



**SKRIPSI - ME184834**

**Ekperimen Respon Gerak Model Ponton Trimaran dengan Dua Bandul pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut (PLTGL) untuk Kebutuhan Pulau Terpencil atau Pesisir Pantai**

**ALAN BUDI PRATAMA PUTRA  
NRP 0421174600013**

**Dosen Pembimbing  
Irfan Syarif Arief, S.T., M.T  
Sunarsih, S.T., M.Eng., Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya  
2020**



**SKRIPSI – ME 184834**

Ekspерimen Respon Gerak Model Ponton Trimaran dengan Dua Bandul pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut (PLTGL) untuk Kebutuhan Pulau Terpencil atau Pesisir Pantai

ALAN BUDI PRATAMA PUTRA  
NRP. 04211746000013

Dosen Pembimbing  
Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.  
Sunarsih, S.T., M.Eng., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya  
2020

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**BACHELOR THESIS – ME 184834**

Experiment of the Trimaran Pontoon Model with Two Pendulum  
Motion Response Experiments in the Seawater Wave Power Plant  
(PLTGL) for the Needs of Remote Islands or Coastal Islands

ALAN BUDI PRATAMA PUTRA  
NRP. 0421174600013

Supervisor

Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.

Sunarsih, S.T., M.Eng., Ph.D.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology Surabaya

2020

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

**LEMBAR PENGESAHAN**

**Eksperimen Respon Gerak Model Ponton Trimaran dengan Dua Bandul Pada  
Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut (PLTGL) Untuk  
Kebutuhan Pulau Terpencil atau Pesisir Pantai**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

**Bidang Studi *Marine manufacturing and design (MMD)*  
S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**ALAN BUDI PRATAMA PUTRA**

**NRP : 0421 17 4600 0013**

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.  
NIP. 1969 1225 1997 02 1001
2. Sunarsih, S.T., M.Eng., Ph.D



( *Alan Budi Pratama Putra* )

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## LEMBAR PENGESAHAN

Eksperimen Respon Gerak Model Ponton Trimaran dengan Dua Bandul Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut (PLTGL) Untuk Kebutuhan Pulau – Pulau Terpencil atau Pesisir Pantai

### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

Bidang Studi *Marine manufacturing and design (MMD)*  
S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**ALAN BUDI PRATAMA PUTRA**

NRP : 0421 17 4600 0013

Disetujui Oleh

Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



NIP. 1979 0319 2008 01 1008



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **Eksperimen Respon Gerak Model Ponton Trimaran dengan Dua Bandul Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut (PLTGL) Untuk Kebutuhan Pulau – Pulau Terpencil atau Pesisir Pantai**

Nama : Alan Budi Pratama Putra

NRP : 04211746000013

Dosen Pembimbing 1: Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing 2: Sunarsih, S.T., M.Eng., Ph.D

## **ABSTRAK**

Meningkatnya kebutuhan akan penggunaan energi, mengakibatkan semakin berkurangnya bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama. Sumber energi seperti minyak bumi, gas alam dan batu bara diperkirakan akan habis sekitar 30 tahun mendatang. Oleh karena itu, kontribusi dari sumber energi terbarukan akan terus meningkat. Matahari, angin, laut, air, elektromagnetik, elektrostatik, panas, getaran, dan gerakan tubuh manusia merupakan macam – macam sumber energi terbarukan. Akan tetapi, kondisi laut merupakan kondisi yang dinamis dengan gelombang yang berubah-ubah. Oleh karena itu, respon gerak bangunan apung perlu diketahui sebelum pemasangan pembangkit listrik dilakukan. Penelitian yang dikerjakan penulis, yaitu melakukan eksperimen tentang respon gerak Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) dengan 2 sistem bandul dengan bentuk ponton terdiri dari poros yang di dalamnya terdapat 20 sudu untuk membending piezoelectric yang terhubung pada rangkain listrik sehingga dapat menghasilkan volt. Variasi yang dibuat pada penelitian ini adalah variasi panjang cadik yaitu 21.5 cm, 17.5 cm, dan 13.5 cm. Eksperimen dilakukan di Pantai Kenjeran menggunakan Gelombang Irreguler untuk mengetahui motion pada model ponton yang nantinya akan menghasilkan nilai Roll, Pitch dan Yaw pada sensor IMU. Alat ini berupa dua perangkat, satu perangkat pemancar dan satu lagi perangkat penerima. Pada gambar ditunjukkan perangkat pemancar beserta isinya. Di dalamnya terdapat dua sensor utama yaitu sensor accelero yang secara default memberikan data percepatan translasi dan sensor gyro yang secara default memberikan data kecepatan rotasi. Sensor IMU diletakkan di atas model ponton bisa mendeteksi sumbu x, y, z. Dari hasil percobaan yang dilakukan semakin dekat jarak cadik maka rolling yang diterima akan semakin besar. Pengujian menggunakan Gelombang Irreguler di pantai Kenjeran Surabaya.

**Kata kunci:** Gelombang Laut, Energi Alternatif, PLTGL, Ponton, Sensor IMU

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **Experiment of the Trimaran Pontoon Model with Two Pendulum Motion Response Experiments in the Seawater Wave Power Plant (PLTGL) for the Needs of Remote Islands or Coastal Islands**

Name : Alan Budi Pratama Putra

NRP : 04211746000013

Supervisor 1: Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.

Supervisor 2: Sunarsih, S.T., M.Eng., Ph.D.

## **ABSTRACT**

The increasing need for energy use has resulted in a reduction in fossil fuels as the main energy source. Energy sources such as oil, natural gas and coal are estimated to be depleted in the next 30 years. Therefore, contributions from renewable energy sources will continue to increase. The sun, wind, sea, water, electromagnetic, electrostatic, heat, vibration, and human body movements are a variety of renewable energy sources. However, ocean conditions are dynamic conditions with changing waves. Therefore, the response of floating building motion needs to be known before the installation of the power plant is done. Research conducted by the author, which is conducting experiments about the motion response of the Sea Wave Power Plant (PLTGL) with 2 pendulum systems in the form of a pontoon consisting of a shaft in which there are 20 blades for bending piezoelectric connected to an electric chain so that it can produce volts. Variations made in this study were outrigger length variations namely 21.5 cm, 17.5 cm and 13.5 cm. Experiments were carried out at Kenjeran Beach using Irregular Waves to find out the motion of the pontoon model which would later produce Rollig, Pitch and Yaw values on the IMU sensor. This tool is in the form of two devices, one transmitter and one receiving device. The picture shows the transmitter device and its contents. Inside there are two main sensors, the Accelerometer sensor which by default provides translational acceleration data and the gyro sensor which by default provides rotation speed data. The IMU sensor placed above the pontoon model can detect the x, y, z axis. From the results of experiments carried out the closer outrigger distance, the rolling received will be even greater. Testing uses irregular waves on the beach Kenjeran Surabaya.

Keywords: Ocean Waves, Alternative Energy, PLTGL, Pontoon, IMU Sensor

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT atas rahmat, rejeki dan karunia-Nya lah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Tugas akhir dengan judul “Eksperimen Respon Gerak Model Ponton Trimaran dengan 2 Bandul Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut (PLTGL) di pulau Gili Labak Sumenep Madura” ini dapat terselesaikan dengan tepat waktu yang juga turut dibantu oleh beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebanyak-banyaknya kepada:

1. Orang tua dari penulis yaitu H. Budi yanto dan Ibu Hj. Umyati dengan bimbingan dan doanya selalu mengalir untuk penulis.
2. Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph. D. selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS.
3. Irfan Syarif Arief, ST., MT. dan Sunarsih, S.T .,M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberi arahan, bimbingan, saran, dan memotivasi kepada penulis.
4. Ede Mehta Wardhana, ST., MT. selaku dosen wali yang senantiasa membimbing dan mengarahkan penulis sejak mahasiswa baru.
5. Seluruh staff dan member Lab Marine Manufacturing and Design (MMD) yang selalu menyemangati dan menemani hari-hari penulis.
6. Teman – Teman Lintas Jalur Angkatan 2017 Khususnya Maulana dan Pantou Janur Selaku Patner TA , alumni serta teman-teman dari departemen lain.
7. Seseorang yang mengajarkan bahwa hidup adalah pilihan, kamu harus berusaha dan berdo’a. Jangan menjadi orang pemalas.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran sangatlah dibutuhkan untuk tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberi manfaat untuk para pembaca.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	v
LEMBAR PENGESAHAN .....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT .....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI .....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL .....	xxi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	1
1.3 Batasan Masalah .....	1
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Potensi Energi Laut.....	3
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang .....	3
2.2.1 Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut di Indonesia.....	4
2.3 Gelombang Laut .....	6
2.4 Jenis Gelombang.....	7
2.5 Spektrum Gelombang .....	8
2.6 Teori Dasar Gerakan Bangunan Laut Akibat Beban Gelombang.....	8
2.7 Teori Stabilitas .....	9
2.8 Konsep Getaran.....	13
2.9 Response Amplitude Operator.....	14
2.10 Mengukur Nilai Koefisien Elastisitas ( K ) Mooring .....	15
2.11 Pembuatan Tali Tambat Mooring .....	16
2.12 Data Lingkungan Pulau Gili Labak Sumenep Madura.....	17
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Pendahuluan.....	18
3.2 Studi Literatur .....	19
3.3 Survey Lokasi .....	19
3.4 Modifikasi Model Ponton Trimaran Dari Penelitian Sebelumnya .....	20



3.5 Pengambilan Data pada Ponton Trimaran .....	22
3.5.1 Kondisi Tes 1 .....	23
3.5.2 Kondisi Tes 2.....	24
3.5.3 Kondisi Tes 3.....	25
3.5.4 Pengujian Model Ponton Trimaran.....	26
3.6 Perhitungan Volume Tercelup dan Koefisien Elastisitas Mooring.....	27
3.7 Analisa Error.....	29
3.8 Analisa Respon Gerak Ponton Trimaran .....	29
3.9 Kesimpulan dan Saran .....	30

#### **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

4.1 Pendahuluan.....	30
4.2 Respon gerak roll, pitch dan yaw pada berbagai jarak cadik.....	30
4.3 Pengaruh Bentuk Ponton Terhadap Respon Gerak.....	33
4.4 Pengaruh perubahan jarak cadik terhadap Respon gerak ponton trimaran.....	34
4.5 Pengaruh Perubahan Jumlah sudu terhadap respon gerakan roll, pitch dan yaw .....	40

