3 Volt pada Arduino Due, pin GND pada IMU 9DOF dihubungkan dengan pin GND pada Arduino Due, pin SDA pada IMU 9DOF dihubungkan pada pin SDA/20 Arduino Due dan pin SCL pada IMU 9DOF dihubungkan pada pin SCL/21 Arduino Due.

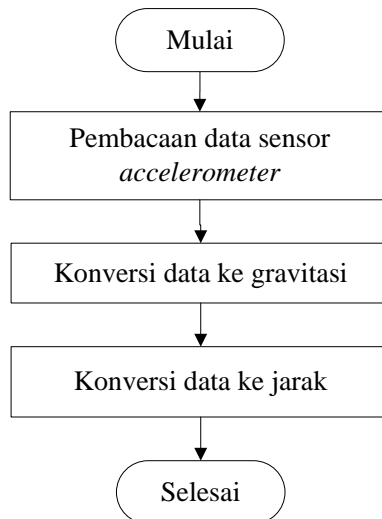
3.4.2 Perancangan Software

Perancangan *software* terdiri dari pemrograman pembacaan sensor menggunakan *software* Arduino IDE dan perancangan algoritma *filter* menggunakan *software* MATLAB. Pemrograman pada Arduino IDE dilakukan agar sensor *accelerometer* IMU

9DOF yang terpasang dapat bekerja sesuai dengan fungsinya yaitu dapat membaca ketinggian. Langkah selanjutnya jika hasil pembacaan sensor sudah sesuai yaitu perancangan algoritma *filter* menggunakan *software* MATLAB. Algoritma *filter* yang ditambahkan dalam sistem bertujuan untuk mereduksi error hasil pengukuran.

a. Pemrograman Pembacaan Sensor

Pemrograman pembacaan sensor *accelerometer* IMU 9DOF dilakukan menggunakan *software* Arduino IDE. Pemrograman dilakukan agar sensor *accelerometer* dapat bekerja sesuai dengan fungsinya yaitu dapat membaca ketinggian. Gambar 3.4 menunjukkan diagram alir pemrograman pembacaan sensor.



Gambar 3. 4 Diagram Alir Pemrograman Pembacaan Sensor

Langkah selanjutnya setelah pemrograman pembacaan sensor selesai dilakukan yaitu pengecekan hasil pengambilan data pada *serial monitor* Arduino IDE. Hasil pembacaan sensor yang ditampilkan pada Arduino IDE kemudian diamati, apabila terjadi *error* atau hasil tidak sesuai maka dilakukan pengecekan ulang

pada program maupun *wiring* perancangan sensor, apabila hasil pembacaan sensor sudah sesuai maka dilakukan perancangan algoritma *filter*. *Source code* pembacaan sensor dapat dilihat pada lampiran A.

Accelerometer pada sensor IMU 9DOF memiliki output data berupa tegangan. *Output* tegangan pada *accelerometer* akan dirubah oleh rangkaian pada sensor IMU9DOF menjadi *output* digital 8 bit (Turjatiningsih, Arifin, & Aisjah, 2017).

Nilai *output* dari sensor IMU 9DOF bergantung pada sensitivitas yang dipilih, yang dapat bervariasi dari $\pm 2g$ hingga $\pm 16g$. Sensitivitas *default* adalah $\pm 2g$ oleh karena itu nilai *output* digital sensor perlu dibagi dengan 256 untuk mendapatkan nilai $\pm 1g$ (Syachjaya, 2018). Sensitivitas sensor yang digunakan disesuaikan dengan penerapan sensor *accelerometer* IMU 9DOF. Penggunaan sensor pada percepatan yang lebih tinggi, contohnya pada gerakan tiba-tiba dan guncangan dapat menerapkan *range* sensitivitas yang lebih tinggi (Dejan, 2019).

Besaran pengukuran percepatan adalah m/s^2 , namun sensor *accelerometer* menggunakan besaran g atau gravitasi sebagai besaran *output* pengukuran. *Output accelerometer* yang memiliki satuan g kemudian dikonversi sehingga didapatkan *output accelerometer* dalam satuan m/s^2 . Konversi satuan g atau gravitasi menjadi m/s^2 dapat dilakukan menggunakan persamaan 2.1-2.3.

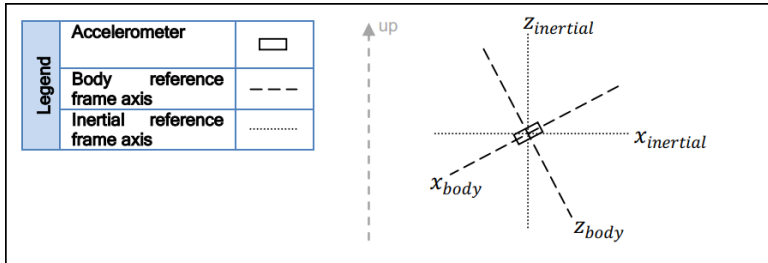
$$IGF = 9.780327 (1 + 0.0053024\sin^2\Phi - 0.0000058\sin^2 2\Phi) \quad (3.1)$$

$$FAC = -3.086 \times 10^{-6} \times h \quad (3.2)$$

$$g = IGF + FAC \quad (3.3)$$

Tinggi gelombang merupakan jarak vertikal antara lembah dan puncak gelombang. Pengukuran ketinggian gelombang menggunakan *accelerometer* memanfaatkan gaya vertikal yang mempengaruhi *accelerometer*. Sensor *accelerometer* memiliki 3 *degrees of freedom* yaitu sumbu x, sumbu y, dan sumbu z. Pergerakan gelombang laut dapat menyebabkan perubahan

pembacaan respon sensor pada sumbu orientasi dari sensor *accelerometer* seperti ditunjukkan pada gambar 3.5 (Johan Kuperus, Havinga, Chatterjea, & Bosch, 2014).



Gambar 3.5 Perbandingan Antara *Body Reference Frame* dengan *Inertial References Frame*

Gambar 3.5 menunjukkan perubahan respon sensor dari sumbu orientasi yang disebabkan perubahan gerak gelombang laut. Persamaan yang digunakan untuk menghitung sumbu orientasi accelerometer yaitu (Johan Kuperus, Havinga, Chatterjea, & Bosch, 2014):

$$A_{mag} = \sqrt{ax^2 + ay^2 + az^2} \quad (3.4)$$

Persamaan (3.4) merupakan persamaan yang berfungsi untuk mengukur respon sensor ketinggian gelombang laut secara langsung menggunakan sumbu orientasi pada sensor *accelerometer*. Sumbu orientasi sensor *accelerometer* dapat digunakan untuk mengukur respon percepatan vertikal gelombang laut dengan persamaan sebagai berikut (Johan Kuperus, Havinga, Chatterjea, & Bosch, 2014):

$$Aa = A_{mag} - g \quad (3.5)$$

$$Aa = \sqrt{ax^2 + ay^2 + az^2} - g \quad (3.6)$$

Output accelerometer IMU 9DOF yang berupa percepatan gravitasi vertikal (m/s^2) selanjutnya dilakukan *double integral* sehingga didapatkan hasil berupa jarak atau perpindahan (m).

b. Pemrograman Algoritma Filter

Perancangan algoritma *filter* dilakukan setelah sensor yang dirancang mampu membaca data ketinggian dengan benar. Algoritma *filter* yang digunakan pada penelitian ini adalah kalman *filter* dan wavelet *filter*. Algoritma *filter* dibuat dalam program MATLAB pada bentuk m-file.

Kalman filter digunakan untuk menghilangkan *noise* atau *error* dari hasil pembacaan sensor untuk mendapat data yang lebih baik. Algoritma *kalman filter* terdiri dari 2 tahap, yaitu *time update* dan *measurement update*. Tahap pertama dalam pemrograman *kalman filter* adalah memodelkan persamaan *time update* menggunakan persamaan 2.12 dan 2.13. Langkah pertama dalam *time update* adalah melakukan estimasi nilai pengukuran menggunakan persamaan 2.12.

Persamaan 2.12 berfungsi untuk mengestimasi nilai pengukuran. A merupakan matriks keadaan, B merupakan matriks kendali, dan U merupakan input kontrol. Matriks B bernilai nol karena sistem pada penelitian ini bukanlah sistem pengendalian melainkan sistem pengukuran jadi tidak ada pengendalian pada sistem sehingga matriks kendali bernilai nol. Sama seperti matriks B, U bernilai nol karena tidak ada input kontrol pada sistem pengukuran. Matriks A bernilai 1 karena keluaran sensor tidak mengalami perubahan yang cepat. \hat{X}_k adalah hasil estimasi nilai pengukuran.

Langkah selanjutnya setelah melakukan estimasi pada nilai pengukuran adalah melakukan estimasi nilai *error* kovarian menggunakan persamaan 2.13.

Persamaan 2.13 pada *time update* bertujuan untuk mengestimasi nilai *error* kovarian. Kovarian digunakan untuk mengukur besarnya hubungan antar variabel yang menunjukkan seberapa besar perubahan dari dua variabel acak secara bersamaan. Matriks kovarian biasanya digunakan untuk mengetahui

tingkat ketelitian variabel yang dicari. Matriks A bernilai sama seperti matriks A pada persamaan 2.12. Q merupakan *error* proses kovarian yang didapat dari proses *tunning* atau menggunakan referensi dari penelitian sebelumnya. Referensi yang diperoleh menunjukkan nilai Q dapat divariasikan pada 10^{-3} , 10^{-5} , dan 10^{-6} (Tahtaw, 2018). \hat{P}_k adalah hasil estimasi error kovarian. Hasil yang didapat dari persamaan *time update* adalah prediksi nilai pengukuran (\hat{X}_k) dan prediksi nilai *error* kovarian (\hat{P}_k).

Tahap *measurement update* dilakukan jika tahap *time update* telah selesai dilakukan. Tahap *measurement update* terdiri dari 3 persamaan. Persamaan *measurement update* dapat dimodelkan menggunakan persamaan 2.14, 2.15, dan 2.16. Persamaan 2.14 berfungsi untuk menghitung *kalman gain*.

Matriks H merupakan turunan dari suatu fungsi yang berfungsi untuk melinierkan sistem. Matriks H bernilai 1 karena sistem pengukuran dalam penelitian ini merupakan sistem linier jadi tidak perlu dilakukan linierisasi. R merupakan *error* kovarian pengukuran. Nilai R diperoleh dari kovarian data pengukuran sensor yang sebelumnya telah diambil kemudian diolah datanya sehingga didapatkan nilai kovarian data pengukuran. Nilai R yang didapat adalah 0.008646. \hat{P}_k merupakan estimasi *error* kovarian hasil keluaran dari *time update* yang digunakan sebagai input untuk menghitung *kalman gain*.

Persamaan 2.15 merupakan persamaan pada *measurement update* yang berfungsi untuk melakukan koreksi dengan membandingkan nilai pengukurann estimasi pada *time update* dengan nilai hasil pengukuran dengan menggunakan *kalman gain*. X_k merupakan hasil akhir kalman filter, yaitu nilai pengukuran yang sudah terbebas dari noise. *Measurement* merupakan data hasil pengukuran.

Persamaan 2.16 merupakan persamaan pada *measurement update* yang berfungsi untuk melakukan koreksi pada error kovarian. \hat{P}_k merupakan nilai koreksi *error* kovarian. Nilai \hat{P}_k dan X_k hasil dari *measurement update* selanjutnya digunakan pada tahap *time update* untuk mengestimasi *state* selanjutnya. Siklus akan terus berulang hingga pengukuran selesai dilakukan.

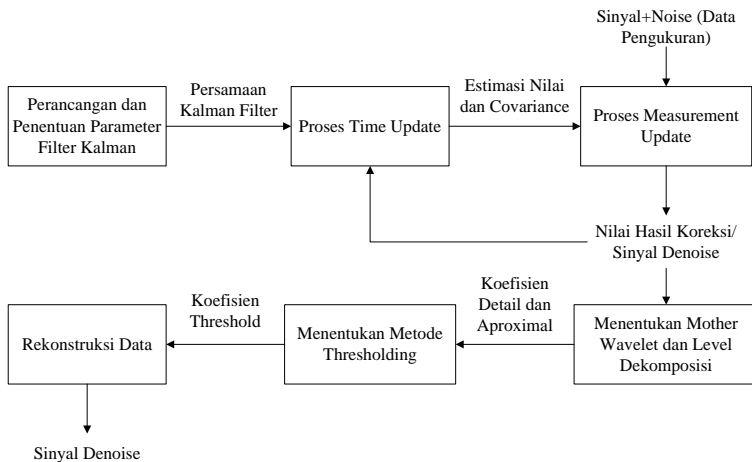
Data hasil *filter* dengan menggunakan *kalman filter* selanjutnya difilter kembali dengan menggunakan *wavelet filter*. Penggunaan 2 algoritma *filter* bertujuan untuk mereduksi *error* dengan lebih baik. Tahap pertama dari perancangan algoritma *wavelet filter* adalah dengan mengkarakterisasi *noise* yang didapatkan berdasarkan hasil pengukuran dan kalibrasi.

Proses selanjutnya adalah menentukan jenis *mother wavelet* yang digunakan. *Mother wavelet* berfungsi untuk mengkonversi data menjadi koefisien dan menganalisa setiap koefisien pada resolusi yang sesuai terhadap skalanya. Masing-masing *mother wavelet* memiliki prinsip kerja, kelebihan dan kekurangan. Terdapat beberapa *mother wavelet* seperti Biorthogonal, Coifflet, Daubechies, Discrete Meyer, Haar , Reverse Biorthogonal dan Symlet. (Ayush dogra, 2016), (Uyulan, 2016), (Paidya, 2015). Penelitian ini menggunakan *Daubechies* sebagai *mother wavelet* (Syachjaya, 2018).

Proses selanjutnya adalah menentukan Tingkat dekomposisi yang merupakan salah satu hal yang berpengaruh dalam proses *denoising* sinyal menggunakan *wavelet transform*. Tingkat dekomposisi yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebesar 5 (Ergen, 2013), (Syachjaya, 2018).

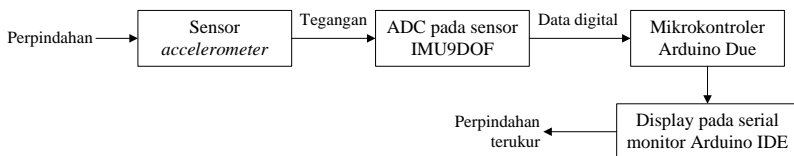
Proses selanjutnya setelah menentukan tingkat dekomposisi adalah menentukan *rule* dan metode *thresholding* yang berfungsi untuk memfilter koefisien sinyal agar dapat mengurangi *noise*. Terdapat 4 macam *rule thresholding* yaitu, Rigrisure, Sqtwolog, Heursure dan Minimaxi (Ergen, 2013), (R Bouchouareb, 2014) dan 2 macam metode *thresholding* yaitu *Soft* dan *Hard Thresholding* (Mitra DJ, 2014), (S S Joshi, 2008). Pada penelitian ini digunakan metode *Heursure* pada proses *rule thresholding* dan *soft thresholding* pada metode *thresholding* (Syachjaya, 2018).

Kombinasi *kalman filter* dan *wavelet filter* dalam sistem pengukuran ketinggian gelombang bertujuan untuk meningkatkan reduksi *error* hasil pembacaan sensor sehingga data hasil pembacaan sensor lebih akurat. Diagram alir perancangan algoritma *filter* ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Diagram Alir Perancangan Algoritma *Filter*

Berdasarkan perancangan *hardware* dan perancangan *software* yang telah dilakukan, diagram blok sistem pengukuran ketinggian gelombang seperti Gambar 3.6.



Gambar 3. 7 Diagram Blok Sistem

3.5 Pengujian Sistem

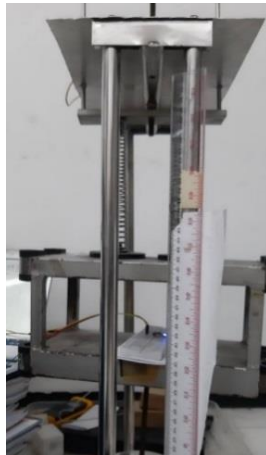
Pengujian sistem pengukuran ketinggian gelombang dilakukan 2 kali, yaitu pengujian skala lab dengan menggunakan sistem pegas dan pengujian menggunakan *wave simulator*.

3.5.1 Pengujian Skala Laboratorium

Pengujian skala laboratorium dilakukan dengan menggunakan sistem pegas yang terdapat di Laboratorium Vibrastik ITS. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi

simpangan pada sistem pegas sebagai pembacaan standard. Sistem pegas yang digunakan untuk pengujian ditunjukkan pada Gambar 3.8. Langkah pengujian simpangan adalah sebagai berikut:

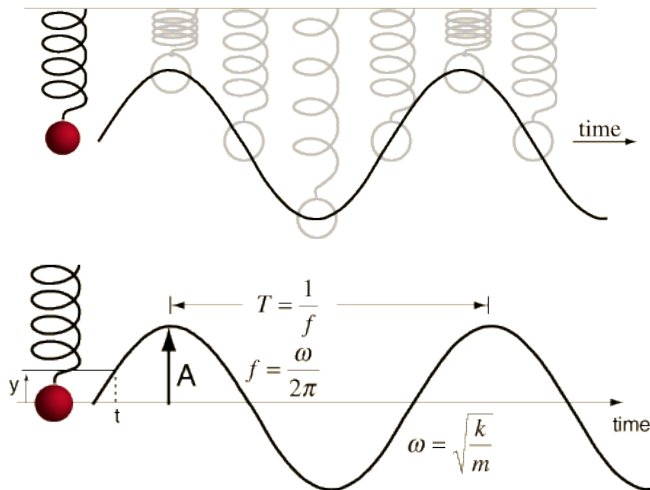
1. IMU 9DOF dan sistem pegas sebagai kalibrator disiapkan.
2. Penggaris disiapkan
3. Simpangan diukur pada simpangan 2, 4, 6, 8, dan 10 cm
4. Pengambilan data dilakukan dalam interval 0.1 detik. Interval 0.1 detik dipilih untuk memperkecil kemungkinan terjadinya *data loss* akibat *time delay* yang terlalu lama.
5. Simpangan yang terbaca oleh IMU 9DOF disimpan



Gambar 3. 8 Sistem Pegas

Gelombang laut adalah pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 (Wimala L. Dhanista, 2019). Gerakan berulang pada sistem pegas juga membentuk grafik sinusoidal jika digambarkan hubungan antara posisi terhadap waktu (Sandi, R.E, & Malinda, 2015). Grafik sinusoidal pada sistem pegas ditunjukkan pada Gambar 3.9. Gerak vertikal pada sistem pegas merupakan pendekatan dari gelombang air laut sebab kedua gelombang tersebut termasuk gelombang transversal sehingga untuk menghitung ketinggian

gelombang laut dapat dilakukan dengan melakukan pengujian pembacaan sensor menggunakan sistem pegas. Ketinggian gelombang air laut dapat dianalogikan sebagai jarak antara puncak dan lembah pada sistem pegas.