#### **BAB V KESIMPULAN**

5.1 Kesimpulan .....	42
5.2 Saran .....	42

<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>43</b>
----------------------------	-----------

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Sebaran Potensi Energi Gelombang Di Dunia.....	3
Gambar 2. Formasi Gelombang Laut .....	6
Gambar 3. Spektrum Karakteristik Gelombang Reguler.....	7
Gambar 4. Gelombang Acak atau Irreguler.....	7
Gambar 5. Spektrum Gelombang .....	8
Gambar 6. Six degree freedom.....	9
Gambar 7. Tiga Kondisi Kestabilan .....	9
Gambar 8. Contoh Titik Berat Sebuah Benda Terapung.....	10
Gambar 9. Letak Titik Berat di air .....	10
Gambar 10. Letak Titik Metacenter .....	11
Gambar 11. Ukuran- ukuran yang di gunakan dalam perhitungan stabilitas	11
Gambar 12. Tiga Kondisi Kesetimbangan .....	12
Gambar 13. Gelombang Trensversal .....	14
Gambar 14. Bentuk Umum Grafik Respon Gerak Bangunan Apung .....	15
Gambar 15. Ilustrasi 2D Konfigurasi Rangkain Tali Tambat .....	16
Gambar 16. Hasil Rangkain Tali Tambat .....	17
Gambar 17. Peta Pulau Gili Labak .....	17
Gambar 18. IMU Tools .....	20
Gambar 19. Desain Model Ponton 3D dari Penelitian Sebelumnya.....	20
Gambar 20. Desain Model Ponton 3D.....	21
Gambar 21. Proses pembuatan dan assembly Model Ponton Trimaran .....	22
Gambar 22. Tampak samping tes kondisi 1 dengan jarak cadik 21.5 cm ...	23
Gambar 23. Tampak depan tes kondisi 1 dengan jarak cadik 21.5 cm .....	24
Gambar 24. Tampak samping tes kondisi 2 dengan jarak cadik 17.5 cm ....	24
Gambar 25. Tampak depan tes kondisi 2 dengan jarak cadik 17.5 cm .....	25
Gambar 26. Tampak samping tes kondisi dengan jarak cadik 13.5 Cm .....	25
Gambar 27. Tampak depan tes kondisi 3 dengan jarak cadik 17.5 Cm .....	26
Gambar 28. Proses Pengujian Model Ponton Trimaran .....	26
Gambar 29. Volume Tercelup Ponton.....	27
Gambar 30. GUI IMU .....	29
Gambar 31. Respon gerak pada jarak cadik 21.5 cm .....	31

Gambar 32. Respon gerak pada jarak cadik 17.5 cm .....	32
Gambar 33. Respon gerak pada jarak cadik 13.5 cm .....	32
Gambar 34. Ponton Hexagonal.....	33
Gambar 35. Ponton Trimaran .....	33
Gambar 36. Profil roll dengan 20 Jumlah sudu .....	34
Gambar 37. Profil pitch dengan 20 jumlah sudu .....	34
Gambar 38. Profil yaw dengan 20 jumlah sudu .....	35
Gambar 39. Profil roll dengan 10 Jumlah Sudu .....	36
Gambar 40. Profil pitch dengan 10 Jumlah Sudu .....	36
Gambar 38. Profil Yaw dengan 10 Jumlah Sudu .....	37
Gambar 39. Profil roll dengan 5 Jumlah sudu .....	38
Gambar 40. Profil pitch dengan 5 jumlah sudu .....	38
Gambar 41. Profil yaw dengan 5 jumlah sudu .....	39
Gambar 42. Roll Vs Jumlah Sudu .....	40
Gambar 43. Pitch Vs Jumlah Sudu.....	40
Gambar 44. Yaw Vs Jumlah Sudu.....	41

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Histori Penelitian PLTGL- SB .....	5
Tabel 2. Data BMKG Perak Surabaya .....	17
Tabel 3. Data Dimensi Model Ponton Trimaran Sebelum Modifikasi.....	20
Tabel 4. Data Dimensi Model Ponton Trimaran Sesudah Modifikasi .....	21
Tabel 5. Kondisi Pengujian Model Ponton Trimaran.....	23
Tabel 6. Kondisi Penyimpangan Nilai.....	29
Tabel 7. Data Outputan IMU .....	30
Tabel 8. Perbandingan Hasil nilai pitch dan roll .....	33
Tabel 9. Perbandingan Jarak cadik dengan 20 jumlah sudu.....	35
Tabel 10. Perbandingan Jarak cadik dengan 10 Jumlah Sudu.....	37
Tabel 11. Perbandingan Jarak cadik dengan 5 Jumlah Sudu.....	39

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***





## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Meningkatnya kebutuhan akan penggunaan energi, mengakibatkan semakin berkurangnya bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama. Sumber energi seperti minyak bumi, gas alam dan batu bara diperkirakan akan habis sekitar 30 tahun mendatang. Oleh karena itu, kontribusi dari sumber energi terbarukan akan terus meningkat. Matahari, angin, laut, air, elektromagnetik, elektrostatik, panas, getaran, dan gerakan tubuh manusia merupakan macam – macam sumber energi terbarukan. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral menyatakan, hingga 2017, ada 70 proyek pembangkit listrik Energi Baru dan Terbarukan (EBT) yang telah menjalin kesepakatan kontrak jual beli listrik Power Purchase Agreement (PPA), kalau melihat kondisi pertumbuhan gross domestic product (GDP) rata-rata Indonesia yang diprediksikan 5,6 persen dari 2015-2050 dan pertumbuhan penduduk 0,8 persen setiap tahun. Kebutuhan energi tentu saja akan meningkat dan diprediksikan permintaan energi final nasional akan mencapai 238,8 juta MTOE sampai tahun 2025 atau 1,8 kali lipat dari konsumsi energi final tahun 2015. Walaupun kondisi geografis Indonesia memiliki potensi pengembangan energi terbarukan, transisi ke energi tersebut masih merupakan suatu tantangan besar.

Sebagai tindak lanjut penyelenggaraan otonomi daerah dengan dikeluarkannya Undang Undang Nomor 32 Tahun 2004 tentang Pemerintahan daerah yang merupakan kebijakan yang lahir dalam rangka menjawab dan memenuhi tuntutan reformasi dan semangat pembaharuan tentang demokratisasi antara hubungan pusat dan daerah serta upaya pemberdayaan daerah khususnya di Pulau terpencil atau pesisir dimana daerah tersebut merupakan tempat yang cukup sulit untuk mendapatkan energi listrik. Dari laut kita dapat adanya potensi untuk dibangun sebuah PLTGL yang nantinya akan membantu masyarakat dalam hal pasokan energi listrik tambahan atau energi alternatif di daerah tersebut. Maka dari itu peneliti melakukan suatu eksperimen pada ponton trimaran yang nantinya akan digunakan sebagai platform untuk mengetahui kekuatan gelombang di daerah tersebut.

#### **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah ini merupakan suatu permasalahan yang dapat peneliti angkat, sehingga nantinya bisa mencapai tujuan sampai berhasil dilakukan.

1. Bagaimana respon gerak roll, pitch dan yaw pada berbagai jarak cadik ?
2. Bagaimana pengaruh bentuk ponton terhadap respon gerak ?
3. Bagaimana pengaruh perubahan jarak cadik terhadap respon gerak ponton trimaran pada sistem pembangkit listrik tenaga gelombang laut ?

#### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini merupakan keinginan yang akan didapatkan peneliti untuk memperoleh jawaban atas permasalahan penelitian yang diajukan.

1. Mengetahui respon gerakan roll, pitch dan yaw pada berbagai jarak cadik.
2. Mengetahui pengaruh bentuk ponton terhadap respon gerak.
3. Mengetahui pengaruh perubahan jarak cadik terhadap respon gerak ponton trimaran pada sistem pembangkit listrik tenaga gelombang laut.

#### **1.4 Batasan Penelitian**

Batasan masalah disini untuk membatasi ruang lingkup masalah yang terlalu luas dan melebar sehingga kita dapat fokus dengan apa yang akan dilakukan.

1. Tidak membahas masalah rangkaian kelistrikan.
2. Faktor tambahan seperti angin diabaikan
3. Eksperimen di pantai kenjeran Surabaya
4. Pengambilan data tidak dilakukan dengan variasi gelombang

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

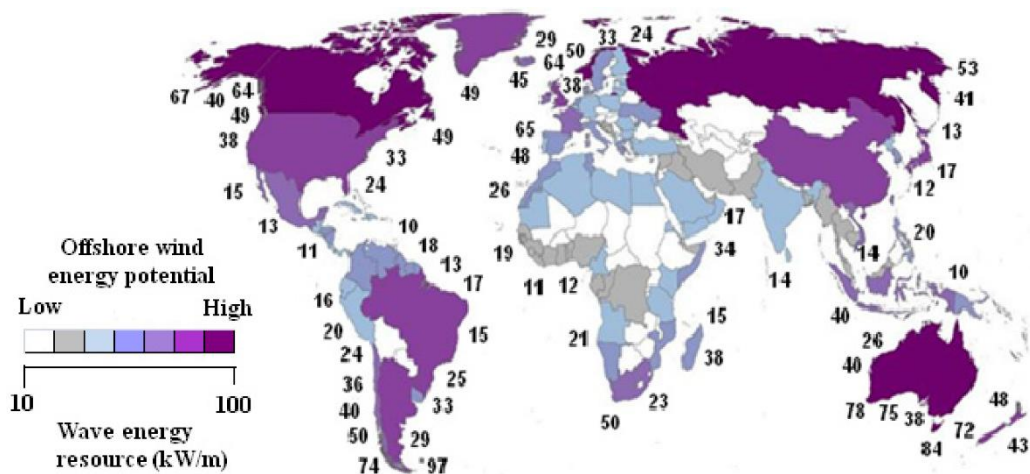
Manfaat dari penelitian ini meliputi :

1. Sebagai acuan untuk mengetahui potensi gelombang laut di pulau terpecil atau pesisir
2. untuk mentranmisikan energi potensial gelombang laut menjadi energi mekanik yang nantinya akan konversikan menjadi energi listrik.
3. Sebagai alternatif sistem pembangkit tenaga gelombang laut.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Potensi Energi Laut

Energi merupakan salah satu sektor penting untuk menunjang aktifitas manusia. Penggunaan energi saat ini sebagian besar tergantung pada energi fosil. Namun penggunaan energi fosil tidak dapat berlangsung secara terus menerus karena terbatasnya ketersediaan energi fosil saat ini. Energi laut sebagai energi alternatif sangat diperlukan sebagai solusi menipisnya persediaan energi fosil di dunia. Energi laut dibagi menjadi sub sumber energi yaitu energi gelombang laut, energi arus laut, dan energi panas laut. Berikut ini merupakan sebaran potensi energi gelombang laut di berbagai wilayah di seluruh dunia:



**Gambar 2.1** Sebaran potensi energi gelombang di dunia  
(Enhancing Wave Energy Competitiveness through Co-Located Wind and Wave Energy Farms. A Review on the Shadow Effect, 2015)

Kekuatan gelombang bervariasi di setiap lokasi. Daerah samudera Indonesia sepanjang pantai selatan Jawa sampai Nusa Tenggara adalah lokasi yang memiliki potensi energi gelombang cukup besar berkisar antara 10 - 20 kW per meter gelombang. Beberapa penelitian menyimpulkan bahwa energi gelombang di beberapa titik di Indonesia bisa mencapai 70 kW/m di beberapa lokasi. Pantai barat Pulau Sumatera bagian selatan dan pantai selatan Pulau Jawa bagian barat juga berpotensi memiliki energi gelombang laut sekitar 40 kW/m (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia, 2016)

### 2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang

Melihat potensi energi gelombang laut yang potensial maka diperlukan teknologi konversi untuk mengubah energi laut menjadi energi listrik. Alat untuk mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik disebut *Wave Energy Converter (WECs)*. Terdapat beberapa jenis teknologi konversi energi gelombang

yang telah dikembangkan saat ini yaitu *submerged pressure differential*, *oscillating wave surge converter*, *overtopping device*, *oscillating water column*, dan lain-lain (Iglesias et al, 2013).

### 2.2.1 Penelitian Sebelumnya

Energi gelombang laut mulai dipelajari lebih dari 30 tahun yang lalu (Hongda Shi, 2014). Saat ini, teknologi energi konversi dari energi gelombang laut sudah diperluas, yaitu *oscillating water column*, *installed pendulum system in shoreline*, *shelter duck system*, dan *palmis water converter* (Rodrigues, 2010).

Perangkat energi gelombang laut seperti Oscillating Water Columns (OWC) mengubah pergerakan gelombang di kolom silinder udara untuk menghasilkan udara bertekanan dan lebih jauh lagi digunakan untuk menggerakkan turbin dan generator listrik. OWC memiliki keuntungan karena memiliki bagian yang sedikit terendam di dalam air. Teknologi OWC juga memiliki kerugian karena dibatasi oleh kedalaman air sehingga tidak diperbolehkan untuk dipasang di laut dalam.

Studi kesesuaian OWC telah dilakukan oleh Shi et al (Hongda Shi, 2014) dengan pemodelan udara untuk mengoptimalkan skala ruang dan tekanan turbin sehingga menghasilkan efisiensi besar daya listrik (Hongda Shi, 2014). Teknologi lain yang diciptakan untuk menyelesaikan keterbatasan OWC adalah *floating disk*. Bangunan terapung pertama kali dipasang oleh Ocean University of China. Bangunan terdiri dari bagian bawah laut yaitu piston untuk mendapatkan gelombang laut dan bagian atas yaitu generator untuk mengubah pergerakan piston menjadi energi listrik (KS. Choi, 2012). Bangunan terapung tersebut menggunakan gerakan *heave* dari gelombang laut.

### 2.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut di Indonesia

Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandul (PLTGL-SB) merupakan salah satu teknologi dari Indonesia karya Zamrisyaf dari Badan Penelitian dan Pengembangan Ketenagalistrikan PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero). Studi pemodelan dan simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut-Sistem Bandulan (PLTGL – SB) dilakukan secara kerjasama antara Badan Penelitian dan Pengembangan Ketenagalistrikan PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Institut Teknologi Sepuluh Nopember tahun 2010. Pembangkit listrik yang digagas Zamrisyaf dibuat dengan memanfaatkan tenaga gelombang laut dan sistem bandulan. Rancang bangunnya berbentuk ponton, sampan yang rendah dan lebar, yang ditempatkan mengapung di atas permukaan air laut.

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandulan (PLTGL-SB) ini, gerakan air laut akan menggerakkan ponton sesuai dengan alur dan fluktuasi gelombang air laut. Gerakan ponton akibat fluktuasi gelombang laut itu akan membuat bandul-bandul yang ada di dalamnya ikut bergoyang seperti lonceng. Gerakan bandul tersebut yang akan ditransmisikan menjadi gerakan putar untuk memutar dinamo. Dari situlah selanjutnya PLTGL-SB dapat menghasilkan listrik.

Gerakan ponton datar cenderung acak atau tidak beraturan diakibatkan oleh datangnya gelombang laut yang menggungunya dan tidak beraturan pula. Pergerakan ponton datar yang acak ini mempengaruhi perputaran bandul yang berada di atasnya. Oleh karena itu diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai dimensi ponton beserta konfigurasi pendulumnya agar dihasilkan daya yang besar. Tabel 1 menunjukkan riwayat penelitian PLTGL-SB mulai dari tahun 2010 sampai dengan tahun 2016.

**Tabel 2.1** Histori Penelitian PLTGL-SB

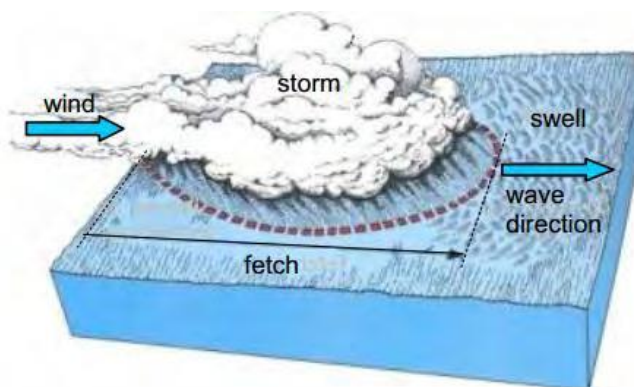
<b>Tahun</b>	<b>Nama Peneliti</b>	<b>Judul Penelitian</b>
2010	Zamrisyaf dkk	Studi Pemodelan dan Simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut – Sistem Bandulan (PLTGL – SB)
2013	Raudhotul Munawaroh	Kajian Ekperimen Gerakan Pendulum pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandulan pada Kondisi Uji On-Shore dan Off-Shore
2013	Muizzul Fadli Hidayat	Analisa Pengaruh Gerakan Bandul dengan Dua Pemberat dan Sudut yang Berbeda terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandulan (PLTGL-SB)
2013	Rudianto	Analisa Gerakan Pendulum dengan Bentuk Juring Lingkaran pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut-Sistem Bandulan pada Pengujian Offshore
2014	Mohammad Idrul Nafis	Analisa Perbandingan Gerakan Ponton Model Trippod Siku-Siku dengan Sama Kaki untuk Energi Gelombang Laut Sistem Bandulan
2015	Honey Rambu Anarki	Analisis Kinerja Bandul Vertikal Dengan Model Plat pada PLTGL-SB

2016	Yulia Safitri	Analisa Respon Gerak Ponton dan Pendulum Vertikal pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut-Sistem Bandul (PLTGL-SB)
2016	Rodhiatul Isnaini	Analisis Karakteristik Pendulum pada PLTGL-SB
2018	Rindu Fajar Kusuma	Simulasi Respon Gerak Ponton Trimaran Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut ( PLTGL-SB)
2019	Haniefudddin Rifky	Studi Eksperimen Respon Gerak Hexagonal Pontoon Dengan Floater Leg Terhadap Gelombang Untuk PLTGL-SB

### 2.3 Gelombang Laut

Gelombang laut adalah pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk sinusoidal. Gelombang laut bisa dibangkitkan oleh angin, gaya tarik matahari, dan bulan, letusan gunung berapi, atau gempa di laut, kapal yang bergerak, dan sebagainya.

Besarnya gelombang laut tergantung dari intensitas, jangka waktu, dan jarak angin berhembus (*fetch length*). Gelombang menyerap energi dari angin, dan sebaliknya mengeluarkan energi untuk penyebaran, kondisi keseimbangan ini disebut sebagai *fully developed seas*.



**Gambar 2.2** Formasi Gelombang laut (Rodrigues, 2012)

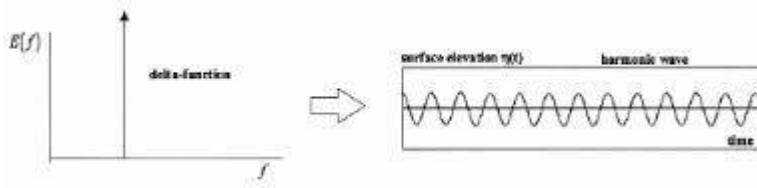
Gelombang akan mereda sampai dengan beberapa hari terutama karena gaya gravitasi (*Gravity Wave*). Gelombang lancip dan kecil mereda karena mekanisme gelombang

pecah disamping itu gelombang juga akan teredam oleh efek kekentalan. Gelombang yang mereda bergerak ke tempat yang sangat jauh sebagai gelombang panjang dan beraturan (*Swell*). Terdapat beberapa teori gelombang dengan beberapa derajat kekompleksan dan ketelitian, untuk menggambarkan kondisi.

## 2.4 Jenis Gelombang

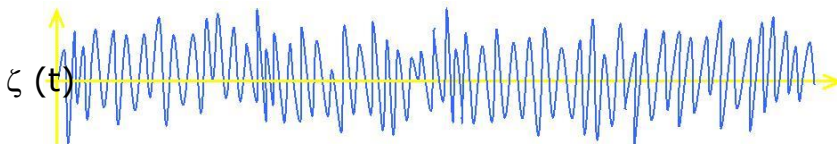
Gelombang regular merupakan gelombang dengan tinggi gelombang yang konstan, periode tunggal, sehingga gelombang ini juga mempunyai spectrum tunggal. (Fatnata, 2009). Teori gelombang regular adalah pendekatan dari sebuah kenyataan dengan beberapa asumsi penyederhanaan dan idealisasi. Berikut ini adalah asumsi dasar teori gelombang:

- Fluida dianggap homogen
- Tekanan permukaan diabaikan
- Pressure di permukaan bebas dianggap konstan dan uniform
- Fluida dianggap ideal (tidak bisa ditekan/ inviscid dan incompressible)
- Gerakan partikel berdiri sendiri, tidak saling mengganggu dan bertubrukan selama bergerak
- Dasar laut dianggap datar, tetap impermeable, sehingga kecepatan vertikal di dasar adalah nol



**Gambar 2.3** Spektrum tunggal karakteristik gelombang regular (Akhwady, 2010)

Sedangkan gelombang irreguler merupakan gelombang super posisi dari beberapa gelombang regular yang mempunyai frekuensi dan tinggi gelombang berbeda. Gelombang laut mempunyai bentuk dan arah gerakan tak beraturan/acak (*random*) dan tidak pernah berulang urutan kejadiannya, sehingga teori gelombang regular tidak dapat secara langsung (*deterministik*) menjelaskannya.