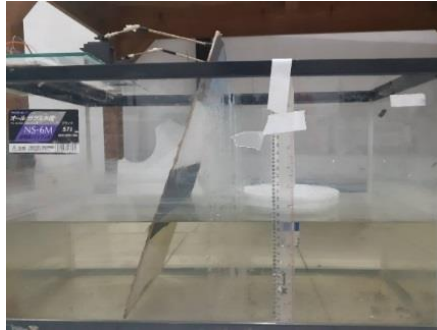
Gambar 3. 9 Gerak Sinusoidal pada Pegas (Frahm, 2019)

3.5.2 Pengujian Menggunakan Wave Simulator

Pengujian sensor ketinggian gelombang juga dilakukan dengan menggunakan *wave simulator*. Pengujian dengan *wave simulator* dilakukan untuk mengetahui apakah benar data yang terbaca oleh sensor merupakan data tinggi gelombang laut. Data hasil simpangan yang dibaca oleh sensor dibandingkan dengan ketinggian gelombang buatan pada sistem *wave simulator*. Langkah pengujian ketinggian gelombang adalah sebagai berikut:

1. IMU 9DOF dan sistem *wave simulator* sebagai validator disiapkan.
2. Tegangan motor servo ditentukan untuk ketinggian gelombang 2 mm, 4 mm, dan 5 mm dengan cara mengatur tegangan menggunakan *potentiometer*.

3. Pengambilan data dilakukan dalam interval 0.1 detik. Interval 0.1 detik dipilih untuk memperkecil kemungkinan terjadinya *data loss* akibat *time delay* yang terlalu lama.
4. Simpangan yang terbaca oleh IMU 9DOF disimpan.



Gambar 3. 10 *Wave Simulator*

3.6 Pengujian *Real* Ketinggian Gelombang Laut

Pengujian *real* dilakukan di laut kenjeran pada longitude 112.79° E dan latitude 7.28° S. Pengujian *real* sistem ketinggian gelombang laut dilakukan menggunakan *buoyweather type II*. Pengujian *real* dilakukan dengan mengintegrasikan semua sensor yang digunakan pada *monitoring* cuaca maritim menggunakan *buoyweather type II* dengan mikrokontroler. Langkah selanjutnya setelah mengintegrasikan semua sensor dengan mikrokontroler adalah integrasi sensor dengan media transmisi data agar data yang terbaca oleh sensor dapat tersimpan secara otomatis pada *database*. Data yang tersimpan pada *database* selanjutnya diolah menggunakan *filter* yang telah di program dengan software MATLAB sebelum digunakan untuk tahap prediksi. Pengolahan menggunakan *filter* bertujuan untuk mereduksi error hasil pengukuran sehingga hasil pengukuran menjadi lebih baik.

3.7 Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data dilakukan setelah sensor pengukur ketinggian gelombang selesai dirancang dan telah melalui tahap pengujian.

Data pengujian yang didapat kemudian diolah dengan menambahkan algoritma *filter* untuk mereduksi error hasil pengukuran. Data pengukuran sebelum dan sesudah ditambahkan algoritma *filter* kemudian dibandingkan untuk mengetahui bagaimana performansi *filter* terhadap reduksi error data hasil pengukuran. Data pengukuran yang telah ditambahkan algoritma *filter* juga dibandingkan dengan data penelitian sebelumnya untuk mengetahui performansi penambahan kombinasi 2 *filter* pada data hasil pengukuran.

3.8 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan merupakan jawaban dari rumusan masalah yang diangkat, apabila kesimpulan belum mampu menjawab rumusan masalah maka dimasukkan pada bagian saran sebagai acuan yang digunakan pada penelitian selanjutnya agar hasil penelitian selanjutnya lebih sempurna. Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini yaitu tentang kemampuan sensor dalam membaca tinggi gelombang serta mengetahui pengaruh penambahan kombinasi 2 *filter* pada hasil pengukuran sensor.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

Langkah selanjutnya setelah dilakukan perancangan sistem adalah pengujian sistem untuk membuktikan bahwa sistem dapat berfungsi dengan baik. Data hasil pengujian kemudian diolah dan dibandingkan dengan data hasil *filter* menggunakan *kalman filter* dan *wavelet filter* sehingga didapatkan performansi sensor sebelum dan sesudah diberikan *filter*.

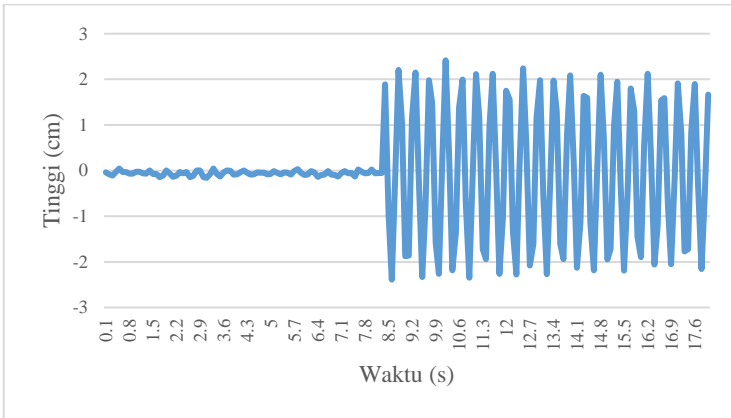
4.1.1. Data Pengujian Sensor Skala Laboratorium

Pengujian skala laboratorium dilakukan untuk mengetahui tingkat error pembacaan sensor. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah sensor mampu membaca data ketinggian dengan baik dan benar. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan sensor dengan alat ukur yang lebih standard, yaitu sistem pegas di Laboratorium Vibrastik Teknik Fisika ITS. Pengujian dilakukan dengan memberikan simpangan pada pegas sebagai alat standard dan hasil pembacaan data dari alat ukur sebagai data hasil pengujian. Simpangan yang diberikan pada pengujian kali ini yaitu 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm, dan 10 cm dengan 30 kali uji pada setiap simpangan (Turjatiningsih, Arifin, & Aisjah, 2017), (Halim & Ishak, 2014). Pengambilan data dilakukan dalam interval 0.1 detik. Interval 0.1 detik dipilih untuk memperkecil kemungkinan terjadinya *data loss* akibat *time delay* yang terlalu lama. Nilai simpangan pada alat ukur adalah amplitudo pertama dari hasil pembacaan yang didapat karena simpangan selanjutnya telah terpengaruh oleh redaman pegas. Selisih antara nilai simpangan dengan hasil pembacaan data dari sensor merupakan *error* pengukuran.

a. Pengujian Simpangan 2 cm

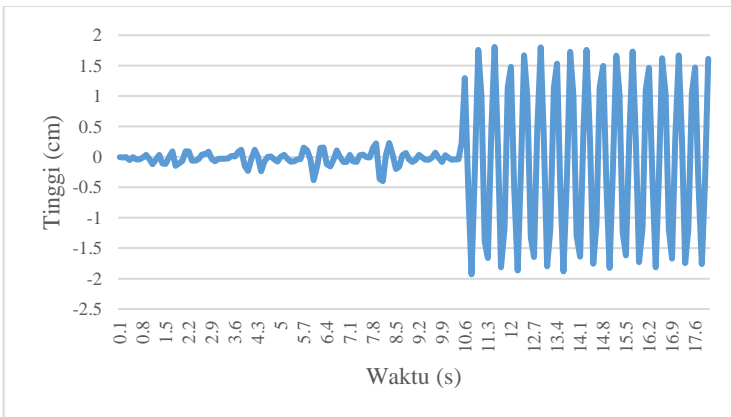
Pengujian dilakukan dengan memberikan simpangan standar sebesar 2 cm dengan melakukan 30 kali pengambilan data. Respon

pengujian sensor pada simpangan 2 cm uji ke-1 ditunjukkan pada Gambar 4.1. Hasil pembacaan sensor didapatkan sebesar 2.20 cm.



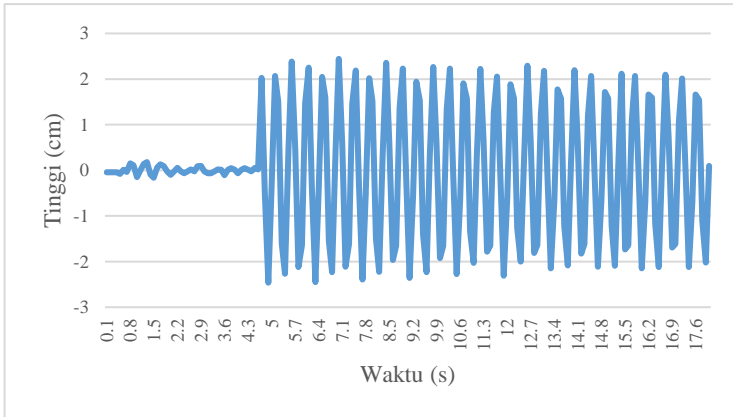
Gambar 4. 1 Respon Sensor Simpangan 2 cm Uji ke-1

Respon pengujian sensor pada simpangan 2 cm uji ke-2 ditunjukkan pada Gambar 4.2. Hasil pembacaan sensor didapatkan sebesar 1.76 cm.



Gambar 4. 2 Respon Sensor Simpangan 2 cm Uji ke-2

Respon pengujian sensor pada simpangan 2 cm uji ke-3 ditunjukkan pada Gambar 4.3. Hasil pembacaan sensor didapatkan sebesar 2.06 cm.



Gambar 4. 3 Respon Sensor Simpangan 2 cm Uji ke-3

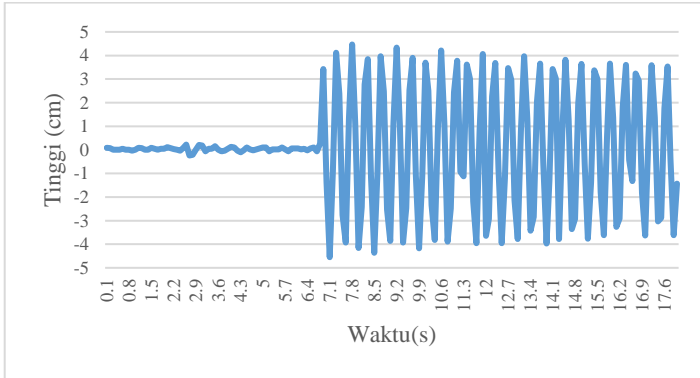
Tabel 4. 1 Hasil Pembacaan Simpangan 2 cm

Simpangan Standar (cm)	Simpangan Pembacaan Sensor (cm)	Error (cm)
2	2.20	0.20
2	1.76	0.24
2	2.07	0.07
2	2.19	0.19
2	2.32	0.32
2	1.98	0.02
2	1.91	0.09
Rata-rata	2.06	0.17

Hasil 30 kali pengujian sensor pada simpangan 2 cm ditunjukkan pada Tabel 4.1 (data lebih lengkap lihat Lampiran C). Rata-rata *error* pengukuran pada pengujian sensor dengan simpangan 2 cm adalah 0.16 cm.

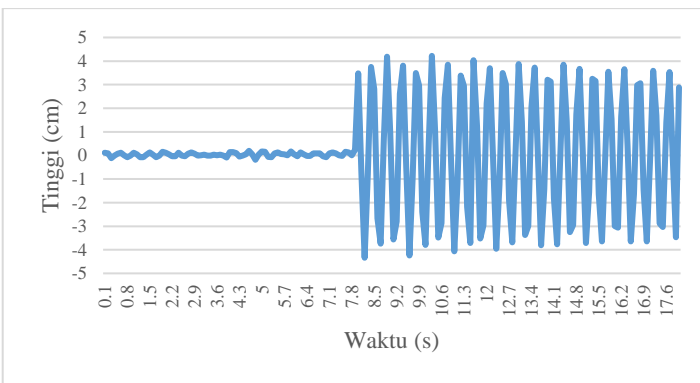
b. Pengujian Simpangan 4 cm

Pengujian dilakukan dengan memberikan simpangan standar sebesar 4 cm dengan melakukan 30 kali pengambilan data. Respon pengujian sensor pada simpangan 4 cm uji ke-1 ditunjukkan pada Gambar 4.4. Hasil pembacaan sensor adalah 4.12 cm.



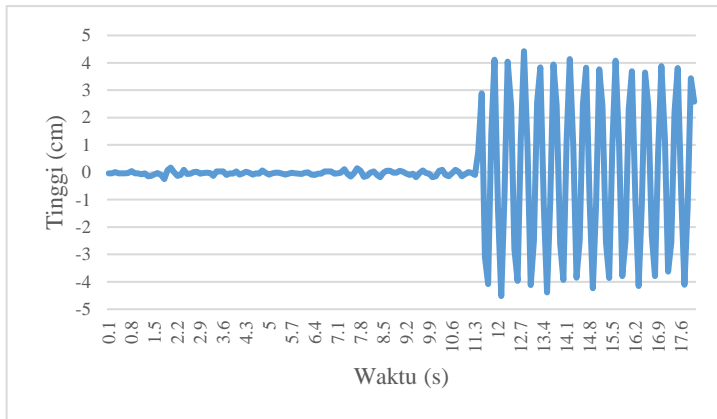
Gambar 4. 4 Respon Sensor Simpangan 4 cm Uji ke-1

. Respon pengujian sensor pada simpangan 4 cm uji ke-2 ditunjukkan pada Gambar 4.5. Hasil pembacaan sensor adalah 3.75 cm.



Gambar 4. 5 Respon Sensor Simpangan 4 cm Uji ke-2

Respon pengujian sensor pada simpangan 4 cm uji ke-3 ditunjukkan pada Gambar 4.6. Hasil pembacaan sensor adalah 4.12 cm.



Gambar 4. 6 Respon Sensor Simpangan 4 cm Uji ke-3

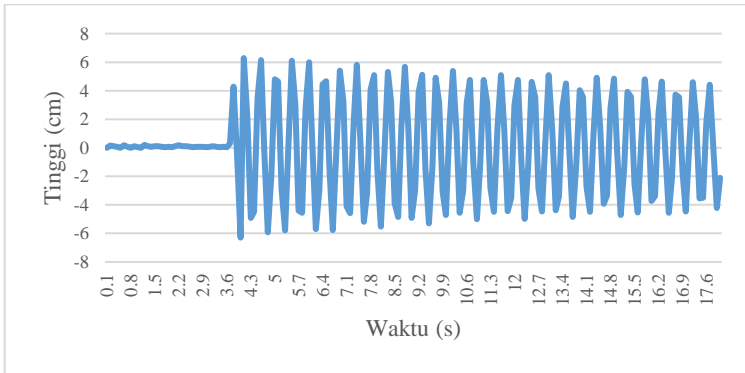
Tabel 4. 2 Hasil Pembacaan Simpangan 4 cm

Simpangan Standar (cm)	Simpangan Pembacaan Sensor (cm)	Error (cm)
4	4.12	0.12
4	3.75	0.25
4	4.12	0.12
4	4.29	0.29
4	3.99	0.01
4	3.74	0.26
4	3.60	0.40
Rata-rata	3.94	0.27

Hasil 30 kali pengujian sensor pada simpangan 4 cm ditunjukkan pada Tabel 4.2 (data lebih lengkap lihat Lampiran C). Rata-rata *error* pengukuran pada pengujian sensor dengan simpangan 4 cm adalah 0.21 cm.

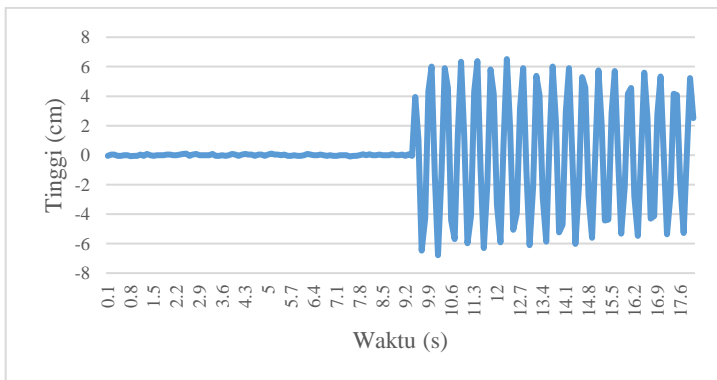
c. Pengujian Simpangan 6 cm

Pengujian dilakukan dengan memberikan simpangan standar sebesar 6 cm dengan melakukan 30 kali pengambilan data. Respon pengujian sensor pada simpangan 6 cm uji ke-1 ditunjukkan pada Gambar 4.7. Hasil pembacaan sensor pada simpangan 6 cm pengujian ke-1 adalah 6.29 cm.



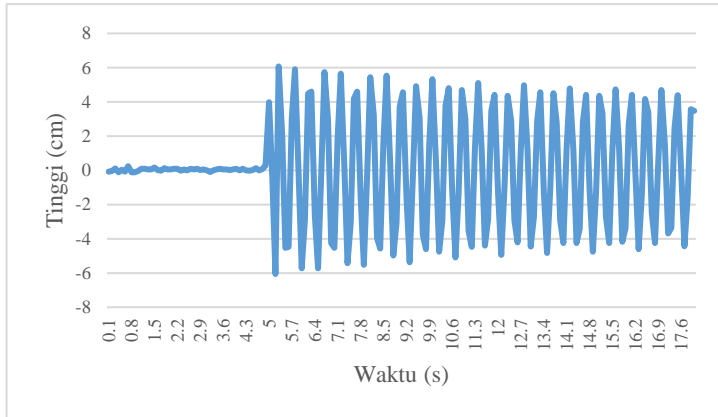
Gambar 4. 7 Respon Sensor Simpangan 6 cm Uji ke-1

Respon pengujian sensor pada simpangan 6 cm uji ke-2 ditunjukkan pada Gambar 4.8. Hasil pembacaan sensor pada simpangan 6 cm pengujian ke-2 adalah 6 cm.