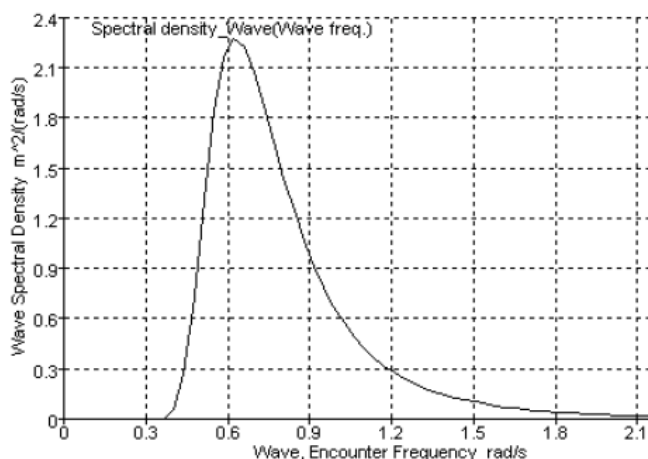


**Gambar 2.4** Gelombang Acak atau Irreguler (Akhwady, 2010)

Pada gelombang regular terdapat istilah *Response Amplitude Operator* (RAO) adalah respon struktur terhadap gelombang regular.

## 2.5 Spektrum Gelombang

Gelombang laut yang tidak teratur biasanya digambarkan dalam bentuk spektrum gelombang. Ini menggambarkan distribusi energi gelombang sebagai fungsi dari frekuensi gelombang. Representasi domain frekuensi kontinu menunjukkan variasi kerapatan daya dari gelombang dengan frekuensi dan dikenal sebagai *wave amplitude energy density spectrum*. Spektral ordinat diberikan simbol  $S_{\zeta}(\omega)$  dimana  $\zeta$  adalah rata-rata pengukuran amplitudo gelombang. Spektral ini menggambarkan kondisi laut yang penting untuk menentukan respon benda di laut. Spektrum gelombang yang umum ditunjukkan di bawah ini:



**Gambar 2.5** Spektrum gelombang  
(MOSES Motion Manual)

## 2.6 Teori Dasar Gerakan Bangunan Laut Akibat Beban Gelombang

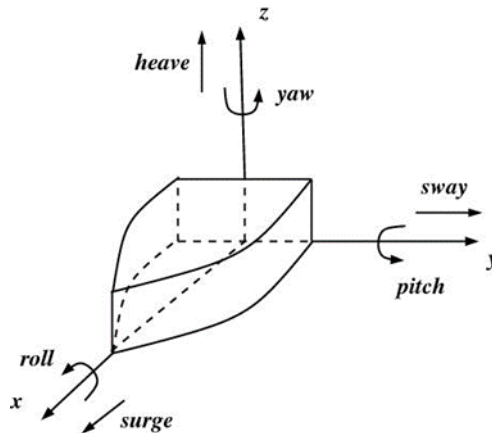
Pada dasarnya benda yang mengapung mempunyai 6 mode gerakan bebas (SDOF- six degree of freedom) yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu 3 mode gerakan translasional dan 3 mode gerakan rotasional. Berikut ini adalah keenam mode gerakan tersebut :

1. Mode Gerakan Translasional
  - Surge, gerakan transversal arah sumbu x
  - Sway, gerakan transversal arah sumbu y
  - Heave, gerakan transversal arah sumbu z
2. Mode Gerakan Rotasional
  - Roll, gerakan rotasional arah sumbu x
  - Pitch, gerakan rotasional arah sumbu y
  - Yaw, gerakan rotasional arah sumbu z

Definisi gerakan bangunan laut dalam enam derajat kebebasan dengan memakai konversi subu tangan kanan, tiga gerakan translasi pada arah sumbu x, y, dan z adalah



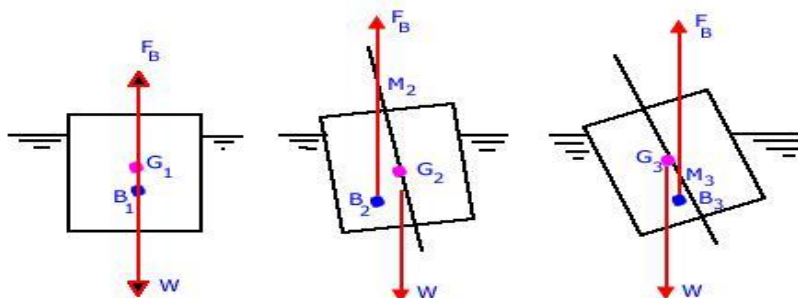
masing-masing *surge*, *sway*, dan *heave* sedangkan untuk gerakan rotasi terhadap ketiga subu adalah *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Dengan demikian domain gerakan yang mempengaruhi kapal dan ponton adalah gerakan rotasi dan translasi.



**Gambar 2.6** Six degree of freedom (Irfan S.A 2014)

## 2.7 Teori Stabilitas

Sebuah benda yang berada pada posisi keseimbangan digeser ke suatu posisi baru, lalu mampu kembali ke posisi awal, benda tersebut disebut berada dalam keseimbangan stabil (*stable equilibrium*) dan kondisi tersebut disebut stabilitas positif terhadap acuan keseimbangan posisi awalnya. Apabila saat benda tersebut digerakkan dari posisi kesetimbangannya ke posisi baru dan kemudian tetap pada posisi baru tersebut, benda tersebut disebut dalam keseimbangan netral (*neutral equilibrium*), tetapi apabila suatu benda setelah digerakkan ke suatu posisi baru, benda tersebut terus bergerak semakin menjauhi posisi awalnya, maka keseimbangan benda tersebut dikatakan keseimbangan labil (*unstable equilibrium*) dan kondisi ini dikategorikan sebagai stabilitas negatif terhadap acuan posisi awalnya.

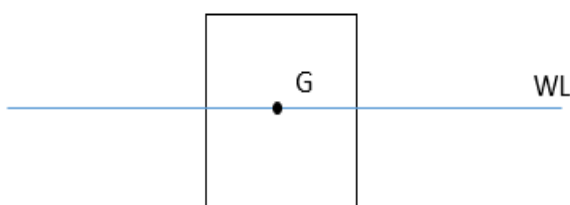


**Gambar 2.7** Tiga Kondisi Kestabilan (Barras, 2006)

Pada struktur terapung akan terdapat dua buah gaya vertikal yang bekerja, yakni gaya apung (*buoyancy*) yang mengarah ke atas dan berat struktur itu sendiri yang mengarah kebawah.

- Titik Berat (*Center of Gravity*, G)

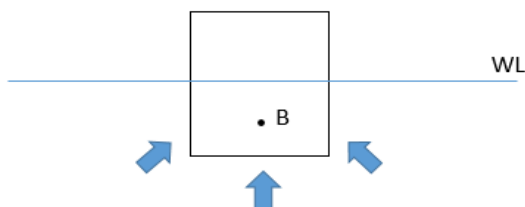
Titik berat (G) ialah titik tangkap dari semua gaya- gaya yang bekerja ke bawah. Letak titik G pada benda kosong ditentukan oleh hasil percobaan stabilitas. Perlu diketahui bahwa letak titik G tergantung daripada pembagian berat di benda. Jadi, selama tidak ada berat yang digeser/ ditambah/ dikurangi titik G tidak akan berubah walaupun benda mengalami *trim*. Berat pendulum pada penelitian ini sangat kecil jadi dianggap tidak mempengaruhi titik gerak ponton.



**Gambar 2.8** Contoh titik berat sebuah benda terapung

- Titik Apung (Center of Buoyancy, B)

Titik apung (center of buoyancy) dikenal dengan titik B dari sebuah benda, merupakan titik tangkap dari resultan gaya-gaya yang menekan keatas dari bagian benda yang terbenam dalam air.

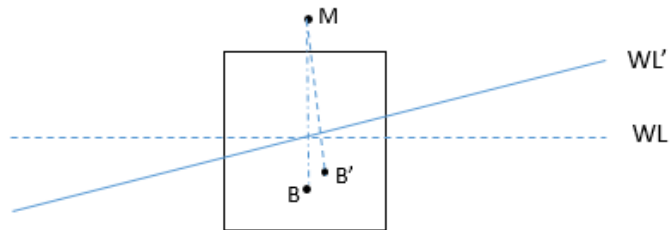


**Gambar 2.9** Letak titik berat di air

Titik tangkap B bukanlah merupakan suatu titik yang tetap, akan tetapi akan berpindah- pindah oleh adanya perubahan sarat dari benda. Dalam stabilitas benda, titik B inilah yang menyebabkan benda mampu untuk tegak kembali setelah mengalami senget. Letak titik B tergantung dari besarnya senget benda (bila senget berubah maka letak titik B akan berubah/ berpindah). Bila benda menyenget titik B akan berpindah ke sisi yang rendah.

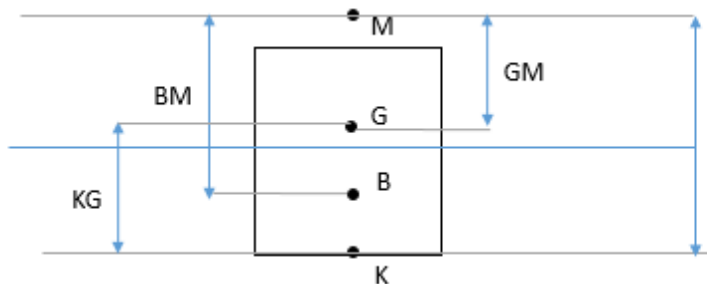
- Titik Metasentris (M)

Titik metasentris atau lebih dikenal dengan titik M dari sebuah benda, merupakan sebuah titik semu dari batas dimana titik G tidak boleh melewati di atasnya agar supaya benda tetap mempunyai stabilitas yang positif (stabil). Meta artinya berubah- ubah jadi titik metasentris dapat berubah letaknya, dan tergantung dari besarnya sudut kemiringan. Apabila benda miring pada sudut kecil maka titik apung B bergerak di sepanjang busur di mana titik M merupakan titik pusatnya di bidang tengah benda (center of line) dan pada sudut kemiringan yang kecil ini perpindahan letak titik M masih sangat kecil, sehingga masih dapat dikatakan tetap.