Gambar 4. 8 Respon Sensor Simpangan 6 cm Uji ke-2

Respon pengujian sensor pada simpangan 6 cm uji ke-3 ditunjukkan pada Gambar 4.9. Hasil pembacaan sensor pada simpangan 6 cm pengujian ke-3 adalah 6.07 cm.



Gambar 4. 9 Respon Sensor Simpangan 6 cm Uji ke-3

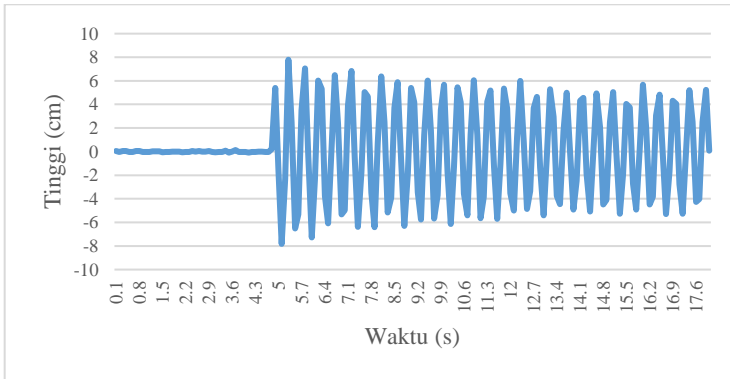
Hasil 30 kali pengujian sensor pada simpangan 6 cm ditunjukkan pada Tabel 4.3. Rata-rata *error* pengukuran pada pengujian sensor dengan simpangan 6 cm adalah 0.12 cm.

Tabel 4. 3 Hasil Pembacaan Simpangan 6 cm

Simpangan Standar (cm)	Simpangan Pembacaan Sensor (cm)	Error (cm)
6	6.29	0.29
6	6.01	0.01
6	6.07	0.07
6	5.90	0.10
6	5.91	0.09
6	5.83	0.17
6	5.87	0.13
Rata-rata	5.98	0.28

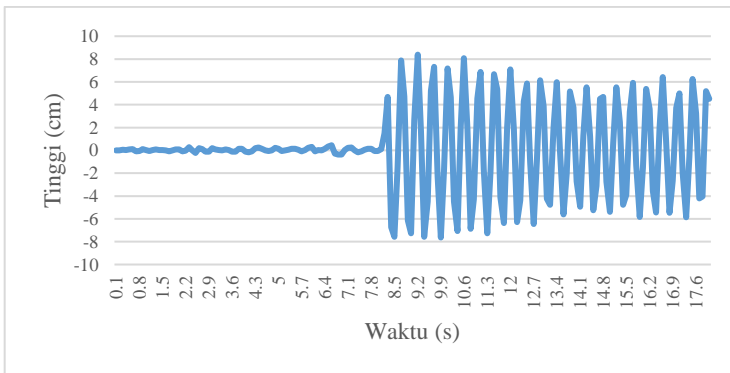
d. Pengujian Simpangan 8 cm

Pengujian dilakukan dengan memberikan simpangan standar sebesar 8 cm dengan melakukan 30 kali pengambilan data. Respon pengujian sensor pada simpangan 8 cm uji ke-1 ditunjukkan pada Gambar 4.10. Hasil pembacaan sensor pada simpangan 8 cm pengujian ke-1 adalah 7.79 cm.



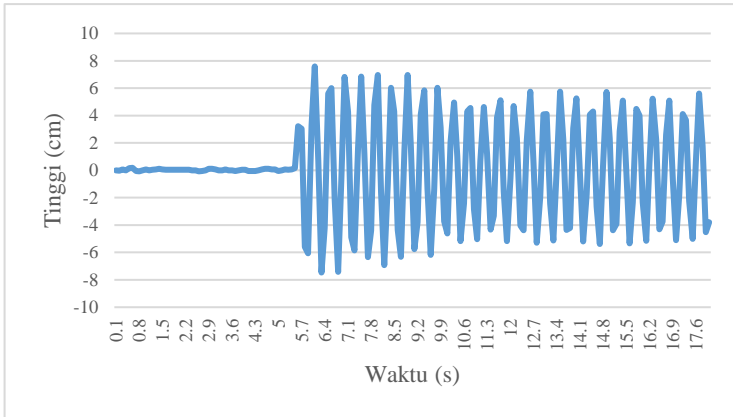
Gambar 4. 10 Respon Sensor Simpangan 8 cm Uji ke-1

Respon pengujian sensor pada simpangan 8 cm uji ke-2 ditunjukkan pada Gambar 4.11. Hasil pembacaan sensor pada simpangan 8 cm pengujian ke-2 adalah 7.87 cm.



Gambar 4. 11 Respon Sensor Simpangan 8 cm Uji ke-2

Respon pengujian sensor pada simpangan 8 cm uji ke-3 ditunjukkan pada Gambar 4.12. Hasil pembacaan sensor pada simpangan 8 cm pengujian ke-3 adalah 7.59 cm



Gambar 4. 12 Respon Sensor Simpangan 8 cm Uji ke-3

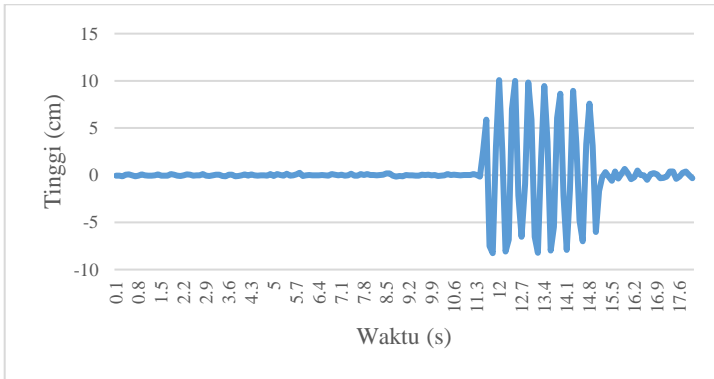
Tabel 4. 4 Hasil Pembacaan Simpangan 8 cm

Simpangan Standar (cm)	Simpangan Pembacaan Sensor (cm)	Error (cm)
8	7.79	0.21
8	7.87	0.13
8	7.59	0.41
8	7.99	0.01
8	7.66	0.34
8	7.66	0.34
8	7.86	0.14
Rata-rata	7.77	0.45

Hasil 30 kali pengujian sensor pada simpangan 8 cm ditunjukkan pada tabel 4.4 (data lebih lengkap lihat Lampiran C). Rata-rata *error* pengukuran pada pengujian sensor dengan simpangan 8 cm adalah 0.23 cm.

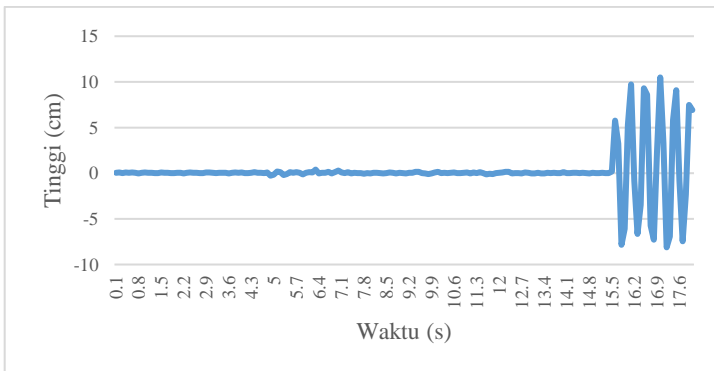
e. Pengujian Simpangan 10 cm

Pengujian dilakukan dengan memberikan simpangan standar sebesar 10 cm dengan melakukan 30 kali pengambilan data. Respon pengujian sensor pada simpangan 10 cm uji ke-1 ditunjukkan pada Gambar 4.13. Hasil pembacaan sensor pada simpangan 10 cm pengujian ke-1 adalah 10.08 cm.



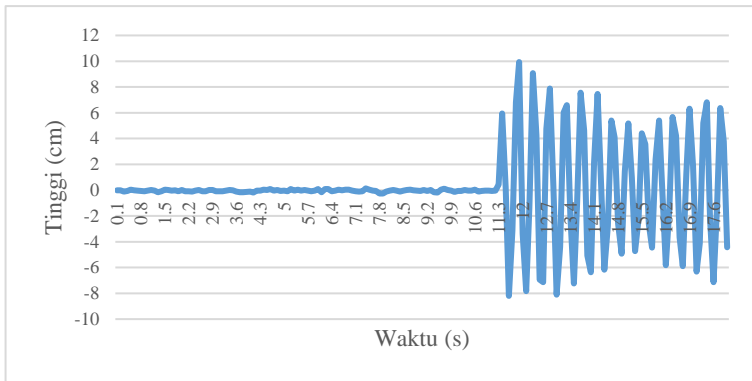
Gambar 4. 13 Respon Sensor Simpangan 10 cm Uji ke-1

Respon pengujian sensor pada simpangan 10 cm uji ke-2 ditunjukkan pada Gambar 4.14. Hasil pembacaan sensor pada simpangan 10 cm pengujian ke-2 adalah 9.72 cm.



Gambar 4. 14 Respon Sensor Simpangan 10 cm Uji ke-2

Respon pengujian sensor pada simpangan 10 cm uji ke-3 ditunjukkan pada Gambar 4.15. Hasil pembacaan sensor pada simpangan 10 cm pengujian ke-3 adalah 9.93 cm.



Gambar 4. 15 Respon Sensor Simpangan 10 cm Uji ke-3

Tabel 4. 5 Hasil Pembacaan Simpangan 10 cm

Simpangan Standar (cm)	Simpangan Pembacaan Sensor (cm)	Error (cm)
10	10.08	0.08
10	9.72	0.28
10	9.93	0.07
10	10.41	0.41
10	9.73	0.27
10	10.62	0.62
10	10.11	0.11
Rata-rata	10.09	0.55

Hasil 30 kali pengujian sensor pada simpangan 10 cm ditunjukkan pada Tabel 4.5 (data lebih lengkap lihat Lampiran C). Rata-rata *error* pengukuran pada pengujian sensor dengan simpangan 10 cm adalah 0.26 cm.

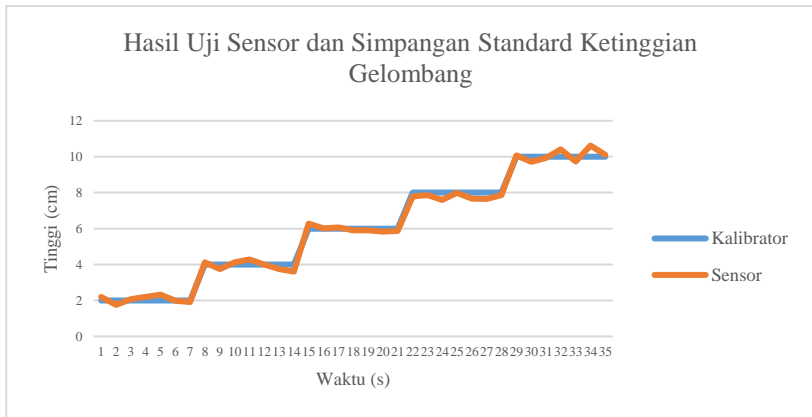
Respon pembacaan sensor *accelerometer* saat dilakukan pengujian dengan menggunakan sistem pegas ditunjukkan pada

Gambar 4.1 sampai 4.15. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sistem pegas yang diberikan simpangan sebesar 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm, dan 10 cm. Data hasil pengukuran jika diplot dalam bentuk grafik akan membentuk grafik sinusoidal dengan nilai ketinggian terukur merupakan jarak antara lembah dan puncak gelombang. Data ketinggian yang didapat dari hasil pengukuran bisa dilihat pada Tabel 4.6 (data lebih lengkap lihat di lampiran C). Data ketinggian yang didapat dari hasil pembacaan sensor selanjutnya dibandingkan dengan nilai simpangan standard sehingga didapat *error* pengukuran. Nilai *error* pengukuran dapat menunjukkan performansi sensor dalam membaca ketinggian.

Tabel 4. 6 Hasil Kalibrasi Sensor menggunakan Sistem Pegas

Simpangan (cm)	Sensor (cm)	Error (cm)	Error (%)
2	2.20	0.20	10.24
2	1.76	0.24	12.18
2	2.07	0.07	3.36
2	2.19	0.19	9.58
4	4.12	0.12	3.09
4	3.75	0.25	6.31
4	4.12	0.12	2.88
4	4.29	0.29	7.29
6	6.29	0.29	4.76
6	6.01	0.01	0.09
6	6.07	0.07	1.15
6	5.89	0.10	1.68
8	7.79	0.21	2.62
8	7.87	0.13	1.63
8	7.59	0.41	5.13
8	7.99	0.01	0.17
10	10.08	0.08	0.77
10	9.72	0.28	2.85
10	9.93	0.07	0.65
10	10.41	0.41	4.12
Rata-rata			6.37

Pengujian yang dilakukan menunjukkan persentase *error* rata-rata hasil pengukuran adalah 4.16 %. Hasil pembacaan sensor kemudian di plot pada grafik sesuai dengan Gambar 4.16.



Gambar 4. 16 Hasil Uji Sensor dan Simpangan Standard Ketinggian Gelombang

4.1.2 Data Pengujian Menggunakan *Wave Simulator*

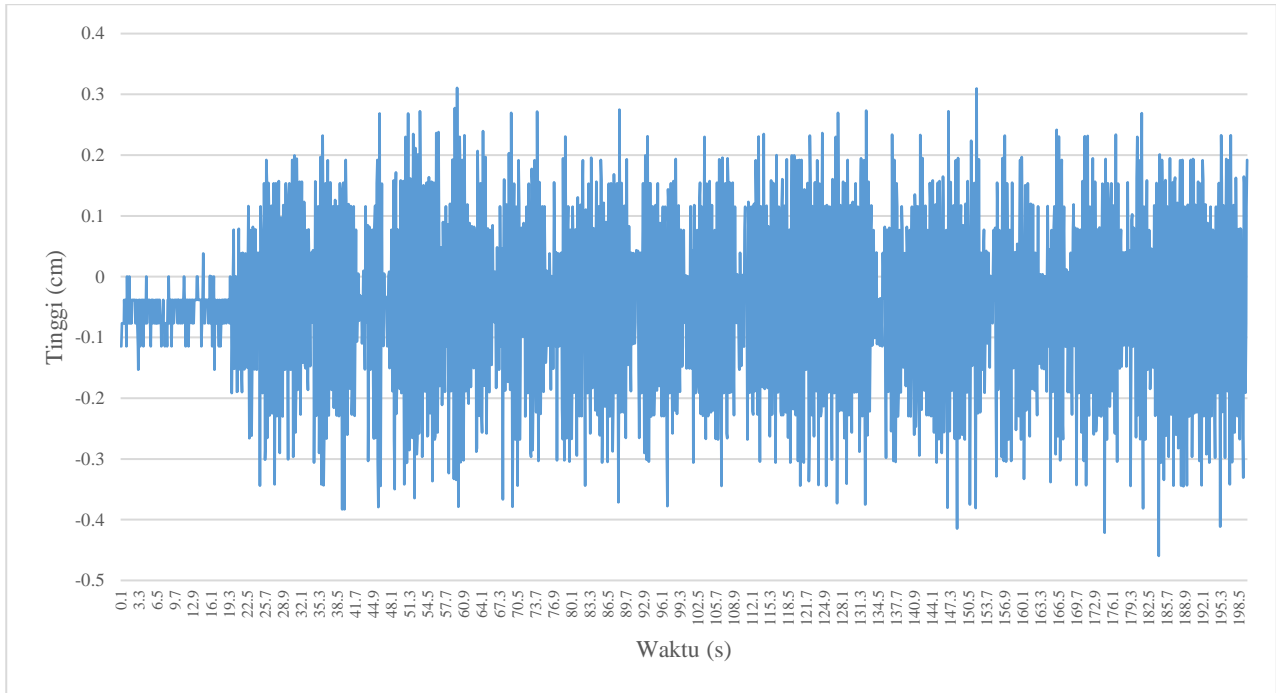
Pengujian menggunakan *wave simulator* dilakukan untuk mengetahui apakah benar data yang terbaca oleh *accelerometer* merupakan data ketinggian gelombang. Pengujian dilakukan dengan membuat simulasi gelombang dengan menggunakan *wave simulator*. Gelombang dibangkitkan dengan menggunakan *motor servo* yang dihubungkan dengan papan pengaduk. Variasi tinggi gelombang diatur dengan menggunakan *potentiometer* dengan cara mengatur kecepatan putaran *motor servo*. Pembacaan ketinggian gelombang dilakukan dengan meletakkan penggaris pada dinding aquarium. Penempatan penggaris disejajarkan dengan gelombang tertinggi yang terbentuk dan disejajarkan pula dengan letak sensor *accelerometer*. Tinggi gelombang *wave simulator* ini yang nantinya digunakan sebagai ketinggian standard sensor. Pengujian dilakukan dengan 5 variasi tinggi gelombang, yaitu 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm, dan 10 mm.

a. Pengujian Tinggi Gelombang 2 mm

Respon pengujian tinggi gelombang 2 mm dengan menggunakan *wave simulator* mendapatkan hasil respon seperti pada Gambar 4.17. Pembacaan sensor menunjukkan hasil yang tidak stabil karena sensor bergerak ke kanan dan ke kiri mengikuti pergerakan gelombang. Hasil pengujian sensor menggunakan *wave simulator* ditunjukkan pada Tabel 4.7. Nilai *error* rata-rata hasil pengujian sensor *accelerometer* pada tinggi gelombang 2 mm adalah 0.427 mm.