**Gambar 2.10** Letak titik metacenter

Terdapat beberapa ukuran stabilitas yang sering digunakan dalam stabilitas, hal ini lah yang nantinya akan dipergunakan untuk merancang stabilitas pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut, seperti pada gambar berikut:



**Gambar 2.11** Ukuran-ukuran yang di gunakan dalam perhitungan stabilitas

- KG-Tinggi titik dari keel ke center of gravity  
Nilai KB untuk kapal kosong diperoleh dari hitungan.
- BM- Radius Metacentric

BM dinamakan jari- jari metasentris atau metasentris radius karena bila kapal mengoleng dengan sudut- sudut yang kecil, maka lintasan pergerakan titik B merupakan sebagian busur lingkaran dimana M merupakan titik pusatnya dan BM sebagai jari- jarinya. Titik M masih bisa dianggap tetap karena sudut olengnya kecil.

- KB – Tinggi titik apung dari *keel*

Letak titik B diatas keel bukanlah suatu titik yang tetap, akan tetapi berpindah pindah oleh adanya perubahan sarat atau senget kapal. Menurut Rubianto (1996), nilai KB dapat dicari:

Untuk kapal tipe plat bottom,  $KB = 0.50d$

Untuk kapal tipe V bottom,  $KB = 0.67d$

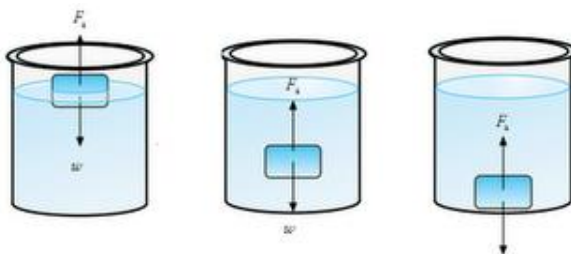
Untuk kapal tipe U bottom,  $KB = 0.53d$

Benda terendam didalam zat cair diam, gaya- gaya yang bekerja adalah tekanan hidrostatis pada seluruh permukaan benda dan berat benda. Pada benda terendam dalam zat cair diam terdapat

- Komponen Gaya Horizontal : sama dan berlawanan arah sehingga saling meniadakan dan benda tidak bergerak

- Komponen Gaya Vertikal : akibat tekanan tiap satuan luas bertambah dengan kedalaman, sehingga komponen gaya keatas ( $F_u$ ) lebih besar dari komponen gaya arah ke bawah ( $F_d$ ) atau resultannya adalah gaya keatas yang bekerja pada benda.

Perbedaan antara gaya tekanan ke atas dan ke bawah pada benda disebut gaya apung ( $F_b$ ). Gaya apung ini dapat dijelaskan dengan hukum Archimedes: “Benda yang terapung/ terendam dalam zat cair akan mengalami gaya apung yang besarnya sama dengan berat zat cair yang dipindahkan benda tersebut”.



**Gambar 2.12** Tiga kondisi kesetimbangan

Dimana:

FG : Gaya Berat

D : Sarat/ draft

B : Titik apung (titik dimana gaya apung bekerja, atau titik berat air dari volume zat cair yang dipindahkan)

FB : Gaya Apung

G : Titik Berat

Terdapat tiga kemungkinan yang akan terjadi jika benda diletakkan di dalam zat cair

- $FB > FG$  : benda akan terapung
- $FB < FG$  : benda akan tenggelam
- $FB = FG$  : benda melayang

Upaya benda untuk mempertahankan kedudukannya erat dengan besarnya momen inersia yang dimiliki oleh benda tersebut. Sebuah partikel bergerak melingkar dengan percepatan tangensial  $a$  dan percepatan sudut  $\alpha$ . Jika rumus gaya adalah

$$F = m a$$

$$(2.1)$$

Partikel berotasi karena adanya momen gaya yang besarnya  $\tau = r F$ . Jika masing-masing ruas dikalikan dengan  $r$  dan percepatan tangensial dituliskan  $a = \alpha r$ , maka diperoleh

$$F (r) = m (\alpha r)(r)$$

$$\tau = m r^2 \alpha$$

$$(2.2)$$

Diperoleh bahwa percepatan sudut benda sebanding dengan momen gayanya. Faktor pengali kesebandingan tersebut adalah momen inersia. Pada hukum II Newton tentang gerak rotasi suatu benda yang mempunyai momen inersia  $I$  bila diberi momen gaya  $\tau$  dan percepatan sudut  $\alpha$  maka dapat dituliskan

$$\tau = I \alpha$$

$$(2.3)$$

Atau dapat dirumuskan menjadi

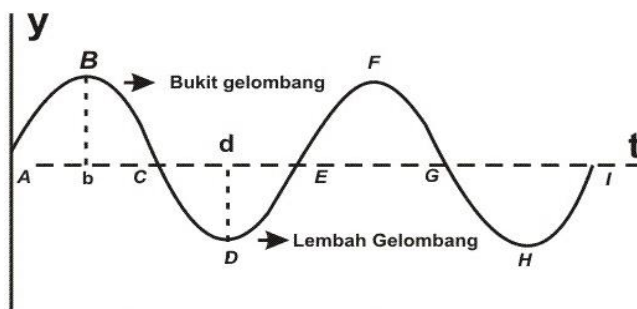
$$I = m r^2$$

$$(2.4)$$

Berdasarkan formula diatas, dapat dilihat bahwa inersia dipengaruhi oleh massa benda dan jari-jarinya. Momen inersia benda tak teratur melibatkan besaran jari-jari girasi (*radius gyration*). Benda yang mempunyai jari jari girasi sebesar  $r$  berarti semua massa benda seolah-olah terdistribusi pada jarak  $r$  dari sumbu putar.

## 2.8 Konsep Getaran

Gelombang adalah bentuk dari getaran yang merambat pada suatu medium. Getaran sendiri merupakan gerakan bolak-balik dalam suatu interval waktu tertentu. Getaran berhubungan dengan gerak osilasi benda dan gaya yang berhubungan dengan gerak tersebut. Semua benda yang mempunyai massa dan elastisitas mampu bergetar. Jadi kebanyakan mesin dan struktur rekayasa (engineering) mengalami getaran sampai derajat tertentu dan rancangannya biasanya memerlukan pertimbangan sifat osilasinya. Secara umum, ada dua jenis getaran, bebas dan paksa.



Gambar 2.13 Gelombang Transversal

## 2.9 Response Amplitude Operator

*Response Amplitude Operator (RAO)* atau yang disebut juga sebagai *Transfer Function* adalah fungsi respon struktur akibat beban gelombang yang mengenai struktur lepas pantai pada frekuensi tertentu. RAO disebut sebagai *Transfer Function* karena RAO merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada suatu struktur. Amplitudo respon terhadap amplitudo gelombang. Dapat dinyatakan dengan bentuk matematis yaitu ( $\zeta_{\text{respon}} / \zeta_{\text{gelombang}}$ ). Amplitudo respon bisa berupa gerakan, tegangan, maupun getaran. RAO juga disebut sebagai *Transfer Function* karena RAO merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada suatu struktur (Chakrabarti, 1987), persamaan RAO dapat dicari dengan rumus sebagai berikut

$$RAO(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \quad (2.5)$$

Dimana :

$X_p(\omega)$  = amplitudo struktur

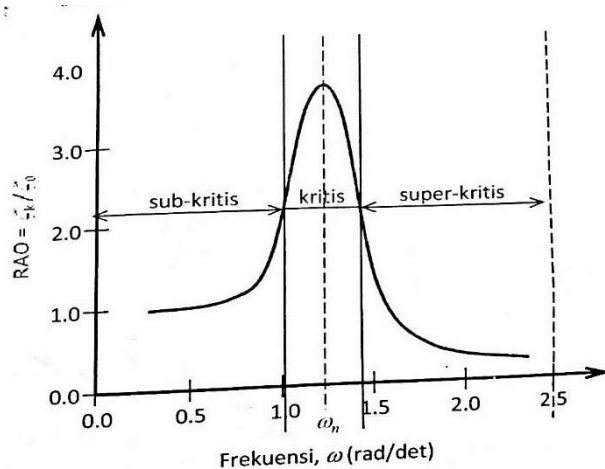
$\eta(\omega)$  = amplitudo gelombang

Kurva respons gerakan bangunan apung pada dasarnya dapat dibagi menjadi tiga bagian:

- Pertama adalah bagian frekuensi rendah, atau gelombang (dengan periode) panjang, yang disebut daerah sub- kritis. Pada daerah ini bangunan laut akan mengikuti pola atau kontur elevasi gelombang yang panjang, sehingga amplitudo gerakan kurang lebih akan ekuivalen dengan amplitudo gelombang, atau disebut sebagai *conturing*.
- Kedua adalah daerah kritis, meliputi pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi rendah sampai dengan puncak kurva dan diteruskan ke pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi tinggi. Puncak kurva berada pada frekuensi

alami, yang merupakan daerah resonansi, sehingga respon gerakan mengalami magnifikasi, atau amplitudo gerakan akan beberapa kali lebih besar daripada amplitudo gelombang.

- c. Ketiga adalah gerakan super kritis, yaitu daerah frekuensi tinggi, atau gelombang- gelombang (dengan periode pendek). Pada daerah ini respon gerakan akan mengecil. Semakin tinggi frekuensi, atau semakin rapat antara puncak- puncak gelombang yang berurutan, maka akan memberikan efek seperti bangunan laut bergerak diatas air yang relatif datar. Oleh karena itu kondisi ini dapat diistilahkan sebagai platforming.



**Gambar 2.14** Bentuk Umum Grafik Respon Gerakan Bangunan Apung (Djtmiko, 2012)

## 2.10 Mengukur Nilai Koefisien Elastisitas (k) Mooring

Tambat yang digunakan adalah berjenis *single mooring* yang terdiri dari konfigurasi tali seling kawat, karet, dan aksesoris pendukung berupa *swivel* dan *carabiner*. Sebagai tali tambat harus diketahui nilai elastisitasnya dari material yang digunakan. Dalam pengujian ini yang memungkinkan untuk diketahui nilainya adalah tali karet.