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Ketinggian Gelombang 2 mm

Ketinggian (mm)	Sensor (mm)	Error (mm)
2	1.919	0.081
2	1.923	0.077
2	2.319	0.319
2	1.919	0.081
2	1.169	0.831
2	2.683	0.683
2	1.583	0.417
2	2.686	0.686
2	2.721	0.721
2	2.363	0.363
2	3.106	1.106
2	2.327	0.327
2	2.397	0.397
2	2.694	0.694
2	2.717	0.717
2	2.306	0.306
2	1.956	0.044
2	2.746	0.746
2	2.312	0.312
2	1.936	0.064
Rata-rata	2.328	0.427



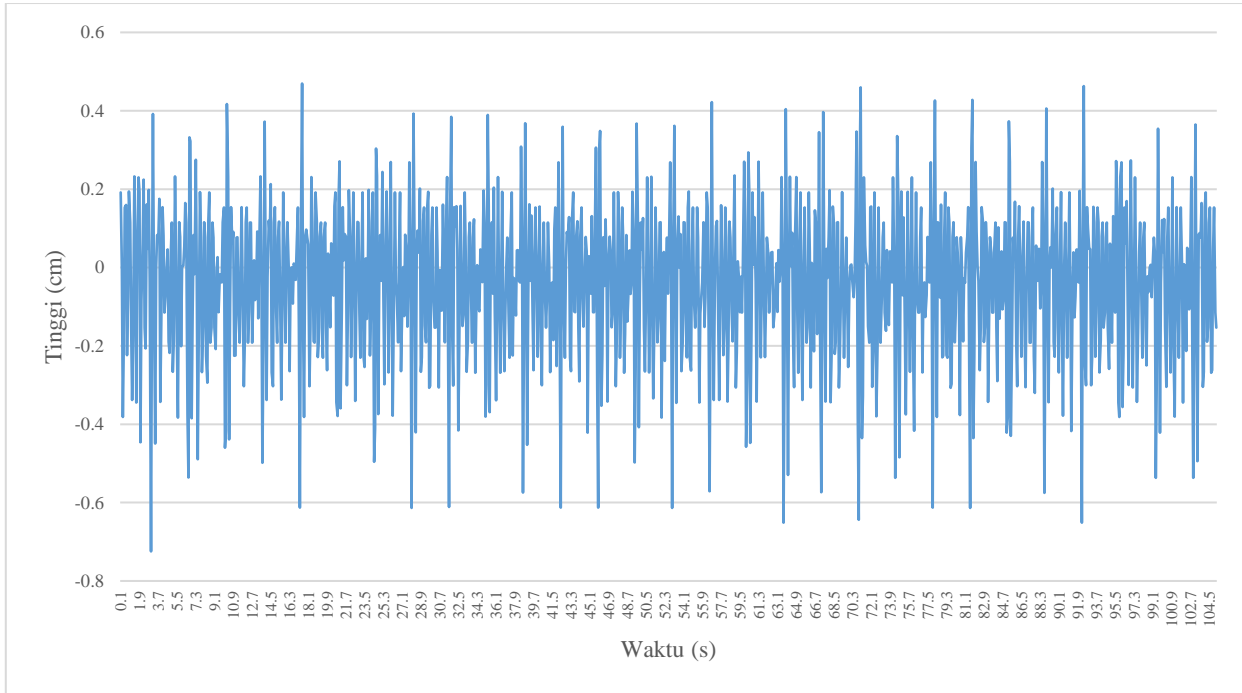
Gambar 4.17 Respon Pengujian Tinggi Gelombang 2 mm

b. Pengujian Tinggi Gelombang 4 mm

Respon pengujian tinggi gelombang 4 mm dengan menggunakan *wave simulator* mendapatkan hasil respon seperti pada Gambar 4.18. Pembacaan sensor menunjukkan hasil yang tidak stabil karena sensor bergerak ke kanan dan ke kiri mengikuti pergerakan gelombang. Hasil pengujian sensor menggunakan *wave simulator* ditunjukkan pada Tabel 4.8. Nilai *error* rata-rata hasil pengujian sensor *accelerometer* pada tinggi gelombang 4 mm adalah 0.466 mm.

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Ketinggian Gelombang 4 mm

Ketinggian (mm)	Sensor (mm)	Error (mm)
4	3.918	0.082
4	3.321	0.679
4	4.169	0.169
4	3.725	0.275
4	4.694	0.694
4	2.711	1.290
4	3.035	0.965
4	3.925	0.076
4	3.847	0.153
4	3.891	0.109
4	3.681	0.319
4	3.588	0.412
4	3.484	0.516
4	3.670	0.331
4	3.616	0.384
4	4.219	0.219
4	2.935	1.065
4	4.038	0.038
4	4.602	0.602
4	3.971	0.029
Rata-rata	3.748	0.466



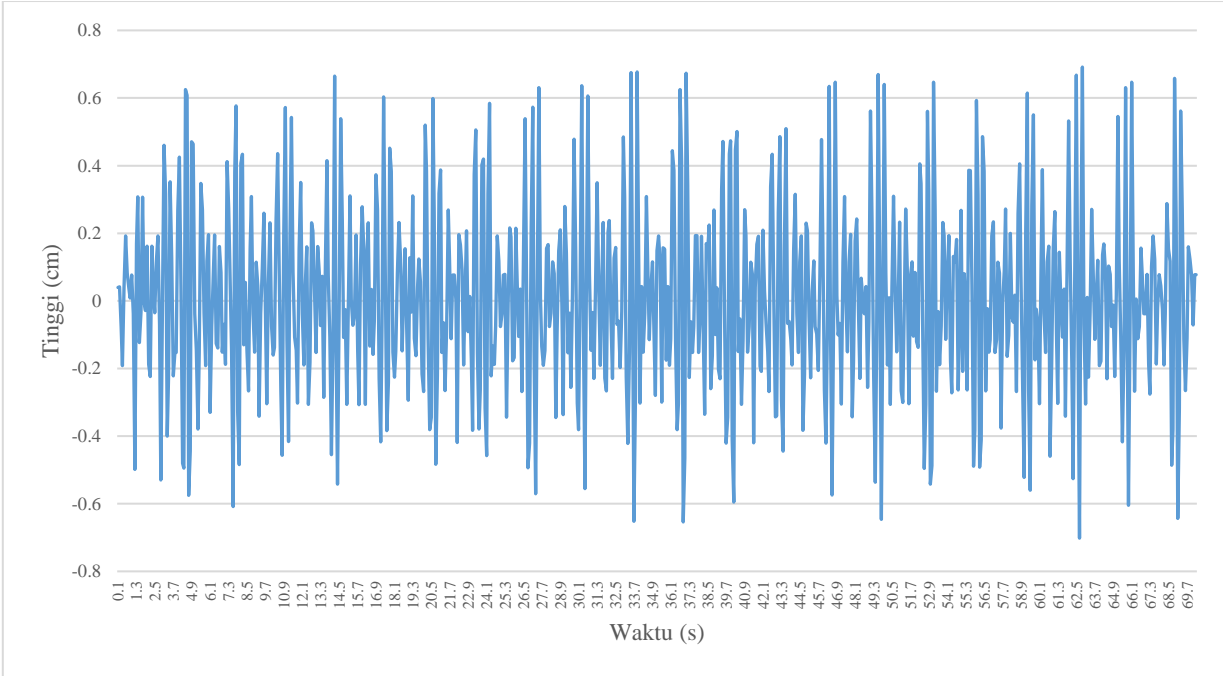
Gambar 4. 18 Respon Pengujian Tinggi Gelombang 4 mm

c. Pengujian Tinggi Gelombang 6 mm

Respon pengujian tinggi gelombang 6 mm dengan menggunakan *wave simulator* mendapatkan hasil respon seperti pada Gambar 4.19. Pembacaan sensor menunjukkan hasil yang tidak stabil karena sensor bergerak ke kanan dan ke kiri mengikuti pergerakan gelombang. Hasil pengujian sensor menggunakan *wave simulator* ditunjukkan pada Tabel 4.9. Nilai *error* rata-rata hasil pengujian sensor *accelerometer* pada tinggi gelombang 6 mm adalah 0.416 mm.

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Ketinggian Gelombang 6 mm

Ketinggian (mm)	Sensor (mm)	Error (mm)
6	6.254	0.254
6	5.762	0.238
6	5.721	0.279
6	6.650	0.650
6	6.030	0.030
6	5.980	0.020
6	5.838	0.162
6	6.303	0.303
6	6.360	0.360
6	6.769	0.769
6	6.734	0.734
6	5.011	0.989
6	5.091	0.909
6	6.461	0.461
6	6.403	0.403
6	6.464	0.464
6	5.923	0.077
6	6.146	0.146
6	6.914	0.914
6	6.464	0.464
Rata-rata	6.153	0.416



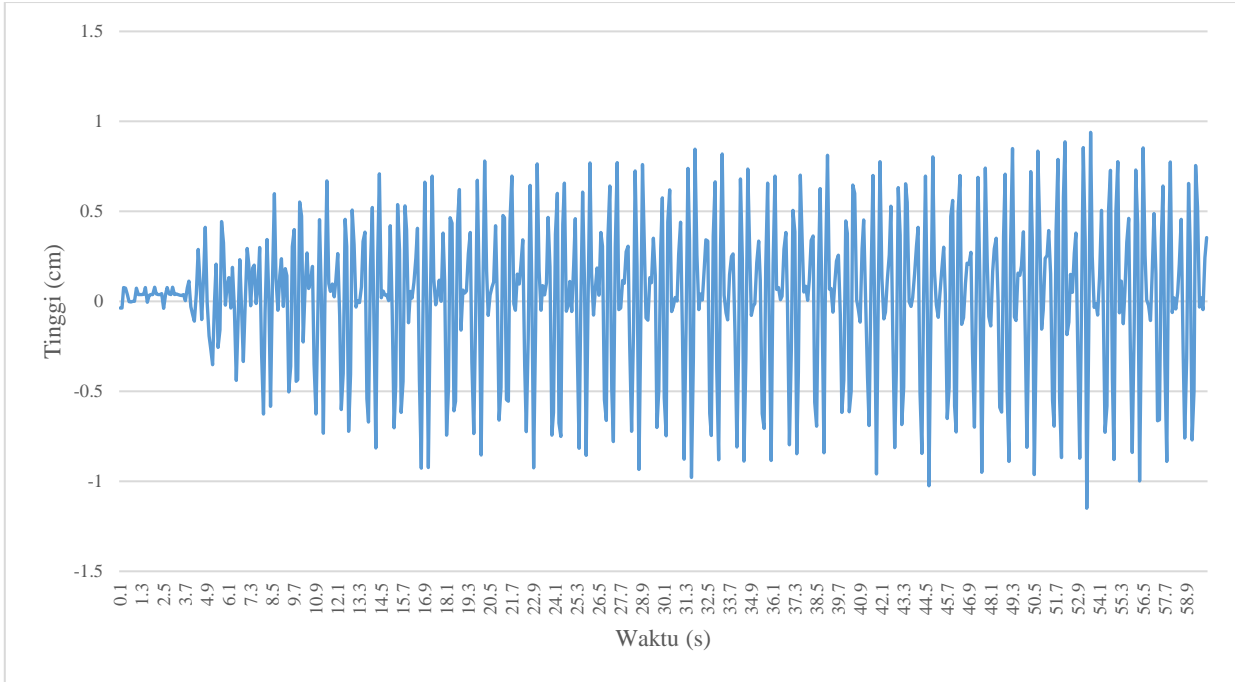
Gambar 4. 19 Respon Pengujian Tinggi Gelombang 6 mm

d. Pengujian Tinggi Gelombang 8 mm

Respon pengujian tinggi gelombang 8 mm dengan menggunakan *wave simulator* mendapatkan hasil respon seperti pada Gambar 4.20. Pembacaan sensor menunjukkan hasil yang tidak stabil karena sensor bergerak ke kanan dan ke kiri mengikuti pergerakan gelombang. Hasil pengujian sensor menggunakan *wave simulator* ditunjukkan pada Tabel 4.10. Nilai *error* rata-rata hasil pengujian sensor *accelerometer* pada tinggi gelombang 8 mm adalah 0.756 mm.

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Ketinggian Gelombang 8 mm

Ketinggian (mm)	Sensor (mm)	Error (mm)
8	6.698	1.302
8	7.078	0.922
8	6.954	1.046
8	7.798	0.202
8	6.956	1.044
8	7.637	0.363
8	6.574	1.426
8	7.698	0.302
8	7.716	0.284
8	7.606	0.394
8	6.187	1.813
8	8.454	0.454
8	8.193	0.193
8	7.349	0.651
8	6.965	1.035
8	7.012	0.988
8	8.114	0.114
8	6.006	1.994
8	7.765	0.235
8	6.535	1.465
Rata-rata	7.688	0.756



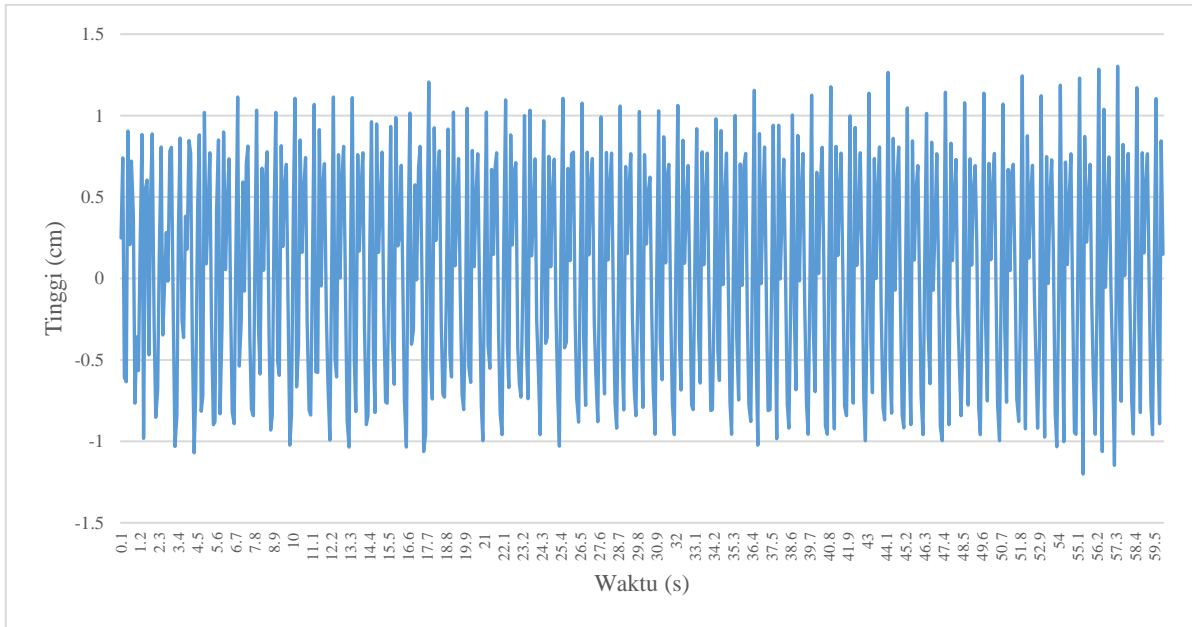
Gambar 4. 20 Respon Pengujian Tinggi Gelombang 8 mm

e. Pengujian Tinggi Gelombang 10 mm

Respon pengujian tinggi gelombang 10 mm dengan menggunakan *wave simulator* mendapatkan hasil respon seperti pada Gambar 4.21. Pembacaan sensor menunjukkan hasil yang tidak stabil karena sensor bergerak ke kanan dan ke kiri mengikuti pergerakan gelombang. Hasil pengujian sensor menggunakan *wave simulator* ditunjukkan pada Tabel 4.11. Nilai *error* rata-rata hasil pengujian sensor *accelerometer* pada tinggi gelombang 10 mm adalah 0.624 mm.

Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Ketinggian Gelombang 10 mm

Ketinggian (mm)	Sensor (mm)	Error (mm)
10	10.202	0.202
10	11.137	1.137
10	8.988	1.012
10	10.193	0.193
10	10.193	0.193
10	10.681	0.681
10	11.068	1.068
10	11.144	1.144
10	11.091	1.091
10	9.631	0.369
10	9.882	0.118
10	10.155	0.155
10	12.065	2.065
10	10.210	0.210
10	10.443	0.443
10	10.218	0.218
10	10.959	0.959
10	10.330	0.330
10	9.686	0.314
10	11.053	1.053
Rata-rata	10.423	0.624



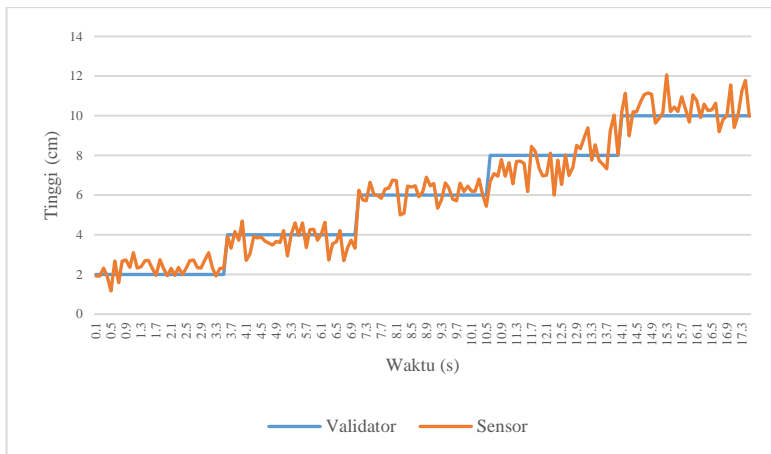
Gambar 4. 21 Respon Pengujian Tinggi Gelombang 10 mm

Respon pembacaan sensor *accelerometer* saat dilakukan pengujian dengan menggunakan *wave simulator* ditunjukkan dengan Gambar 4.17 sampai Gambar 4.21. Pengujian dilakukan dengan memberi variasi ketinggian gelombang 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm, dan 10 mm. Data tinggi gelombang yang didapat dari hasil pengukuran bisa dilihat pada Tabel 4.12 (data lebih lengkap lihat lampiran D). Dari data hasil pengukuran bisa diketahui persentase *error* hasil pembacaan sensor sehingga bisa diketahui bagaimana performansi sensor tersebut.

Tabel 4. 12 Hasil Validasi Sensor menggunakan *Wave Simulator*

Ketinggian (mm)	Sensor (mm)	<i>Error</i> (mm)	Persentase <i>Error</i> (%)
2	1.919	0.081	4.040
2	1.923	0.077	3.845
2	2.319	0.319	15.940
4	3.918	0.082	2.040
4	3.321	0.679	16.985
4	4.169	0.169	4.222
6	6.254	0.254	4.228
6	5.762	0.238	3.960
6	5.721	0.279	4.657
8	6.698	1.302	16.274
8	7.078	0.922	11.528
8	6.954	1.046	13.080
10	10.202	0.202	2.016
10	11.137	1.137	11.370
10	8.988	1.012	10.121
Rata-rata		0.538	11.124

Hasil pembacaan sensor menggunakan *wave simulator* ditunjukkan pada Tabel 4.12. Persentase error rata-rata yang didapat berdasarkan Tabel 4.12 adalah 11.1234 %. Hasil pembacaan sensor kemudian di plot pada grafik seperti pada Gambar 4.22.