Cara mengetahui nilainya adalah dengan pengukuran. Tali karet diberi tiga variasi beban berbeda lalu diukur panjangnya di setiap variasi yang diberikan. Kemudian dihitung nilainya berdasarkan persamaan berikut:

$$F = k \Delta x$$

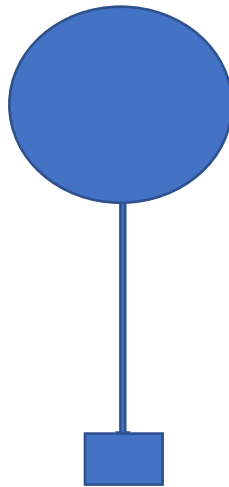
$$k = F/\Delta x$$

Di mana,

$F$  = besarnya gaya yang diberikan atau gaya tarik (N)

$k$  = konstanta benda (N/m)

$\Delta x$  = pertambahan panjang benda (m)



**Gambar 2.15** Ilustrasi 2D Konfigurasi Rangkaian Tali Tambat

### 2.11 Pembuatan tali tambat ( Mooring )

Tali tambat digunakan agar *pontoon* tidak hanyut saat pengujian nanti. Komposisi tali tambat disesuaikan dengan *requirement* dari teknisi Lab Hidrodinamika Fakultas Teknologi Kelautan ITS. Gambar 16 menunjukkan hasil rangkaian tali yang telah dibuat. Rangkaiannya berupa:

- |                |        |                   |
|----------------|--------|-------------------|
| a. Tali Benang |        | c. Aksesoris      |
| - diameter     | 2 mm   | - carabiner       |
| - panjang      | 100 cm | - swivel eye      |
| b. Pemberat    |        | - swivel snap     |
| - lebar        | 20 cm  | - klem kuku macan |
| - panjang      | 25 cm  |                   |





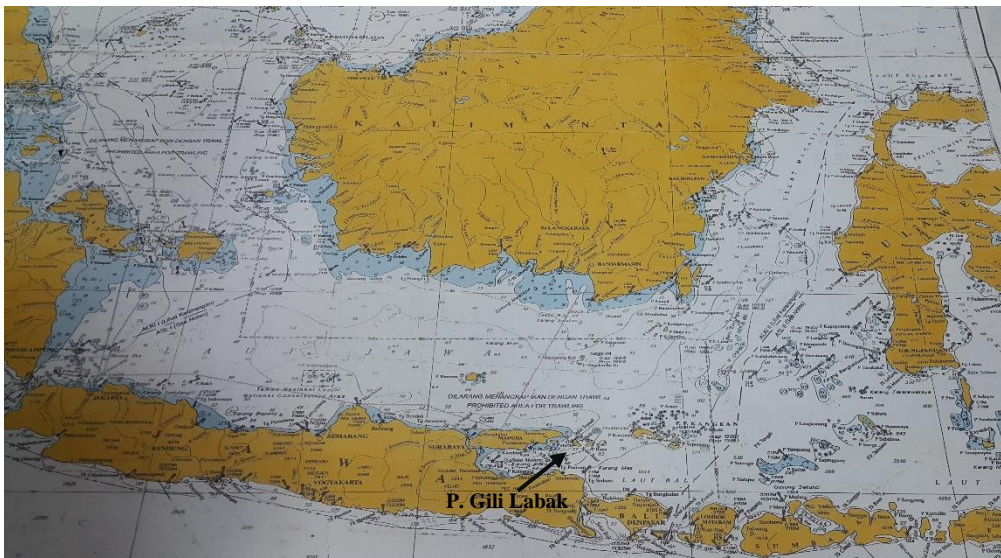
**Gambar 2.16** Hasil Rangkaian Tali Tambat

## 2.12 Data Lingkungan

Dalam penelitian ini data lingkungan yang digunakan diantaranya adalah, jenis gelombang *irregular*. ( BMKG Perak Surabaya dan Poltekel Pelayaran Surabaya )

**Tabel 2.2** Data BMKG Perak Surabaya

Koordinat	Wind Spd (Knot)	Current Spd (Cm/S)	Wave Height (m)	Wave Length (m)	P (S)
Timur Laut	5.434349935	19.61321955	1.148000373	54.09066779	5.877142
Timur	4.370127253	14.12522269	0.930980912	52.75755037	5.806045
Tenggara	5.41147174	19.58590935	1.146304794	54.11558291	5.878491
Selatan	5.403264316	19.58102033	1.144172729	54.07058198	5.876111

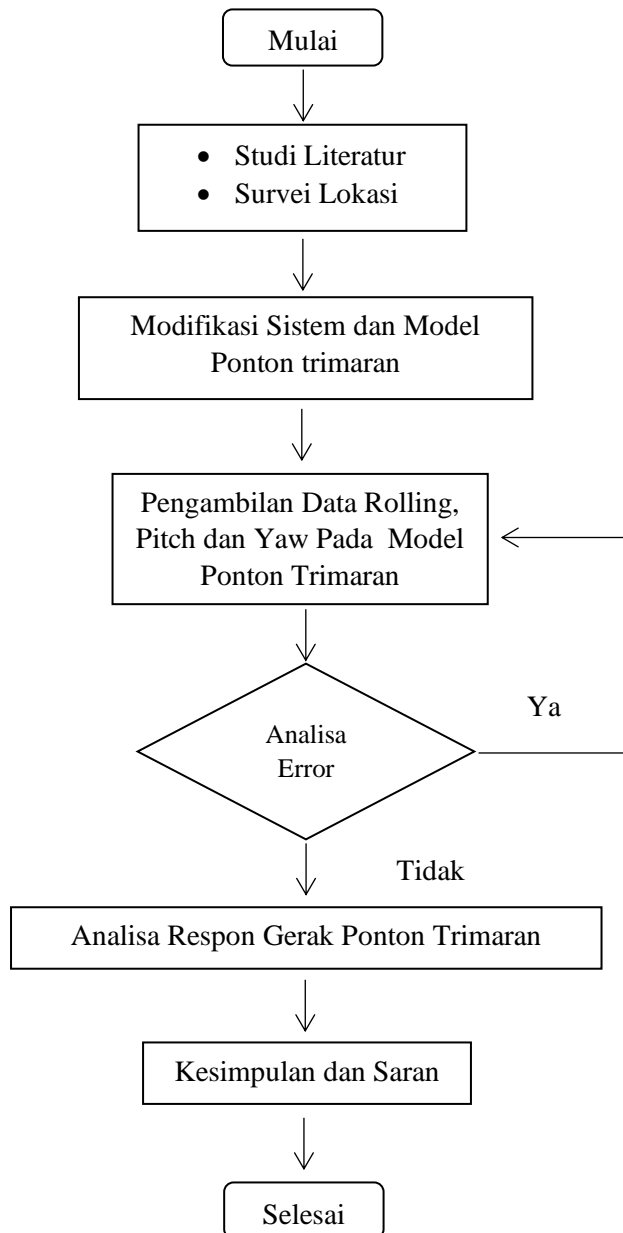


**Gambar 2.17** Peta Pulau Gili Labak

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Pendahuluan

Metodologi Penelitian merupakan penentuan tujuan dan langkah dalam pengerjaan tugas akhir. Metodologi memiliki fungsi sebagai kerangka utama untuk menjadi penentu pembahasan dalam proses pengerjaan tugas akhir.



**Gambar. 3.1** Diagram Alir Metodologi Penelitian

### 3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mencari referensi penelitian sebelumnya mengenai penambahan skeg pada kapal. Referensi tersebut yang berkaitan dengan pengaruh adanya penambahan skeg terhadap aliran kapal serta *wake fraction*. Bentuk dari referensi literatur dalam tugas akhir ini yaitu jurnal, buku, Internet, tugas akhir, serta paper.

### 3.3 Survei Lokasi

1. Data Pantai Kenjeran Surabaya
  - a. Sistem Pembangkit : Gelombang Laut
  - b. Keluaran Gelombang : Irreguler
  - c. Periode Gelombang : 3.0 detik
  - d. Tinggi Gelombang : 0.2 m
  - e. Kedalaman air : 0.5 m
  
2. Tujuan Pengujian : untuk mengetahui respon gerak pada model ponton.
  
3. Dalam Melakukan pengujian menurut ITTC ada beberapa langkah yang harus dicapai, yaitu :
  - a. Model dan instalasi
  - b. Sistem pengukuran
  - c. Instrumentasi
  - d. Kalibrasi
  - e. Prosedur uji dan akuisisi data
  - f. Analisa
  - g. Pelaporan
  - h. Validasi (analisa ketidakpastian dan benchmarking)
  - i. Referensi
  
4. Parameter yang diuji :
  - a. Gelombang Irreguler  
menggunakan gelombang Irreguler karena lokasi pengujian di pantai kenjeran dengan menggunakan gelombang laut.
  - b. Pengambilan data per variasi setiap periode gelombang 300 detik
  - c. Pengukuran Alat menggunakan Inertial Measurement Unit ( IMU )  
Alat ini berupa dua perangkat, satu perangkat pemancar dan satu lagi perangkat penerima. Pada gambar ditunjukkan perangkat pemancar beserta isinya. Di dalamnya terdapat dua sensor utama yaitu sensor accelero yang secara default memberikan data percepatan translasi dan sensor gyro yang secara default memberikan data kecepatan rotasi. Sensor IMU diletakkan di atas model ponton. Gambar 3.2 menunjukkan IMU Tools.

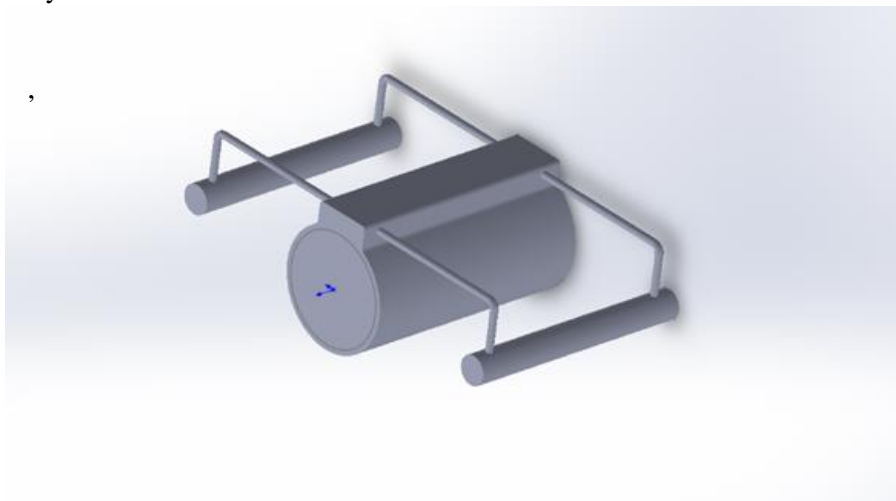


**Gambar 3.2** IMU Tools

### 3.4 Modifikasi Model Ponton Trimaran Dari Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian sebelumnya telah direncanakan model ponton dengan ukuran kecil menggunakan skala 1:10.