Gambar 4. 22 Hasil Uji Menggunakan *Wave Simulator*

4.1.3. Aplikasi *Kalman Filter* dan *Wavelet Filter*

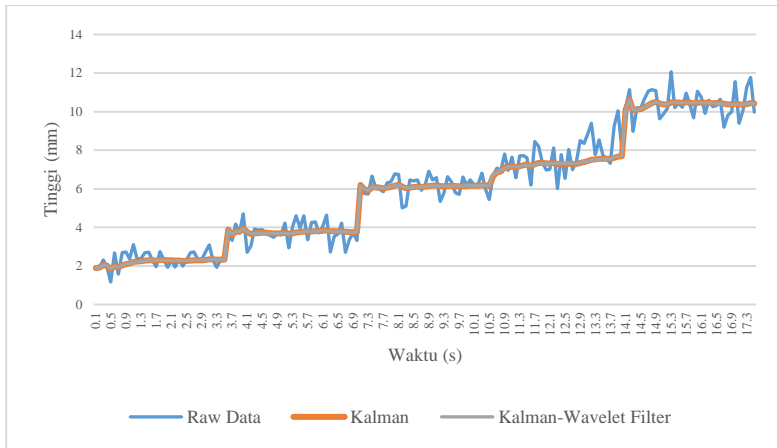
Data hasil pengujian sensor *accelerometer* menggunakan *wave simulator* selanjutnya diberi algoritma *filter* untuk mereduksi *error* sehingga meningkatkan akurasi data. Algoritma *filter* yang digunakan pada tugas akhir kali ini adalah *kalman filter* dan *wavelet filter*.

Hasil penambahan algoritma *filter* pada data hasil pengujian sensor menggunakan *wave simulator* ditunjukkan pada Tabel 4.13 (data lebih lengkap lihat Lampiran E). Persentase *error* rata-rata data pembacaan sensor sebelum ditambahkan algoritma *filter* adalah 11.1238 %. Setelah ditambahkan algoritma *kalman filter*, persentase *error* rata-rata mengalami penurunan menjadi 6.435 %. Setelah ditambahkan algoritma *wavelet filter*, persentase *error* rata-rata pengukuran mengalami penurunan lagi yaitu menjadi 6.3995 %. Penurunan *error* pada penambahan *filter* menunjukkan bahwa kombinasi *kalman-wavelet filter* mampu mereduksi *error* pengukuran dengan baik. *Kalman filter* mereduksi *error* pengukuran dengan membandingkan nilai hasil pengukuran dengan nilai hasil estimasi. *Wavelet filter* mereduksi *error* pengukuran dengan menganalisa semua data hasil pengukuran dengan parameter-parameter *wavelet* sehingga dapat diketahui

noise atau *error* hasil pengukuran. Hasil penambahan algoritma *filter* pada Tabel 4.13 kemudian diplot pada grafik seperti pada Gambar 4.23.

Tabel 4. 13 Hasil Penambahan *Kalman Filter* dan *Wavelet Filter*

Ketinggian (mm)	Pengukuran Sensor (mm)	Persentase <i>Error</i> Sebelum <i>Filter</i> (%)	<i>Kalman Filter</i> (mm)	<i>Kalman Filter</i> - <i>Wavelet Filter</i> (mm)	Persentase <i>Error</i> Setelah <i>Kalman Filter</i> (%)	Persentase <i>Error</i> Setelah <i>Kalman</i> - <i>Wavelet Filter</i> (%)
2	1.919	4.040	1.903	1.912	4.863	4.379
2	1.923	3.845	1.913	1.912	4.356	4.379
2	2.319	15.940	2.048	2.039	2.390	1.959
4	3.918	2.040	3.885	3.872	2.880	3.196
4	4.169	4.222	3.792	3.776	5.207	5.598
4	3.321	16.985	3.604	3.631	9.902	9.220
6	6.254	4.228	6.200	6.185	3.335	3.080
6	5.762	3.960	5.982	5.990	0.297	0.160
6	5.721	4.657	5.895	5.911	1.746	1.491
8	6.698	16.274	6.641	6.745	16.991	15.683
8	7.078	11.528	6.858	6.825	14.271	14.692
8	6.954	13.080	6.890	6.960	13.875	13.002
10	10.202	2.016	10.114	10.134	1.142	1.336
10	11.137	11.370	10.623	10.597	6.234	5.975
10	8.988	10.121	10.080	10.111	0.798	1.112
Rata-rata		11.124			6.435	6.399



Gambar 4. 23 Hasil Penambahan Algoritma *Kalman Filter* dan *Wavelet Filter*

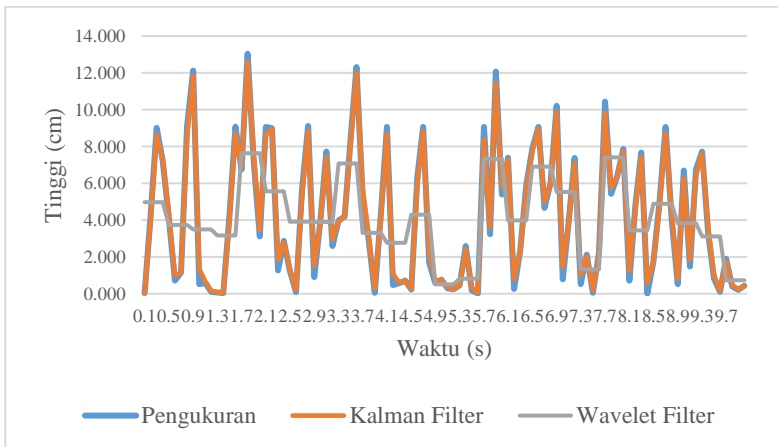
4.1.3. Pengambilan Data *Real*

Pengambilan data *real* dilakukan di pantai kenjeran pada longitude 112.79 E dan latitude 7.28 S. Pengambilan data *real* dilakukan beberapa kali dikarenakan terjadi beberapa kendala saat pengambilan data. Hasil pengambilan data *real* dapat dilihat pada Tabel 4.14 (data lebih lengkap lihat Lampiran F). Data hasil pengujian *real* selanjutnya ditambahkan algoritma *kalman filter* dan *wavelet filter*. Rata-rata pengukuran sebelum ditambahkan algoritma *filter* adalah 4.155 cm. Penambahan algoritma *filter* tidak merubah nilai hasil pengukuran, yaitu 4.154 cm. Data hasil pengujian *real* selanjutnya diplot pada grafik seperti pada Gambar 4.24. Hasil pengujian *real* menunjukkan bahwa ketinggian gelombang laut setelah diberikan algoritma *kalman filter* (warna oranye) memiliki pola mengikuti data pengukuran langsung sebelum ditambahkan algoritma *filter* warna biru), hal ini sesuai dengan prinsip *kalman filter* yaitu mengestimasi nilai setelahnya dari nilai sebelumnya, jadi hasil keluaran *kalman filter* seharusnya mengikuti pola data raw (data sebelum ditambahkan *filter*). Hasil penambahan kombinasi *wavelet filter* dan *kalman filter* (warna abu-abu) memiliki pola mengikuti data pengukuran dan data hasil

kalman filter walaupun tidak dapat dikatakan mengikuti pola tersebut dengan baik.

Tabel 4. 14 Hasil Pengambilan Data *Real*

Sensor (cm)	Kalman Filter (cm)	Wavelet Filter (cm)
0.040	0.040	4.972
4.210	3.902	4.972
9.010	8.631	4.972
7.210	7.315	4.972
4.130	4.366	3.746
0.710	0.981	3.746
1.150	1.137	3.746
9.090	8.501	3.746
12.120	11.852	3.502
0.514	1.354	3.502
0.595	0.652	3.502
0.110	0.150	3.502
0.070	0.076	3.169
0.040	0.043	3.169
4.170	3.864	3.169
4.145	4.144	4.144



Gambar 4. 24 Hasil Pengujian *Real* di Laut Kenjeran

Pengujian sensor secara *real* di Laut Kenjeran memerlukan perhatian dan ketelitian. Sensor IMU 9DOF harus diletakkan secara horizontal menghadap ke atas agar dapat membaca data ketinggian dengan benar. Pemasangan *wiring* juga perlu diperhatikan untuk mencegah agar *wiring* tidak lepas saat *buoy* mengalami pergerakan yang diakibatkan oleh gelombang laut. *Input* daya yang masuk pada mikrokontroler juga harus sesuai dengan tegangan operasi mikrokontroler agar mikrokontroler dapat bekerja dengan baik. Data hasil pengujian *real* di Laut Kenjeran tidak lagi divalidasi karena keterbatasan alat dimana tidak adanya alat pengukur ketinggian gelombang yang lebih standard yang secara langsung mengukur ketinggian gelombang di tempat uji. Validasi hasil pengukuran tinggi gelombang secara *real* bisa disimulasikan menggunakan *wave simulator* dimana *wave simulator* sebagai tempat uji dan tinggi gelombang yang dibangkitkan sebagai ketinggian gelombang ditempat uji. Data hasil pengujian *real* tidak dapat divalidasi menggunakan data BMKG karena data tinggi gelombang yang dicatat oleh BMKG tidak diperoleh dari pengukuran langsung melainkan dihitung dari data kecepatan angin yang kemudian diolah sehingga diperoleh data ketinggian gelombang.

4.1.3. Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh M. Iqbal Syachjaya dengan judul “Rekonstruksi Sistem Akuisisi Data dengan *Filter* Menggunakan *Wavelet Transform* Untuk Meningkatkan Kinerja *Buoyweather Station Type IP*”. Penelitian ini menggunakan algoritma *wavelet filter* untuk mereduksi *error* hasil pengukuran. Data pengujian sensor menggunakan *wave simulator* selanjutnya ditambahkan algoritma *wavelet filter* untuk mengetahui apakah *wavelet filter* mampu mereduksi *error* hasil pengukuran. Hasil penambahan algoritma *wavelet filter* pada data pengujian sensor ketinggian gelombang dapat dilihat pada tabel 4.15 (data lengkap lihat lampiran G). Persentase *error* rata-rata data pembacaan sensor mengalami penurunan dari sebelum ditambahkan algoritma *filter* yaitu 19.1129 % menjadi 15.3558 %

setelah ditambahkan algoritma *filter*. Penambahan algoritma *wavelet filter* pada penelitian sebelumnya dapat menurunkan error sebesar 19.6574 %.

Tabel 4. 15 Penambahan Algoritma *Wavelet Filter*

Ketinggian (mm)	Sensor (mm)	Wavelet Filter (mm)	Persentase <i>Error</i> Sebelum Filter (%)	Persentase <i>Error</i> Setelah Filter (%)
4	4.29	4.64	7.24	16.03
4	3.60	4.64	9.98	16.03
4	3.87	4.64	3.20	16.03
6	7.47	5.70	24.56	4.942
6	2.46	4.37	59.06	27.20
6	5.45	5.04	9.224	16.07
8	6.64	6.58	17.05	17.68
8	8.98	6.58	12.29	17.68
8	7.00	6.58	12.53	17.68
10	8.50	7.13	15.01	28.70
10	9.12	7.13	8.792	28.70
10	7.19	7.13	28.06	28.70
13	8.98	9.45	30.94	27.30
13	12.04	9.45	7.41	27.30
13	10.68	11.21	17.85	13.78
Rata-rata			19.11	15.35

4.2 Pembahasan

Pengujian sistem pengukuran ketinggian gelombang laut dilakukan dalam 3 tahap. Pertama adalah Pengujian alat ukur dengan menggunakan sistem pegas di Laboratorium Vibrastik Teknik Fisika ITS. Pengujian bertujuan untuk mengetahui apakah sensor mampu membaca data ketinggian dengan baik dan benar. Pengujian dilakukan dengan memberikan simpangan sebesar 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm, dan 10 cm pada sistem pegas dengan 30 kali pengambilan data pada setiap simpangan. Hasil dari pengujian yang telah dilakukan dengan menggunakan sistem pegas

didapatkan persentase *error* rata-rata pengukuran sebesar 6.37 %. Langkah selanjutnya setelah dilakukan pengujian menggunakan sistem pegas yaitu pengujian menggunakan *wave simulator* untuk memastikan bahwa data yang terbaca oleh sensor merupakan data ketinggian gelombang. Pengujian menggunakan *wave simulator* dilakukan dengan membangkitkan gelombang dengan menggunakan *motor servo* dan *potentiometer* pada ketinggian gelombang 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm, dan 10 mm. Hasil dari validasi ini didapatkan persentase *error* rata-rata pengukuran sebesar 11.124 %. Tahap selanjutnya setelah dilakukan pengujian pembacaan sensor yaitu pengambilan data *real* di Laut Kenjeran. Data pengujian sensor ketinggian gelombang laut secara *real* yang dilakukan di Laut Kenjeran berada pada rentang ketinggian 0 cm hingga 12.12 cm.

Hasil pengujian sensor ketinggian gelombang menunjukkan bahwa data hasil pengukuran mengandung *noise* atau *error* yang sangat berpengaruh terhadap hasil pengukuran. Reduksi *noise* atau *error* perlu dilakukan agar data hasil pengukuran lebih akurat. Reduksi *noise* dapat dilakukan dengan penambahan algoritma *filter*. Algoritma *filter* yang digunakan pada penelitian kali ini adalah *kalman filter* dan *wavelet filter*. Penambahan algoritma *filter* bertujuan untuk mengurangi *error* hasil pengukuran sensor. Penambahan *filter* pada data pengujian menggunakan *wave simulator* dapat dilihat pada Tabel 4.13. Hasil penambahan *filter* menunjukkan bahwa penambahan kombinasi algoritma *kalman filter* dan *wavelet filter* dapat mereduksi *error* pengukuran sebanyak 42.4702 % dari sebelum penambahan filter tingkat *error* mencapai 11.124 % setelah penambahan *filter* tingkat *error* berkurang menjadi 6.399 %.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a. Pemasangan sensor ketinggian gelombang pada *buoyweather* type II dapat mengukur ketinggian gelombang laut di tempat uji. Hal ini dibuktikan dengan data hasil validasi dengan menggunakan *wave simulator*. Pengujian menggunakan *wave simulator* menunjukkan persentase *error* rata-rata pengukuran sebesar 11.124 %.
- b. Penambahan dua algoritma *filter* mampu mereduksi *error* pengukuran sebesar 42.4702 % yaitu dari 11.124 % menjadi 6.3995 %, dimana pada penelitian sebelumnya yang menggunakan *wavelet filter* mampu mereduksi *error* sebesar 19.6574 % yaitu dari 19.1129 % menjadi 15.3558 %. Penambahan kombinasi dua algoritma *filter* yaitu *kalman filter* dan *wavelet filter* mampu mereduksi *error* lebih baik dibandingkan penambahan algoritma *wavelet filter*.

5.2. Saran

Adapun saran yang penulis sampaikan untuk penelitian selanjutnya:

- a. Dilakukan pengujian pada gelombang yang lebih tinggi untuk mengetahui *range* pembacaan sensor.
- b. Pemilihan algoritma *filter* lebih diperhatikan. Penentuan parameter pada algoritma *filter* juga perlu diperhatikan.
- c. Penambahan algoritma *filter* pada mikrokontroler agar sistem lebih ringkas.
- d. Validasi ketinggian gelombang dilakukan menggunakan alat yang lebih standard.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR RUJUKAN

- Ainsworth, T. (2019, July 28). *Voluntary observing Sship program - NOAA*. Retrieved from National Oceanic and Atmospheric Administration: https://www.vos.noaa.gov/MWL/apr_06/waves.shtml
- Analog Device. (2009). Digital accelerometer ADXL345. U.S.A. *Arduino store*. (2019, 7 2). Retrieved from arduino: <https://store.arduino.cc/usa/duo>
- Ayush dogra, B. G. (2016). Performance comparison of different wavelet families based on bone vessel fusion. *asian Journal of Pharmaceutics*.
- Baleanu, D. (2012). *Advance in wavelet theory and their application in engineering, physics and technology*. InTech.
- Bentley, J. P. (2005). *Principle of measurement system 4th edition*. Pearson.
- Chapter 4 – Waves*. (2019, July 31). Retrieved from pilebuck: <https://www.pilebuck.com/highways-coastal-environment-second-edition/chapter-4-waves/>
- Dejan. (2019, July 27). *How to track orientation with arduino and ADXL345 accelerometer*. Retrieved from How to Mechatronics: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/how-to-track-orientation-with-arduino-and-adxl345-accelerometer/>
- Electronics, S. (2019, May 20). *Sparkfun products*. Retrieved from SparkFun Electronics: <https://www.sparkfun.com/products/11589>
- Ergen, B. (2013). Comparison of wavelet types and thresholding methods on wavelet based denoising of heart sound. *Scientific Research*.
- Frahm, P. D. (2019, Agustus 2). *Simple harmonic motion*. Retrieved from Experimental physics condensed matter: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/shm.html>

- Gozali, N. L., Aisjah, A. S., & Apriliani, E. (2013). Estimasi variabel dinamik kapal menggunakan metode kalman filter. *Jurnal Teknik POMITS*, 84-88.
- Halim, M. P., & Ishak, M. P. (2014). Post election behavior? Is it possible? A framework based on Hirschman (1970) model. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 67-75.
- Honeywell. (2009). 3-Axis digital compass IC HMC 5843.
- Johan Kuperus, B., Havinga, P. D., Chatterjea, D. S., & Bosch, I. S. (2014). Wave monitoring using wireless sensor nodes.
- Khotimah, M. K. (2012). *validasi tinggi gelombang model gelombang windwave-5 dengan menggunakan hasil pengamatan satelit altimetri multifungsi*. Depok.
- Laia, M. A., Levada, A. L., Botega, L. C., Pereira, M. F., Cruvinel, P. E., & Macedo, A. (2008). A novel model for combining projection and image filtering using kalman and discrete wavelet transform in computerized tomography. *2008 11th IEEE International Conference on computational Science and Engineering*, 219-226.
- Mitra DJ, S. M. (2014). Comparative Study on Thresholding Techniques of Discrete wavelet transform (DWT) to Denoise Corrupted ECG Signals. *IJECS*.
- Morris, A. (2011). *Measurement and instrumentation principles*. Butterworth Heinemann.
- Paidya, A. P. (2015). A comparison of different mother wavelet for fault detection and classification of series compensated transmission line. *international journal for innovative research in science and technology*.
- R Bouchouareb, D. B. (2014). Comparative study between wavelet thresholding techniques in ultrasound images. *International Journal of Bio Science and Bio Technology*.
- Rakhmat Kurniawan, R, S. M., & Sriani, M. (n.d.). Penerapan metode wavelet co-occurrence histogram untuk pengenalan objek pada citra digital.
- Rizky, A. P. (2016). *Rancang bangun sistem monitoring ketinggian gelombang laut pada prototype buoyweather type II*. Surabaya.