Model ponton dari penelitian sebelumnya kemudian digambar ulang dengan ukuran model poton baru dengan penambahan beberapa komponen penunjang seperti: casing, sudu, dua bandul dengan beban, sistem electric dan *piezoelectric* sebagai sumber energi listrik. Gambar 3.3 desain model ponton 3D dari penelitian sebelumnya.



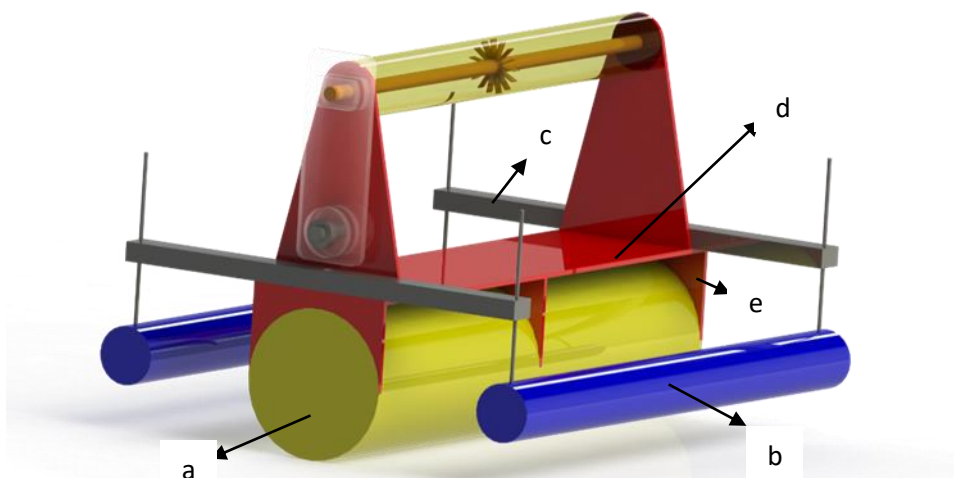
**Gambar 3.3** Desain Model Ponton 3D dari Penelitian Sebelumnya  
(Teuku Rachmatra, 2014)

**Tabel 3.1** Data Dimensi Model Ponton Trimaran Sebelum Modifikasi

Dimensi Model	
Diameter Silinder Besar (D)	16,5 cm
Tebal Silinder Besar	7 cm
Diameter Silinder Kecil (Jukung)	4,0 cm

Tebal Silinder Kecil	2 cm
Panjang Silinder Besar	32,0 cm
Panjang Silinder Kecil	32,0 cm
Massa Jenis Silinder	1.39 gr/cm <sup>3</sup>
Sarat Air	1/2 D
Tinggi Jukung	15 cm
Panjang Plat	32,0 cm
Lebar Plat	170 cm
Massa Jenis Plat	1.2 gr/cm <sup>3</sup>

Model ponton trimaran dibawah ini merupakan pengembangan model dari penelitian PLTGL yang telah dilakukan sebelumnya. Tugas akhir ini, membahas tentang pengaruh bentuk ponton terhadap respon gerak ponton. Oleh karena itu, model pada penelitian ini digambar ulang. Berikut merupakan spesifikasi dari model ponton baru. Gambar 3.4 menunjukkan desain model ponton 3D



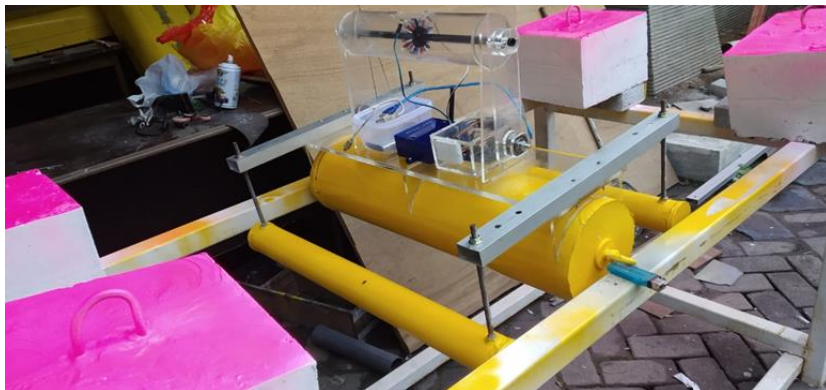
**Gambar 3.4** Desain Model Ponton 3D

**Tabel 3.2** Data Dimensi Model Ponton Trimaran Sesudah Modifikasi

Dimensi Model Ponton Trimaran	
a. Ponton Utama	
Diameter	: 15 cm
Massa Jenis Silinder ( PVC )	: 1.39 gr/cm <sup>3</sup>
Sarat Air	: 1/2 D
Panjang	: 60 cm
Tebal	: 2 mm
b. Ponton Kecil	

Diameter	: 6 cm
Massa Jenis Pipa	: 1.2 gr/cm <sup>3</sup>
Panjang	: 60 cm
Tebal	: 2 mm
c. Lengan ( Cadik ) 2 Buah	
Panjang	: 44.5 cm
Tebal	: 2 mm
Luasana ( P x l )	: 3 x 2 ( cm )
Massa Jenis Alumunium	: 2.7 gr/cm <sup>3</sup>
d. Body Ponton	
Massa Jenis akrilik	: 1.190 gr/cm <sup>3</sup>
Panjang	: 60 cm
Tebal	: 10 mm
Lebar	: 16 cm
e. Rusuk ( Frame ) 3 Buah	
Lebar	: 16 cm
Tinggi	: 9.5 cm
Lebar	: 3 mm
Massa Jenis akrilik	: 1.190 gr/cm <sup>3</sup>

Proses Pembuatan dan assembly model ponton trimaran dilakukan seperti Dengan menggunakan bahan dasar pvc, pipa, alumunium, besi dan akrilik serta asesoris lainnya. Gambar 3.5 menunjukkan proses pembuatan dan assembly model.



**Gambar 3.5** Proses pembuatan dan assembly Model Ponton Trimaran

### 3.5 Pengambilan Data pada Model Ponton Trimaran

Proses pengambilan data dilakukan untuk mengetahui pergerakan pada model ponton trimaran tersebut dengan variasi jarak cadik dan jumlah sudu, yang dilengkapi dengan sistem electric, batre, serta sensor IMU diatas ponton untuk medeteksi

pergerakan olah gerak ponton. Data yang diambil adalah nilai roll, pitch dan yaw model ponton. Tabel 3.3 menunjukkan kondisi pengujian model.

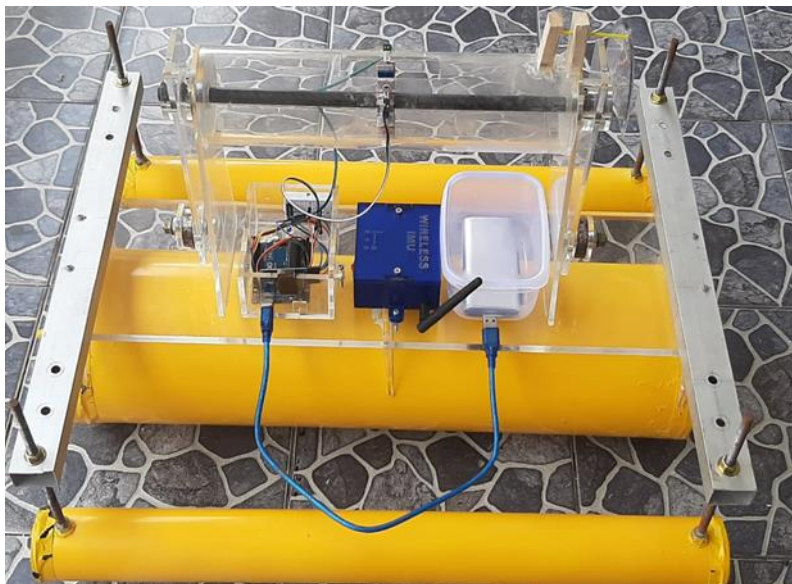
**Tabel 3.3** Kondisi Pengujian Model Ponton Trimaran

Tes Kondisi	Jarak Cadik ( cm )	Jumlah Sudu
1	21.5	20
2		10
3		5
4	17.5	20
5		10
6		5
7	13.5	20
8		10
9		5

Gambar 3.6 sampai dengan gambar 3.11 merupakan tes kondisi saat pengujian dilapangan sedangkan Gambar 3.12 merupakan contoh pengambilan data dilapangan.

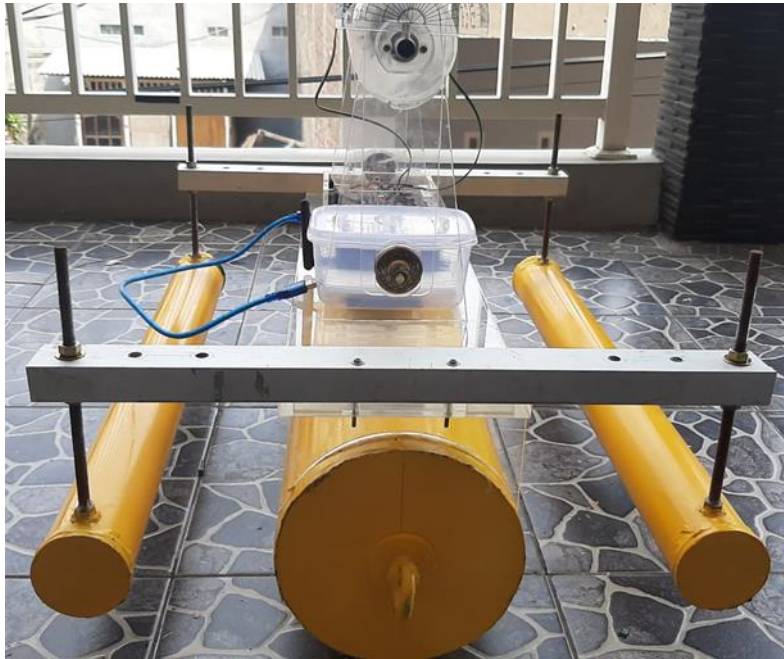
### 3.5.1 Kondisi Tes 1

Tes Kondisi 1 merupakan pengujian dengan menempatkan baut dengan jarak cadik paling jauh dengan titik tengah *ponton trimaran* yaitu 21.5 cm.