- Roza, E. (2017, September 1). <https://kkp.go.id>. (KEMENTERIAN KELAUTAN DAN PERIKANAN) Retrieved Desember 25, 2018, from <https://kkp.go.id/artikel/2233-maritim-indonesia-kemewahan-yang-luar-biasa>
- S S Joshi, V. H. (2008). A comparison of soft and hard thresholding by using discrete wavelet transforms. *IRJMS*.
- Sandi, D., R.E, I., & Malinda. (2015). Analisis deret fouries untuk menentukan persamaan fungsi gelombang sinusoidal arus AC pada osiloskop. *Seminar Nasional Fisika 2015 Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Jakarta* (pp. 51-56). Jakarta: Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Jakarta.
- Satriadi, A. (2017). Peramalan tinggi dan periode gelombang signifikan di perairan dangkal (studi kasus Perairan Semarang). *Buletin Oseanografi Marina*, 17-23.
- Sifuzzaman, M., Islam, M., & Ali, M. (2009). Application of wavelet transform and its advantages compared to fourier transform. *Journal of Physical Science*, 121-134.
- Significant wave height*. (n.d.). Retrieved from National Weather Service: https://www.weather.gov/key/marine_sigwave
- Social media blog-Bureau of Meteorology*. (2019, July 29). Retrieved from Austrian Government Bureau of Meteorology: <http://media.bom.gov.au/social/blog/870/ruling-the-waves-how-a-simple-wave-height-concept-can-help-you-judge-the-size-of-the-sea/>
- SparkFun. (2019, January 16). *Sparkfun products*. Retrieved from <https://www.sparkfun.com/>: <https://www.sparkfun.com/products/13944>
- Sulistyaningrum, D. R. (2017). Penerapan transformasi wavelet diskrit untuk reduksi noise pada citra digital. *Limits*, 49-57.
- Suryadharma, R. E. (2016). *Integrasi Sistem Akuisisi Data pada Buoyweather Station Type II*. Surabaya.
- Syachjaya, M. I. (2018). *Rekonstruksi sistem akuisisi data dengan filter menggunakan wavelet transform untuk*

- meningkatkan kinerja buoyweather station type II.* Surabaya.
- Tahtaw, A. R. (2018). Kalman filter algorithm design for HC-SR04 ultrasonic sensor data acquisition system. *IJITEE, Vol. 2, No. 1*, 15-19.
- Turjatiningsih, H. R., Arifin, S., & Aisjah, A. S. (2017). *Rancang bangun sistem pengukuran ketinggian gelombang laut menggunakan sensor IMU 9.* Surabaya.
- Uyulan, C. (2016). Comparison of wavelet families for mental task classification. *uskudar university.*
- Wafi, M. K., Arifin, S., & Aisjah, A. S. (n.d.). Perancangan monitoring kestabilan sudut pada buoyweather menggunakan sensor accelerometer MMA7361.
- Wimala L. Dhanista, S. M. (2019, July 27). *Gelombang laut.* Retrieved from Teknik Kelautan: <https://www.its.ac.id/tkelautan/gelombang-laut/>
- Wirjohamidjojo, S., & Sugarin. (2008). *Praktek meteorologi kelautan.* Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- WMO. (2018). *Guide to marine meteorological services.* Geneva 2, Switzerland: Chairperson, Publications Board.
- Yuliani, S., & Saputra, H. M. (2016). Kolaborasi kalman filter dengan complementary filter untuk mengoptimasi hasil sensor gyroscope dan accelerometer. *Seminar Nasional ITENAS* (pp. 63-68). Bandung: ITENAS.

LAMPIRAN

Lampiran A. *Source Code* Arduino Pembacaan Sensor

```
#include <Wire.h>

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

/*VCC = 3.3V
GND = GND
SDA = A4
SCL = A5 */

char c;
int accelerometer_data[3];
double x;
double y;
double z;
double ax;
double ay;
double az;
double amag ;
double V0;
double X0;
double Aa1;
double Aa2;
double Acc1;
double Acc2;
double X1;

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

    for(int i = 0; i < 3; ++i) {
```

```

    accelerometer_data[i] = 0;
}

init_adxl345();
read_adxl345();
x = accelerometer_data[0];
y = accelerometer_data[1];
z = accelerometer_data[2];
ax = x*9.81/256 ;
ay = y*9.81/256 ;
az = z*9.81/256 ;
amag = pow(ax,2)+pow(ay,2)+pow(az,2) ;
Aa1 = pow(amag,0.5)-9.81;
Acc1=Aa1;
delay(5000);
init_adxl345();
read_adxl345();
x = accelerometer_data[0];
y = accelerometer_data[1];
z = accelerometer_data[2];
ax = x*9.81/256 ;
ay = y*9.81/256 ;
az = z*9.81/256 ;
amag = pow(ax,2)+pow(ay,2)+pow(az,2) ;
Aa2 = pow(amag,0.5)-9.81;
Acc2=Aa2;
V0=0;
X0=0;
Serial.print("X1");
Serial.print("\n");
}

void loop() {
    double DA = Acc2-Acc1;
    double V1 = V0+DA;
    double DV = V1-V0 ;
    X1 = X0+DV;
}

```



```

Acc1 = Acc2;

    read_adxl345();
    x = accelerometer_data[0];
    y = accelerometer_data[1];
    z = accelerometer_data[2];
    ax = x*9.81/256 ;
    ay = y*9.81/256 ;
    az = z*9.81/256 ;
    amag = pow(ax,2)+pow(ay,2)+pow(az,2) ;
    Aa2 = pow(amag,0.5)-9.81;
    Acc2=Aa2;
    V0 = V1;
    X0 = X1;
    delay(5000);
    Serial.print(X1,5);
    Serial.print("\n");
}

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

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

    Wire.beginTransaction(address);
    Wire.write(reg);
    Wire.endTransmission();
    Wire.beginTransaction(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);
    //Serial.println((unsigned int)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);
    }
}

```

Lampiran B. Source Code MATLAB Pemrograman Algoritma Filter

```
clear all
clc

%membaca data dari excel
Data = xlsread('DATA
VALIDASI.xlsx', 'Sheet1', 'E2:E36');

%menghitung jumlah/banyaknya data
N = length(Data);

%inisialisasi variabel dalam bentuk matriks
Xsaved = zeros(N, 1);
xpsaved = zeros (N, 1);
Ppsaved = zeros (N, 1);
Ksaved = zeros (N, 1);
Psaved = zeros (N, 1);
filesaved = zeros (N, 1);

%inisialisasi kondisi awal
Q = 0.0000000001; %varian proses
R = 0.008646; %varian pengukuran

x = 0;
P = 1;

%proses kalman denoising
for i = 1:N
    file = Data(i); %membaca data yang
                    %tersimpan pada variabel
                    %Data satu persatu
    xp = x; %predict next state
    Pp = P + Q; %predict next covariance

    K = Pp/(Pp + R); %kalman gain

    x = xp + K*(file - xp); %update next stage
```

```

P = (1-K)*Pp;           %update next
                        covariance

tinggi = x;             %menyimpan hasil
                        kalman

Xsaved(i) = [tinggi];
xpsaved(i) = [xp];
Ppsaved(i) = [Pp];
Ksaved(i) = [K];
Psaved(i) = [P];
filesaved(i) = [file];
end

raw = filesaved;
kalman = Xsaved;

%proses wavelet denoising
Wavelet =
wden(kalman,'heursure','s','sln',2,'dbl');

%pengimanan hasil filter
filename = '6mm.xlsx';
A = [raw, kalman, wavelet];
xlswrite(filename,A);

```

Lampiran C. Data Pengujian Skala Laboratorium

Standard (cm)	Simpangan (cm)	Error (cm)	Persentase Error (%)
2	2.20	0.20	10.22
2	2.15	0.15	7.49
2	2.25	0.25	12.38
2	2.08	0.08	4.23
2	1.91	0.09	4.60
2	1.76	0.24	12.18
2	1.81	0.19	9.61
2	1.80	0.20	9.92
2	1.48	0.52	25.90
2	1.67	0.33	16.63
2	2.38	0.38	19.10
2	2.18	0.18	9.20
2	2.23	0.23	11.51
2	1.91	0.09	4.52
2	2.06	0.06	2.86
2	2.19	0.19	9.58
2	2.14	0.14	6.94
2	1.95	0.05	2.39
2	1.83	0.17	8.67
2	2.04	0.04	2.01
2	2.32	0.32	16.18
2	1.98	0.02	0.95
2	2.30	0.30	14.84
2	2.06	0.06	2.96
2	2.27	0.27	13.47
2	1.98	0.02	1.00
2	1.80	0.20	10.23
2	1.92	0.08	3.93
2	1.88	0.12	6.14
2	1.78	0.22	10.93
2	1.91	0.09	4.47
2	2.14	0.14	6.94
2	2.11	0.11	5.44

Standard (cm)	Simpangan (cm)	<i>Error</i> (cm)	Persentase <i>Error</i> (%)
2	2.07	0.07	3.25
2	1.84	0.16	7.94
4	4.12	0.12	3.09
4	4.47	0.47	11.67
4	4.34	0.34	8.52
4	3.97	0.03	0.64
4	3.65	0.35	8.82
4	3.75	0.25	6.31
4	4.18	0.18	4.61
4	4.22	0.22	5.48
4	3.70	0.30	7.55
4	3.85	0.15	3.83
4	4.12	0.12	2.88
4	4.42	0.42	10.58
4	4.14	0.14	3.54
4	3.69	0.31	7.65
4	3.87	0.13	3.13
4	4.29	0.29	7.29
4	3.70	0.30	7.47
4	4.07	0.07	1.76
4	3.81	0.19	4.75
4	3.72	0.28	7.01
4	3.99	0.01	0.24
4	3.76	0.25	6.13
4	3.72	0.28	6.94
4	3.71	0.29	7.19
4	3.57	0.43	10.80
4	3.74	0.26	6.47
4	3.78	0.22	5.43
4	3.58	0.42	10.42
4	3.49	0.51	12.75
4	3.52	0.48	11.88
4	3.60	0.40	9.89
4	3.91	0.09	2.26

Standard (cm)	Simpangan (cm)	Error (cm)	Persentase Error (%)
4	3.69	0.31	7.67
4	3.68	0.32	8.02
4	3.52	0.48	12.00
6	6.29	0.29	4.76
6	6.14	0.14	2.40
6	5.98	0.02	0.34
6	5.81	0.19	3.12
6	5.68	0.32	5.41
6	6.01	0.01	0.09
6	6.33	0.33	5.45
6	6.52	0.52	8.59
6	6.01	0.01	0.12
6	5.74	0.26	4.31
6	6.07	0.07	1.15
6	5.74	0.26	4.41
6	5.54	0.46	7.65
6	5.65	0.35	5.82
6	5.43	0.57	9.46
6	5.90	0.10	1.68
6	6.19	0.19	3.21
6	5.87	0.13	2.21
6	5.85	0.15	2.48
6	5.44	0.56	9.35
6	5.91	0.09	1.51
6	5.85	0.15	2.57
6	5.48	0.52	8.71
6	5.38	0.62	10.32
6	5.74	0.26	4.28
6	5.83	0.17	2.77
6	5.66	0.34	5.74
6	5.31	0.69	11.43
6	5.87	0.13	2.24
6	6.67	0.67	11.14
6	5.80	0.20	3.27

Standard (cm)	Simpangan (cm)	Error (cm)	Persentase Error (%)
6	6.20	0.20	3.38
6	6.49	0.49	8.20
6	6.29	0.29	4.80
6	5.81	0.19	3.11
8	7.79	0.21	2.62
8	7.05	0.95	11.85
8	7.83	0.17	2.14
8	7.05	0.95	11.94
8	7.00	1.00	12.54
8	7.87	0.13	1.63
8	8.38	0.38	4.79
8	7.33	0.67	8.38
8	8.07	0.07	0.89
8	7.10	0.90	11.26
8	7.59	0.41	5.13
8	7.82	0.18	2.26
8	6.97	1.03	12.90
8	6.97	1.03	12.92
8	7.04	0.96	12.04
8	7.09	0.91	11.42
8	7.95	0.05	0.58
8	7.44	0.56	6.98
8	7.57	0.43	5.38
8	7.89	0.11	1.41
8	7.66	0.34	4.21
8	6.91	1.09	13.63
8	7.23	0.77	9.62
8	8.36	0.36	4.51
8	7.09	0.91	11.32
8	7.66	0.34	4.30
8	7.68	0.32	3.98
8	8.10	0.10	1.19
8	7.70	0.30	3.81
8	7.38	0.62	7.81

Standard (cm)	Simpangan (cm)	<i>Error</i> (cm)	Persentase <i>Error</i> (%)
8	7.86	0.14	1.69
8	8.36	0.36	4.44
8	7.31	0.69	8.66
8	7.72	0.28	3.55
8	8.08	0.08	0.98
10	9.79	0.21	2.15
10	9.37	0.63	6.28
10	9.47	0.53	5.32
10	9.57	0.43	4.35
10	10.89	0.89	8.85
10	10.48	0.48	4.83
10	8.99	1.01	10.12
10	10.69	0.69	6.85
10	9.11	0.89	8.89
10	11.08	1.08	10.81
10	10.62	0.62	6.21
10	10.12	0.12	1.22
10	9.19	0.81	8.14
10	8.95	1.05	10.52
10	10.74	0.74	7.41
10	9.73	0.27	2.68
10	9.40	0.60	5.96
10	9.04	0.96	9.64
10	9.75	0.25	2.46
10	10.18	0.18	1.78
10	10.41	0.41	4.12
10	10.41	0.41	4.11
10	9.82	0.18	1.85
10	9.45	0.55	5.51
10	9.06	0.94	9.36
10	9.93	0.07	0.65
10	9.72	0.28	2.85
10	9.31	0.69	6.94
10	10.49	0.49	4.87

Standard (cm)	Simpangan (cm)	<i>Error</i> (cm)	Persentase <i>Error</i> (%)
10	9.07	0.93	9.28
10	8.95	1.05	10.47
10	10.08	0.08	0.77
10	9.98	0.02	0.18
10	9.84	0.16	1.63
10	9.46	0.54	5.40
Rata-rata			6.37

Lampiran D. Pengujian *Wave Simulator*

Standard (mm)	Ketinggian (mm)	Error (mm)	Persentase Error (%)
2	1.919	0.081	4.040
2	1.923	0.077	3.845
2	2.319	0.319	15.940
2	1.919	0.081	4.040
2	1.169	0.831	41.565
2	2.683	0.683	34.160
2	1.583	0.417	20.865
2	2.686	0.686	34.280
2	2.721	0.721	36.035
2	2.363	0.363	18.140
2	3.106	1.106	55.305
2	2.327	0.327	16.335
2	2.397	0.397	19.825
2	2.694	0.694	34.685
2	2.717	0.717	35.840
2	2.306	0.306	15.275
2	1.956	0.044	2.190
2	2.746	0.746	37.290
2	2.312	0.312	15.590
2	1.936	0.064	3.215
2	2.302	0.302	15.120
2	1.947	0.053	2.660
2	2.350	0.350	17.475
2	1.994	0.006	0.300
2	2.319	0.319	15.940
2	2.697	0.697	34.865
2	2.733	0.733	36.625

Standard (mm)	Ketinggian (mm)	<i>Error</i> (mm)	<i>Persentase Error</i> (%)
2	2.338	0.338	16.885
2	2.330	0.330	16.490
2	2.723	0.723	36.155
2	3.096	1.096	54.800
2	2.319	0.319	15.940
2	1.923	0.077	3.845
2	2.305	0.305	15.235
2	2.314	0.314	15.705
4	3.918	0.082	2.040
4	3.321	0.679	16.985
4	4.169	0.169	4.222
4	3.725	0.275	6.870
4	4.694	0.694	17.350
4	2.711	1.290	32.238
4	3.035	0.965	24.123
4	3.925	0.076	1.888
4	3.847	0.153	3.818
4	3.891	0.109	2.718
4	3.681	0.319	7.973
4	3.588	0.412	10.295
4	3.484	0.516	12.910
4	3.670	0.331	8.263
4	3.616	0.384	9.598
4	4.219	0.219	5.472
4	2.935	1.065	26.635
4	4.038	0.038	0.947
4	4.602	0.602	15.050
4	3.971	0.029	0.730

Standard (mm)	Ketinggian (mm)	Error (mm)	Persentase Error (%)
4	4.598	0.598	14.938
4	3.355	0.645	16.130
4	4.258	0.258	6.453
4	4.280	0.280	7.010
4	3.728	0.273	6.813
4	4.054	0.054	1.352
4	4.626	0.626	15.645
4	2.729	1.271	31.770
4	3.546	0.454	11.360
4	3.650	0.350	8.745
4	4.215	0.215	5.380
4	2.701	1.299	32.473
4	3.355	0.645	16.130
4	3.725	0.275	6.870
4	3.321	0.679	16.985
6	6.254	0.254	4.228
6	5.762	0.238	3.960
6	5.721	0.279	4.657
6	6.650	0.650	10.833
6	6.030	0.030	0.507
6	5.980	0.020	0.328
6	5.838	0.162	2.693
6	6.303	0.303	5.048
6	6.360	0.360	5.993
6	6.769	0.769	12.817
6	6.734	0.734	12.227
6	5.011	0.989	16.488
6	5.091	0.909	15.148

Standard (mm)	Ketinggian (mm)	<i>Error</i> (mm)	<i>Persentase Error (%)</i>
6	6.461	0.461	7.685
6	6.403	0.403	6.723
6	6.464	0.464	7.730
6	5.923	0.077	1.277
6	6.146	0.146	2.425
6	6.914	0.914	15.235
6	6.464	0.464	7.730
6	6.578	0.578	9.628
6	5.347	0.653	10.883
6	5.764	0.236	3.932
6	6.623	0.623	10.385
6	6.355	0.355	5.915
6	5.793	0.207	3.453
6	5.716	0.284	4.728
6	6.606	0.606	10.097
6	6.187	0.187	3.120
6	6.454	0.454	7.572
6	6.193	0.193	3.217
6	6.202	0.202	3.373
6	6.811	0.811	13.510
6	5.998	0.002	0.035
6	5.443	0.557	9.280
8	6.698	1.302	16.274
8	7.078	0.922	11.528
8	6.954	1.046	13.080
8	7.798	0.202	2.524
8	6.956	1.044	13.051
8	7.637	0.363	4.534

Standard (mm)	Ketinggian (mm)	Error (mm)	Persentase Error (%)
8	6.574	1.426	17.823
8	7.698	0.302	3.773
8	7.716	0.284	3.546
8	7.606	0.394	4.928
8	6.187	1.813	22.660
8	8.454	0.454	5.679
8	8.193	0.193	2.413
8	7.349	0.651	8.139
8	6.965	1.035	12.938
8	7.012	0.988	12.351
8	8.114	0.114	1.430
8	6.006	1.994	24.923
8	7.765	0.235	2.936
8	6.535	1.465	18.316
8	8.028	0.028	0.354
8	6.996	1.004	12.550
8	7.397	0.603	7.536
8	8.498	0.498	6.220
8	8.349	0.349	4.364
8	8.870	0.870	10.870
8	9.392	1.392	17.396
8	7.765	0.235	2.936
8	8.532	0.532	6.648
8	7.740	0.260	3.246
8	7.548	0.452	5.653
8	7.324	0.676	8.450
8	9.252	1.252	15.650
8	10.046	2.046	25.570

Standard (mm)	Ketinggian (mm)	<i>Error</i> (mm)	<i>Persentase Error</i> (%)
8	8.046	0.046	0.579
10	10.202	0.202	2.016
10	11.137	1.137	11.370
10	8.988	1.012	10.121
10	10.193	0.193	1.929
10	10.193	0.193	1.929
10	10.681	0.681	6.809
10	11.068	1.068	10.679
10	11.144	1.144	11.442
10	11.091	1.091	10.909
10	9.631	0.369	3.691
10	9.882	0.118	1.179
10	10.155	0.155	1.551
10	12.065	2.065	20.653
10	10.210	0.210	2.096
10	10.443	0.443	4.433
10	10.218	0.218	2.176
10	10.959	0.959	9.590
10	10.330	0.330	3.302
10	9.686	0.314	3.143
10	11.053	1.053	10.527
10	10.763	0.763	7.626
10	9.917	0.083	0.830
10	10.584	0.584	5.839
10	10.261	0.260	2.605
10	10.301	0.301	3.011
10	10.634	0.634	6.338
10	9.202	0.798	7.976

Standard (mm)	Ketinggian (mm)	<i>Error</i> (mm)	<i>Persentase Error (%)</i>
10	9.811	0.189	1.894
10	9.998	0.002	0.021
10	11.551	1.551	15.509
10	9.402	0.598	5.981
10	10.041	0.041	0.409
10	11.267	1.267	12.666
10	11.774	1.774	17.738
10	9.972	0.028	0.276
Rata-rata			11.124

Lampiran E. Data Hasil *Filter* Pengujian Sensor Menggunakan *Wave Simulator*

Standard (mm)	Raw (mm)	Error Raw (mm)	Persentase Error Raw (%)	Kalman (mm)	Kalman - Wavelet (mm)	Error Kalman (mm)	Error Kalman - Wavelet (mm)	Persentase Error Kalman (%)	Persentase Error Kalman - Wavelet (%)
2	1.919	0.081	4.040	1.903	1.912	0.097	0.088	4.863	4.379
2	1.923	0.077	3.845	1.913	1.912	0.087	0.088	4.356	4.379
2	2.319	0.319	15.940	2.048	2.039	0.048	0.039	2.390	1.959
2	1.919	0.081	4.040	2.016	2.026	0.016	0.026	0.786	1.282
2	1.169	0.831	41.565	1.847	1.864	0.153	0.136	7.670	6.782
2	2.683	0.683	34.160	1.986	1.985	0.014	0.015	0.708	0.747
2	1.583	0.417	20.865	1.928	1.942	0.072	0.058	3.584	2.894
2	2.686	0.686	34.280	2.023	2.018	0.023	0.018	1.144	0.907
2	2.721	0.721	36.035	2.100	2.109	0.100	0.109	5.017	5.447
2	2.363	0.363	18.140	2.127	2.117	0.127	0.117	6.328	5.832
2	3.106	1.106	55.305	2.216	2.216	0.216	0.216	10.777	10.778
2	2.327	0.327	16.335	2.225	2.216	0.225	0.216	11.240	10.778

Standard (mm)	Raw (mm)	Error Raw (mm)	Persent ase Error Raw (%)	Kalman (mm)	Kalman - Wavelet (mm)	Error Kalman (mm)	Error Kalman - Wavelet (mm)	Persent ase Error Kalman (%)	Persenta se Error Kalman - Wavelet (%)
2	2.397	0.397	19.825	2.238	2.243	0.238	0.243	11.900	12.137
2	2.694	0.694	34.685	2.271	2.257	0.271	0.257	13.526	12.837
2	2.717	0.717	35.840	2.300	2.292	0.300	0.292	15.013	14.597
2	2.306	0.306	15.275	2.301	2.292	0.301	0.292	15.029	14.597
2	1.956	0.044	2.190	2.280	2.294	0.280	0.294	14.017	14.711
2	2.746	0.746	37.290	2.306	2.302	0.306	0.302	15.309	15.077
2	2.312	0.312	15.590	2.306	2.298	0.306	0.298	15.324	14.894
2	1.936	0.064	3.215	2.288	2.298	0.288	0.298	14.398	14.894
2	2.302	0.302	15.120	2.289	2.285	0.289	0.285	14.432	14.270
2	1.947	0.053	2.660	2.273	2.285	0.273	0.285	13.655	14.270
2	2.350	0.350	17.475	2.276	2.279	0.276	0.279	13.821	13.951
2	1.994	0.006	0.300	2.265	2.279	0.265	0.279	13.233	13.951
2	2.319	0.319	15.940	2.267	2.274	0.267	0.274	13.341	13.722

Standard (mm)	Raw (mm)	Error Raw (mm)	Persent ase Error Raw (%)	Kalman (mm)	Kalman - Wavelet (mm)	Error Kalman (mm)	Error Kalman - Wavelet (mm)	Persent ase Error Kalman (%)	Persenta se Error Kalman - Wavelet (%)
2	2.697	0.697	34.865	2.283	2.274	0.283	0.274	14.169	13.722
2	2.733	0.733	36.625	2.300	2.296	0.300	0.296	15.000	14.804
2	2.338	0.338	16.885	2.301	2.296	0.301	0.296	15.068	14.804
2	2.330	0.330	16.490	2.302	2.305	0.302	0.305	15.117	15.241
2	2.723	0.723	36.155	2.316	2.305	0.316	0.305	15.818	15.241
2	3.096	1.096	54.800	2.341	2.333	0.341	0.333	17.075	16.633
2	2.319	0.319	15.940	2.341	2.333	0.341	0.333	17.039	16.633
2	1.923	0.077	3.845	2.328	2.321	0.328	0.321	16.407	16.050
2	2.305	0.305	15.235	2.327	2.321	0.327	0.321	16.372	16.050
2	2.314	0.314	15.705	2.327	2.321	0.327	0.321	16.353	16.050
4	3.918	0.082	2.040	3.885	3.872	0.115	0.128	2.880	3.196
4	3.321	0.679	16.985	3.604	3.631	0.396	0.369	9.902	9.220
4	4.169	0.169	4.222	3.792	3.776	0.208	0.224	5.207	5.598

Standard (mm)	Raw (mm)	Error Raw (mm)	Persent ase Error Raw (%)	Kalman (mm)	Kalman - Wavelet (mm)	Error Kalman (mm)	Error Kalman - Wavelet (mm)	Persent ase Error Kalman (%)	Persenta se Error Kalman - Wavelet (%)
4	3.725	0.275	6.870	3.775	3.776	0.225	0.224	5.622	5.598
4	4.694	0.694	17.350	3.959	3.931	0.041	0.069	1.036	1.718
4	2.711	1.290	32.238	3.751	3.764	0.249	0.236	6.228	5.912
4	3.035	0.965	24.123	3.649	3.673	0.351	0.327	8.782	8.168
4	3.925	0.076	1.888	3.683	3.673	0.317	0.327	7.921	8.168
4	3.847	0.153	3.818	3.701	3.711	0.299	0.289	7.465	7.221
4	3.891	0.109	2.718	3.720	3.711	0.280	0.289	6.991	7.221
4	3.681	0.319	7.973	3.717	3.711	0.283	0.289	7.080	7.221
4	3.588	0.412	10.295	3.706	3.711	0.294	0.289	7.348	7.221
4	3.484	0.516	12.910	3.689	3.694	0.311	0.306	7.775	7.652
4	3.670	0.331	8.263	3.688	3.694	0.312	0.306	7.810	7.652
4	3.616	0.384	9.598	3.683	3.694	0.317	0.306	7.929	7.652
4	4.219	0.219	5.472	3.716	3.694	0.284	0.306	7.092	7.652

Standard (mm)	Raw (mm)	Error Raw (mm)	Persent ase Error Raw (%)	Kalman (mm)	Kalman - Wavelet (mm)	Error Kalman (mm)	Error Kalman - Wavelet (mm)	Persent ase Error Kalman (%)	Persenta se Error Kalman - Wavelet (%)
4	2.935	1.065	26.635	3.670	3.688	0.330	0.312	8.241	7.803
4	4.038	0.038	0.947	3.691	3.688	0.309	0.312	7.731	7.803
4	4.602	0.602	15.050	3.739	3.737	0.261	0.263	6.532	6.570
4	3.971	0.029	0.730	3.750	3.737	0.250	0.263	6.242	6.570
4	4.598	0.598	14.938	3.791	3.788	0.209	0.212	5.234	5.299
4	3.355	0.645	16.130	3.771	3.788	0.229	0.212	5.729	5.299
4	4.258	0.258	6.453	3.792	3.795	0.208	0.205	5.200	5.128
4	4.280	0.280	7.010	3.812	3.795	0.188	0.205	4.691	5.128
4	3.728	0.273	6.813	3.809	3.821	0.191	0.179	4.776	4.475
4	4.054	0.054	1.352	3.818	3.821	0.182	0.179	4.540	4.475
4	4.626	0.626	15.645	3.848	3.821	0.152	0.179	3.793	4.475
4	2.729	1.271	31.770	3.808	3.821	0.192	0.179	4.792	4.475
4	3.546	0.454	11.360	3.799	3.794	0.201	0.206	5.018	5.158

Standard (mm)	Raw (mm)	Error Raw (mm)	Persent ase Error Raw (%)	Kalman (mm)	Kalman - Wavelet (mm)	Error Kalman (mm)	Error Kalman - Wavelet (mm)	Persent ase Error Kalman (%)	Persenta se Error Kalman - Wavelet (%)
4	3.650	0.350	8.745	3.794	3.794	0.206	0.206	5.143	5.158
4	4.215	0.215	5.380	3.808	3.794	0.192	0.206	4.803	5.158
4	2.701	1.299	32.473	3.773	3.794	0.227	0.206	5.668	5.158
4	3.355	0.645	16.130	3.761	3.754	0.239	0.246	5.985	6.161
4	3.725	0.275	6.870	3.760	3.754	0.240	0.246	6.011	6.161
4	3.321	0.679	16.985	3.747	3.754	0.253	0.246	6.324	6.161
6	6.254	0.254	4.228	6.200	6.185	0.200	0.185	3.335	3.080
6	5.762	0.238	3.960	5.982	5.990	0.018	0.010	0.297	0.160
6	5.721	0.279	4.657	5.895	5.911	0.105	0.089	1.746	1.491
6	6.650	0.650	10.833	6.084	6.075	0.084	0.075	1.392	1.256
6	6.030	0.030	0.507	6.073	6.062	0.073	0.062	1.215	1.028
6	5.980	0.020	0.328	6.058	6.062	0.058	0.062	0.958	1.028
6	5.838	0.162	2.693	6.026	6.042	0.026	0.042	0.437	0.692

Standard (mm)	Raw (mm)	Error Raw (mm)	Persent ase Error Raw (%)	Kalman (mm)	Kalman - Wavelet (mm)	Error Kalman (mm)	Error Kalman - Wavelet (mm)	Persent ase Error Kalman (%)	Persenta se Error Kalman - Wavelet (%)
6	6.303	0.303	5.048	6.061	6.053	0.061	0.053	1.013	0.877
6	6.360	0.360	5.993	6.094	6.109	0.094	0.109	1.566	1.821
6	6.769	0.769	12.817	6.161	6.153	0.161	0.153	2.690	2.553
6	6.734	0.734	12.227	6.213	6.198	0.213	0.198	3.556	3.301
6	5.011	0.989	16.488	6.113	6.121	0.113	0.121	1.887	2.024
6	5.091	0.909	15.148	6.035	6.050	0.035	0.050	0.578	0.833
6	6.461	0.461	7.685	6.065	6.057	0.065	0.057	1.085	0.948
6	6.403	0.403	6.723	6.088	6.096	0.088	0.096	1.461	1.597
6	6.464	0.464	7.730	6.111	6.096	0.111	0.096	1.852	1.597
6	5.923	0.077	1.277	6.100	6.105	0.100	0.105	1.668	1.749
6	6.146	0.146	2.425	6.103	6.105	0.103	0.105	1.710	1.749
6	6.914	0.914	15.235	6.145	6.150	0.145	0.150	2.422	2.495
6	6.464	0.464	7.730	6.161	6.150	0.161	0.150	2.687	2.495

Standard (mm)	Raw (mm)	Error Raw (mm)	Persent ase Error Raw (%)	Kalman (mm)	Kalman - Wavelet (mm)	Error Kalman (mm)	Error Kalman - Wavelet (mm)	Persent ase Error Kalman (%)	Persenta se Error Kalman - Wavelet (%)
6	6.578	0.578	9.628	6.181	6.166	0.181	0.166	3.018	2.762
6	5.347	0.653	10.883	6.143	6.151	0.143	0.151	2.386	2.522
6	5.764	0.236	3.932	6.127	6.141	0.127	0.141	2.111	2.343
6	6.623	0.623	10.385	6.147	6.141	0.147	0.141	2.456	2.343
6	6.355	0.355	5.915	6.156	6.145	0.156	0.145	2.594	2.419
6	5.793	0.207	3.453	6.142	6.145	0.142	0.145	2.362	2.419
6	5.716	0.284	4.728	6.126	6.138	0.126	0.138	2.099	2.301
6	6.606	0.606	10.097	6.143	6.138	0.143	0.138	2.385	2.301
6	6.187	0.187	3.120	6.145	6.153	0.145	0.153	2.410	2.555
6	6.454	0.454	7.572	6.155	6.153	0.155	0.153	2.582	2.555
6	6.193	0.193	3.217	6.156	6.153	0.156	0.153	2.603	2.555
6	6.202	0.202	3.373	6.158	6.153	0.158	0.153	2.627	2.555
6	6.811	0.811	13.510	6.177	6.171	0.177	0.171	2.956	2.853

Standard (mm)	Raw (mm)	Error Raw (mm)	Persent ase Error Raw (%)	Kalman (mm)	Kalman - Wavelet (mm)	Error Kalman (mm)	Error Kalman - Wavelet (mm)	Persent ase Error Kalman (%)	Persenta se Error Kalman - Wavelet (%)
6	5.998	0.002	0.035	6.172	6.171	0.172	0.171	2.868	2.853
6	5.443	0.557	9.280	6.151	6.155	0.151	0.155	2.521	2.581
8	6.698	1.302	16.274	6.641	6.745	1.359	1.255	16.991	15.683
8	7.078	0.922	11.528	6.858	6.825	1.142	1.175	14.271	14.692
8	6.954	1.046	13.080	6.890	6.960	1.110	1.040	13.875	13.002
8	7.798	0.202	2.524	7.117	7.048	0.883	0.952	11.044	11.899
8	6.956	1.044	13.051	7.084	7.141	0.916	0.859	11.444	10.741
8	7.637	0.363	4.534	7.176	7.141	0.824	0.859	10.294	10.741
8	6.574	1.426	17.823	7.091	7.141	0.909	0.859	11.368	10.741
8	7.698	0.302	3.773	7.166	7.141	0.834	0.859	10.420	10.741
8	7.716	0.284	3.546	7.227	7.222	0.773	0.778	9.657	9.721
8	7.606	0.394	4.928	7.265	7.222	0.735	0.778	9.184	9.721
8	6.187	1.813	22.660	7.167	7.222	0.833	0.778	10.408	9.721

Standard (mm)	Raw (mm)	Error Raw (mm)	Persent ase Error Raw (%)	Kalman (mm)	Kalman - Wavelet (mm)	Error Kalman (mm)	Error Kalman - Wavelet (mm)	Persent ase Error Kalman (%)	Persenta se Error Kalman - Wavelet (%)
8	8.454	0.454	5.679	7.274	7.222	0.726	0.778	9.069	9.721
8	8.193	0.193	2.413	7.345	7.310	0.655	0.690	8.186	8.628
8	7.349	0.651	8.139	7.345	7.310	0.655	0.690	8.183	8.628
8	6.965	1.035	12.938	7.320	7.310	0.680	0.690	8.500	8.628
8	7.012	0.988	12.351	7.301	7.310	0.699	0.690	8.740	8.628
8	8.114	0.114	1.430	7.349	7.314	0.651	0.686	8.142	8.573
8	6.006	1.994	24.923	7.274	7.314	0.726	0.686	9.074	8.573
8	7.765	0.235	2.936	7.300	7.314	0.700	0.686	8.751	8.573
8	6.535	1.465	18.316	7.262	7.314	0.738	0.686	9.229	8.573
8	8.028	0.028	0.354	7.298	7.314	0.702	0.686	8.773	8.573
8	6.996	1.004	12.550	7.284	7.314	0.716	0.686	8.945	8.573
8	7.397	0.603	7.536	7.289	7.314	0.711	0.686	8.883	8.573
8	8.498	0.498	6.220	7.340	7.314	0.660	0.686	8.254	8.573

Standard (mm)	Raw (mm)	Error Raw (mm)	Persent ase Error Raw (%)	Kalman (mm)	Kalman - Wavelet (mm)	Error Kalman (mm)	Error Kalman - Wavelet (mm)	Persent ase Error Kalman (%)	Persenta se Error Kalman - Wavelet (%)
8	8.349	0.349	4.364	7.380	7.415	0.620	0.585	7.750	7.315
8	8.870	0.870	10.870	7.437	7.415	0.563	0.585	7.034	7.315
8	9.392	1.392	17.396	7.510	7.486	0.490	0.514	6.129	6.431
8	7.765	0.235	2.936	7.519	7.486	0.481	0.514	6.015	6.431
8	8.532	0.532	6.648	7.554	7.538	0.446	0.462	5.579	5.772
8	7.740	0.260	3.246	7.560	7.538	0.440	0.462	5.501	5.772
8	7.548	0.452	5.653	7.560	7.538	0.440	0.462	5.506	5.772
8	7.324	0.676	8.450	7.552	7.538	0.448	0.462	5.598	5.772
8	9.252	1.252	15.650	7.604	7.675	0.396	0.325	4.954	4.062
8	10.046	2.046	25.570	7.675	7.675	0.325	0.325	4.057	4.062
8	8.046	0.046	0.579	7.686	7.695	0.314	0.305	3.924	3.807
10	10.202	0.202	2.016	10.114	10.134	0.114	0.134	1.142	1.336
10	11.137	1.137	11.370	10.623	10.597	0.623	0.597	6.234	5.975

Standard (mm)	Raw (mm)	Error Raw (mm)	Persent ase Error Raw (%)	Kalman (mm)	Kalman - Wavelet (mm)	Error Kalman (mm)	Error Kalman - Wavelet (mm)	Persent ase Error Kalman (%)	Persenta se Error Kalman - Wavelet (%)
10	8.988	1.012	10.121	10.080	10.111	0.080	0.111	0.798	1.112
10	10.193	0.193	1.929	10.108	10.111	0.108	0.111	1.080	1.112
10	10.193	0.193	1.929	10.125	10.162	0.125	0.162	1.250	1.616
10	10.681	0.681	6.809	10.217	10.209	0.217	0.209	2.175	2.087
10	11.068	1.068	10.679	10.339	10.355	0.339	0.355	3.388	3.549
10	11.144	1.144	11.442	10.439	10.410	0.439	0.410	4.394	4.101
10	11.091	1.091	10.909	10.512	10.486	0.512	0.486	5.117	4.858
10	9.631	0.369	3.691	10.424	10.443	0.424	0.443	4.237	4.431
10	9.882	0.118	1.179	10.375	10.383	0.375	0.383	3.745	3.827
10	10.155	0.155	1.551	10.356	10.383	0.356	0.383	3.562	3.827
10	12.065	2.065	20.653	10.488	10.472	0.488	0.472	4.876	4.717
10	10.210	0.210	2.096	10.468	10.472	0.468	0.472	4.678	4.717
10	10.443	0.443	4.433	10.466	10.472	0.466	0.472	4.661	4.717

Standard (mm)	Raw (mm)	Error Raw (mm)	Persent ase Error Raw (%)	Kalman (mm)	Kalman - Wavelet (mm)	Error Kalman (mm)	Error Kalman - Wavelet (mm)	Persent ase Error Kalman (%)	Persenta se Error Kalman - Wavelet (%)
10	10.218	0.218	2.176	10.451	10.472	0.451	0.472	4.506	4.717
10	10.959	0.959	9.590	10.480	10.459	0.480	0.459	4.805	4.590
10	10.330	0.330	3.302	10.472	10.459	0.472	0.459	4.722	4.590
10	9.686	0.314	3.143	10.431	10.450	0.431	0.450	4.308	4.495
10	11.053	1.053	10.527	10.462	10.450	0.462	0.450	4.619	4.495
10	10.763	0.763	7.626	10.476	10.454	0.476	0.454	4.762	4.543
10	9.917	0.083	0.830	10.451	10.454	0.451	0.454	4.508	4.543
10	10.584	0.584	5.839	10.457	10.454	0.457	0.454	4.566	4.543
10	10.261	0.260	2.605	10.448	10.454	0.448	0.454	4.484	4.543
10	10.301	0.301	3.011	10.443	10.429	0.443	0.429	4.425	4.289
10	10.634	0.634	6.338	10.450	10.429	0.450	0.429	4.499	4.289
10	9.202	0.798	7.976	10.404	10.396	0.404	0.396	4.037	3.963
10	9.811	0.189	1.894	10.382	10.396	0.382	0.396	3.825	3.963

Standard (mm)	Raw (mm)	Error Raw (mm)	Persent ase Error Raw (%)	Kalman (mm)	Kalman - Wavelet (mm)	Error Kalman (mm)	Error Kalman - Wavelet (mm)	Persent ase Error Kalman (%)	Persenta se Error Kalman - Wavelet (%)
10	9.998	0.002	0.021	10.369	10.376	0.369	0.376	3.692	3.762
10	11.551	1.551	15.509	10.409	10.376	0.409	0.376	4.086	3.762
10	9.402	0.598	5.981	10.376	10.376	0.376	0.376	3.761	3.762
10	10.041	0.041	0.409	10.366	10.376	0.366	0.376	3.657	3.762
10	11.267	1.267	12.666	10.393	10.431	0.393	0.431	3.930	4.306
10	11.774	1.774	17.738	10.434	10.431	0.434	0.431	4.336	4.306
10	9.972	0.028	0.276	10.420	10.431	0.420	0.431	4.204	4.306
Rata- rata			11.1238			0.336	0.335	6.435	6.3995

Lampiran F. Data Pengujian *Real* di Laut Kenjeran

Sensor (cm)	Kalman Filter (cm)	Wavelet Filter (cm)
0.040	0.040	4.972
4.210	3.902	4.972
9.010	8.631	4.972
7.210	7.315	4.972
4.130	4.366	3.746
0.710	0.981	3.746
1.150	1.137	3.746
9.090	8.501	3.746
12.120	11.852	3.502
0.514	1.354	3.502
0.595	0.652	3.502
0.110	0.150	3.502
0.070	0.076	3.169
0.040	0.043	3.169
4.170	3.864	3.169
9.080	8.693	3.169
6.750	6.894	7.635
13.040	12.584	7.635
7.210	7.608	7.635
3.120	3.453	7.635
9.060	8.644	5.561
9.000	8.974	5.561
1.260	1.832	5.561
2.870	2.793	5.561
1.230	1.346	3.907
0.090	0.183	3.907
5.680	5.273	3.907
9.110	8.826	3.907

Sensor (cm)	Kalman Filter (cm)	Wavelet Filter (cm)
0.901	1.488	3.903
3.934	3.753	3.903
7.722	7.428	3.903
2.585	2.944	3.903
3.984	3.907	7.071
4.193	4.172	7.071
8.514	8.192	7.071
12.320	12.014	7.071
5.304	5.801	3.311
2.938	3.150	3.311
0.054	0.284	3.311
4.309	4.010	3.311
9.060	8.686	2.767
0.464	1.073	2.767
0.574	0.611	2.767
0.704	0.697	2.767
0.220	0.256	4.297
6.346	5.895	4.297
9.060	8.825	4.297
1.684	2.214	4.297
0.572	0.694	0.507
0.772	0.766	0.507
0.287	0.323	0.507
0.241	0.247	0.507
0.454	0.439	0.809
2.583	2.424	0.809
0.167	0.334	0.809
0.018	0.041	0.809
9.060	8.392	7.324

Sensor (cm)	Kalman Filter (cm)	Wavelet Filter (cm)
3.237	3.619	7.324
12.065	11.439	7.324
5.398	5.846	7.324
7.395	7.280	3.977
0.261	0.781	3.977
2.332	2.217	3.977
5.904	5.630	3.977
7.890	7.723	6.907
9.060	8.961	6.907
4.669	4.987	6.907
6.037	5.959	6.907
10.210	9.895	5.524
0.786	1.461	5.524
3.820	3.645	5.524
7.371	7.095	5.524
0.512	1.000	1.321
2.117	2.035	1.321
0.049	0.196	1.321
2.202	2.053	1.321
10.443	9.821	7.414
5.427	5.752	7.414
6.388	6.341	7.414
7.854	7.742	7.414
0.718	1.239	3.449
4.830	4.564	3.449
7.665	7.435	3.449
0.006	0.557	3.449
1.730	1.643	4.880
4.965	4.719	4.880

Sensor (cm)	Kalman Filter (cm)	Wavelet Filter (cm)
9.060	8.738	4.880
4.075	4.420	4.880
0.519	0.809	3.826
6.702	6.265	3.826
1.485	1.839	3.826
6.757	6.392	3.826
7.722	7.623	3.114
3.309	3.629	3.114
0.829	1.037	3.114
0.096	0.166	3.114
1.899	1.771	0.726
0.391	0.493	0.726
0.206	0.228	0.726
0.425	0.411	0.726
4.145	4.145	4.145

Lampiran G. Data Pengujian Ketinggian Gelombang Menggunakan *Wave Simulator* pada Penelitian Sebelumnya

Ketinggian (mm)	Raw Data (mm)	Error Sebelum Filter (mm)	Error Setelah Filter (mm)	Persentase Error Sebelum Filter (%)	Persentase Error Setelah Filter (%)
4	4.29	0.2900	0.6416	7.2492	16.0390
4	3.60	0.3995	0.6416	9.9883	16.0390
4	3.87	0.1281	0.6416	3.2014	16.0390
4	4.68	0.6815	0.6416	17.0370	16.0390
4	2.55	1.4544	0.5662	36.3609	14.1558
4	4.57	0.5668	0.5662	14.1711	14.1558
4	6.26	2.2577	0.7169	56.4423	17.9223
4	5.85	1.8486	0.7169	46.2162	17.9223
4	5.12	1.1201	0.6416	28.0027	16.0390
4	4.14	0.1418	0.6416	3.5461	16.0390
5	3.69	1.3078	0.3584	26.1561	7.1688
5	5.26	0.2578	0.3584	5.1561	7.1688
5	5.76	0.7555	0.2949	15.1090	5.8982

Ketinggian (mm)	Raw Data (mm)	Error Sebelum Filter (mm)	Error Setelah Filter (mm)	Persentase Error Sebelum Filter (%)	Persentase Error Setelah Filter (%)
5	6.91	1.9131	0.2949	38.2624	5.8982
5	4.68	0.3187	0.4220	6.3741	8.4394
5	3.04	1.9594	0.4220	39.1890	8.4394
5	4.71	0.2925	0.0357	5.8505	0.7135
5	4.73	0.2727	0.0357	5.4547	0.7135
5	4.63	0.3690	0.0357	7.3790	0.7135
5	4.47	0.5304	0.0357	10.6083	0.7135
6	7.47	1.4738	0.2966	24.5639	4.9428
6	2.46	3.5438	1.6321	59.0629	27.2014
6	5.45	0.5535	0.9643	9.2245	16.0721
6	4.70	1.3018	0.9643	21.6959	16.0721
6	5.13	0.8698	0.5762	14.4959	9.6034
6	5.45	0.5495	0.5762	9.1587	9.6034
6	6.47	0.4748	0.5762	7.9133	9.6034

Ketinggian (mm)	Raw Data (mm)	Error Sebelum Filter (mm)	Error Setelah Filter (mm)	Persentase Error Sebelum Filter (%)	Persentase Error Setelah Filter (%)
6	4.74	1.2612	0.5762	21.0206	9.6034
6	5.78	0.2171	0.5762	3.6187	9.6034
6	6.39	0.3888	0.5762	6.4795	9.6034
7	6.56	0.4384	1.5762	6.2624	22.5172
7	4.54	2.4620	1.5762	35.1715	22.5172
7	6.65	0.3540	0.7110	5.0578	10.1574
7	6.57	0.4250	0.7110	6.0720	10.1574
7	7.85	0.8527	0.7110	12.1807	10.1574
7	6.15	0.8462	0.7110	12.0881	10.1574
7	6.12	0.8795	0.9745	12.5636	13.9211
7	5.27	1.7299	0.9745	24.7128	13.9211
7	4.12	2.8811	0.9745	41.1591	13.9211
7	4.85	2.1541	0.9745	30.7728	13.9211
8	6.64	1.3648	1.4151	17.0599	17.6881

Ketinggian (mm)	Raw Data (mm)	Error Sebelum Filter (mm)	Error Setelah Filter (mm)	Persentase Error Sebelum Filter (%)	Persentase Error Setelah Filter (%)
8	8.98	0.9838	1.4151	12.2973	17.6881
8	7.00	1.0025	1.4151	12.5311	17.6881
8	7.47	0.5300	1.4151	6.6254	17.6881
8	4.47	3.5301	1.6998	44.1264	21.2481
8	5.78	2.2205	1.6998	27.7557	21.2481
8	7.42	0.5778	1.6998	7.2220	21.2481
8	5.46	2.5425	1.6998	31.7818	21.2481
8	4.67	3.3341	0.8707	41.6767	10.8840
8	8.03	0.0272	0.8707	0.3399	10.8840
9	7.47	1.5290	1.8707	16.9887	20.7857
9	9.22	0.2244	1.8707	2.4932	20.7857
9	6.67	2.3272	1.8707	25.8575	20.7857
9	7.07	1.9316	1.8707	21.4623	20.7857
9	6.35	2.6516	1.8707	29.4623	20.7857

Ketinggian (mm)	Raw Data (mm)	Error Sebelum Filter (mm)	Error Setelah Filter (mm)	Persentase Error Sebelum Filter (%)	Persentase Error Setelah Filter (%)
9	5.88	3.1190	1.8707	34.6557	20.7857
9	6.69	2.3105	1.8707	25.6721	20.7857
9	6.00	2.9972	1.8707	33.3027	20.7857
9	6.82	2.1806	1.8707	24.2292	20.7857
9	7.45	1.5490	1.8707	17.2115	20.7857
10	8.50	1.5012	2.8707	15.0124	28.7072
10	9.12	0.8793	2.8707	8.7927	28.7072
10	7.19	2.8063	2.8707	28.0634	28.7072
10	6.93	3.0663	2.8707	30.6630	28.7072
10	8.96	1.0373	1.3109	10.3725	13.1091
10	6.65	3.3534	1.3109	33.5345	13.1091
10	10.06	0.0613	1.3109	0.6126	13.1091
10	7.88	2.1218	1.3109	21.2176	13.1091
10	5.18	4.8157	2.0724	48.1569	20.7241

Ketinggian (mm)	Raw Data (mm)	Error Sebelum Filter (mm)	Error Setelah Filter (mm)	Persentase Error Sebelum Filter (%)	Persentase Error Setelah Filter (%)
10	8.09	1.9092	2.0724	19.0924	20.7241
13	8.98	4.0230	3.5494	30.9463	27.3031
13	12.04	0.9633	3.5494	7.4100	27.3031
13	10.68	2.3214	1.7918	17.8567	13.7829
13	10.66	2.3415	1.7918	18.0116	13.7829
13	10.62	2.3838	1.7918	18.3372	13.7829
13	12.82	0.1799	1.7918	1.3841	13.7829
13	11.28	1.7242	1.7918	13.2632	13.7829
13	11.63	1.3660	1.7918	10.5077	13.7829
13	12.74	0.2552	1.7918	1.9630	13.7829
13	10.91	2.0870	1.7918	16.0537	13.7829
Rata-rata		1.4582	1.2641	19.1129	15.3558

Lampiran H. Datasheet Adxl345

ADXL345

SPECIFICATIONS

T_A = 25°C, V_S = 2.5 V, V_{DDIO} = 1.8 V, acceleration = 0 g, C_S = 1 µF tantalum, C_{IO} = 0.1 µF, unless otherwise noted.

Table 1. Specifications¹

Parameter	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
SENSOR INPUT					
Measurement Range	Each axis		±2, ±4, ±8, ±16		g
Nonlinearity	User selectable		±0.5		%
Inter-Axis Alignment Error	Percentage of full scale		±0.1		Degrees
Cross-Axis Sensitivity ²			±1		%
OUTPUT RESOLUTION					
All g Ranges	Each axis		10		Bits
±2 g Range	10-bit resolution		10		Bits
±4 g Range	Full resolution		11		Bits
±8 g Range	Full resolution		12		Bits
±16 g Range	Full resolution		13		Bits
SENSITIVITY					
Sensitivity at X _{OUT} , Y _{OUT} , Z _{OUT}	Each axis	232	256	286	LSB/g
Scale Factor at X _{OUT} , Y _{OUT} , Z _{OUT}	±2 g, 10-bit or full resolution	3.5	3.9	4.3	mg/LSB
Sensitivity at X _{OUT} , Y _{OUT} , Z _{OUT}	±2 g, 10-bit or full resolution	116	128	143	LSB/g
Scale Factor at X _{OUT} , Y _{OUT} , Z _{OUT}	±4 g, 10-bit resolution	7.0	7.8	8.6	mg/LSB
Sensitivity at X _{OUT} , Y _{OUT} , Z _{OUT}	±4 g, 10-bit resolution	58	64	71	LSB/g
Scale Factor at X _{OUT} , Y _{OUT} , Z _{OUT}	±8 g, 10-bit resolution	14.0	15.6	17.2	mg/LSB
Sensitivity at X _{OUT} , Y _{OUT} , Z _{OUT}	±8 g, 10-bit resolution	29	32	36	LSB/g
Scale Factor at X _{OUT} , Y _{OUT} , Z _{OUT}	±16 g, 10-bit resolution	28.1	31.2	34.3	mg/LSB
Sensitivity Change Due to Temperature	±16 g, 10-bit resolution		±0.01		%/°C

Range Pengukuran Sensor

Konversi Data bit ke g

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Dina Firdiana Rosalina yang akrab disapa Dina. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Lahir di kota Rembang pada tanggal 16 Desember 1997. Penulis menempuh pendidikan di SD N 3 Pasedan lulus tahun 2009, SMP N 1 Sulang lulus tahun 2012, dan SMA N 1 Rembang lulus tahun 2015. Pendidikan sarjana ditempuh di Departemen

Teknik Fisika, FTI ITS melalui jalur SNMPTN 2015. Selama aktif menjadi mahasiswa, penulis bergabung dalam organisasi kemahasiswaan HMTF-ITS pada periode 2016-2017 sebagai staff KOMINFO (Komunikasi dan Informasi) & 2017-2018 sebagai Kepala Departemen KOMINFO. Pengalaman *internship* program selama 1 bulan di PT. Petrokimia Gresik pada bulan Juli-Agustus 2018. Bidang minat penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir adalah rekayasa instrumentasi dan kontrol. Apabila terdapat saran, kritik, ataupun diskusi terhadap Tugas Akhir ini, penulis dapat dihubungi melalui email dinafirdiana@hotmail.com.