**Gambar 3.6** Tampak samping tes kondisi 1 dengan jarak cadik 21.5 cm





**Gambar 3.7** Tampak depan tes kondisi 1 dengan jarak cadik 21.5 cm

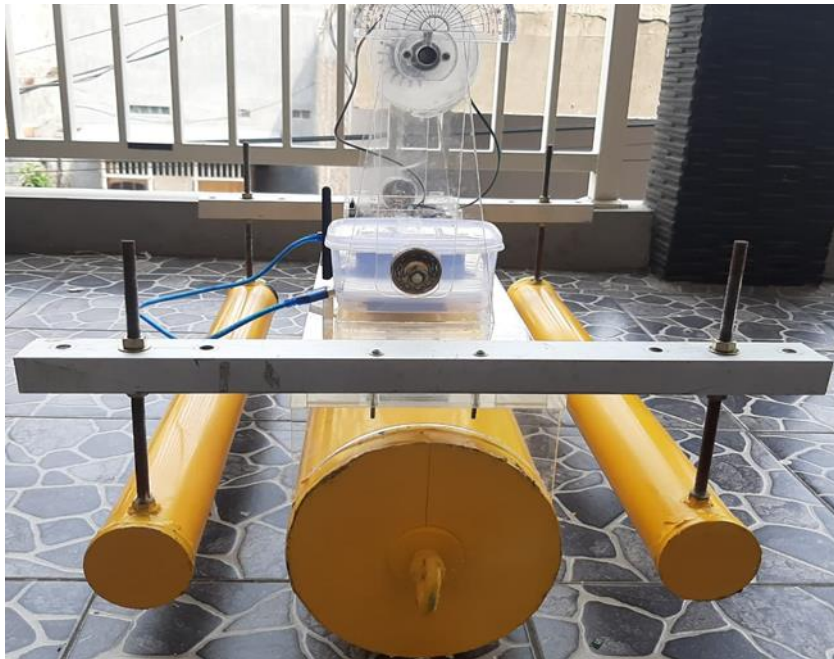
### 3.5.2 Kondisi Tes 2

Tes Kondisi 2 merupakan pengujian dengan menempatkan baut dengan jarak cadik tengah-tengah dengan titik tengah *ponton trimaran* yaitu 17.5 cm



**Gambar 3.8** Tampak samping tes kondisi 2 dengan jarak cadik 17.5 cm

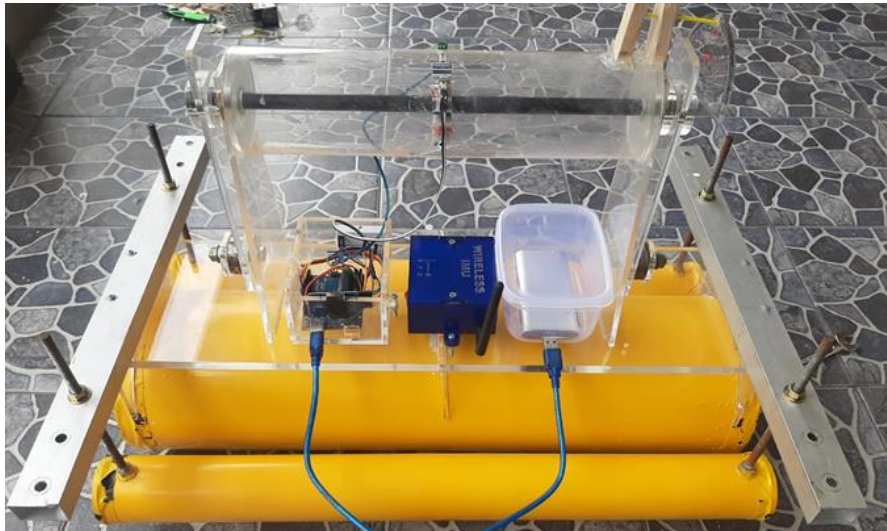




**Gambar 3.9** Tampak depan tes kondisi 2 dengan jarak cadik 17.5 cm

### 3.5.3 Kondisi Tes 3

Tes Kondisi 3 merupakan pengujian dengan menempatkan baut dengan jarak cadik paling dekat dengan titik tengah *ponton trimaran* yaitu 13.5 cm.



**Gambar 3.10** Tampak samping tes kondisi dengan jarak cadik 13.5 Cm



**Gambar 3.11** Tampak depan tes kondisi 3 dengan jarak cadik 13.5 Cm

### 3.5.4 Pengujian Model Ponton Trimaran

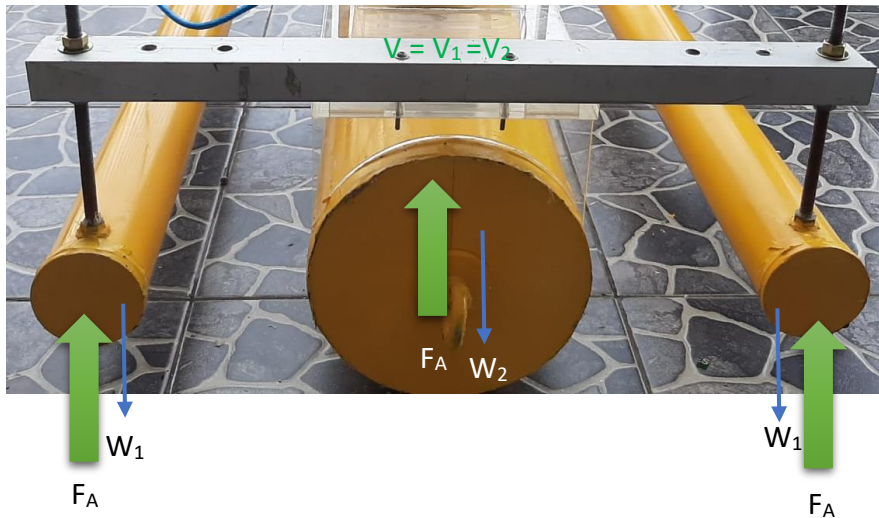
Pengujian dilakukan di pantai kenjeran surabaya dengan tiga kali variasi jarak cadik. Terdapat variabel tetap berupa gelombang dan arah hadap *ponton trimaran* terhadap gelombang yang sama pada ketiga kondisi.



**Gambar 3.12** Proses Pengujian Model Ponton Trimaran

### 3.6 Perhitungan Volume Tercelup dan Koefisien Elastisitas Mooring

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui berapa volume ponton trimaran yang tercelum kedalam air sehingga kita dapat mengetahui berat ponton ketika didalam air dan juga dilakukan perhitungan koefisien elastisitas pada mooring untuk mengetahui seberapa besar nilai perpindahan pada tali mooring. Gambar 3.14 menunjukkan proses perhitungan.



**Gambar 3.13** Volume Tercelup Ponton

Keterangan

$F_A$  = Gaya Boyancy ( N )

$V_c$  = Volume Benda Tercelup ( $m^3$ )

$m$  = Massa Ponton Ketika Tercelup ( kg )

$k$  = Konstanta Pegas ( N/m )

$\Delta x$  = Perubahan panjang tali pemancang ( m )

$W_f$  = Berat Benda Tercelup ( N )

$\rho_f$  = Massa Jenis Air Laut ( $kg/m^3$ )

$\rho_1$  = Massa Jenis Ponton besar ( $kg/m^3$ )

$\rho_2$  = Massa Jenis Ponton kecil ( $kg/m^3$ )

$2\rho_{ac}$  = Massa Jenis Penutup Ponton besar ( $kg/m^3$ )

$4\rho_{ac}$  = Massa Jenis Penutup Ponton kecil ( $kg/m^3$ )

$V_1$  = Volume Ponton besar ( $m^3$ )

$V_2$  = Volume Ponton kecil ( $m^3$ )

$V_{ac2}$  = Volume Penutup Ponton besar ( $m^3$ )

$V_{ac1}$  = Volume Penutup Ponton kecil ( $m^3$ )

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus Archimedes tentang gaya apung. Gaya apung terjadi karena adanya perbedaan tekanan fluida pada kedalaman yang berbeda. Tekanan fluida bertambah terhadap kedalaman. Semakin dalam fluida (zat cair), semakin besar tekanan fluida tersebut. Ketika sebuah benda dimasukkan ke dalam fluida, maka akan terdapat perbedaan tekanan antara fluida pada bagian atas benda dan fluida pada bagian bawah benda.

Untuk perhitungan koefisien elastisitas menggunakan Hukum Hooke. Yang berbunyi bahwa besarnya gaya yang bekerja pada benda sebanding dengan pertambahan panjang bendanya. Tentu hal ini berlaku pada benda yang elastis (dapat meregang)

$$F_A = W_f$$

$$F_A - W_2 - 2W_1 = 0$$

$$W_f = W_2 + 2W_1$$

$$\rho_f \cdot V_C = \rho_1 \cdot V_1 + 2 \rho_2 \cdot V_2 + 2 \rho_{ac} \cdot V_{ac2} + 4 \rho_{ac} \cdot V_{ac1}$$

$$V_C = \frac{\rho_1 \cdot V_1 + 2 \rho_2 \cdot V_2 + 2 \rho_{ac} \cdot V_{ac2} + 4 \rho_{ac} \cdot V_{ac1}}{\rho_f}$$

$$V_C = \frac{1390 \cdot 0,010 + 2 \cdot 1200 \cdot 0,0016 + 2 \cdot 1190 \cdot 0,000053 + 4 \cdot 1190 \cdot 0,0000085}{1025}$$

$$V_C = 0,0175 \text{ m}^3$$

$$m = \rho \times v$$

$$m = 1390 \times 0,0058$$

$$m = 8,09 \text{ kg}$$

$$F_A = m \times g$$

$$F_A = 8,09 \times 9,81$$

$$F_A = 79,36 \text{ N}$$

$$K = F / \Delta x = 79,36 / 17,5 = 4,53 \text{ N/m}$$

### 3.7 Analisa Error

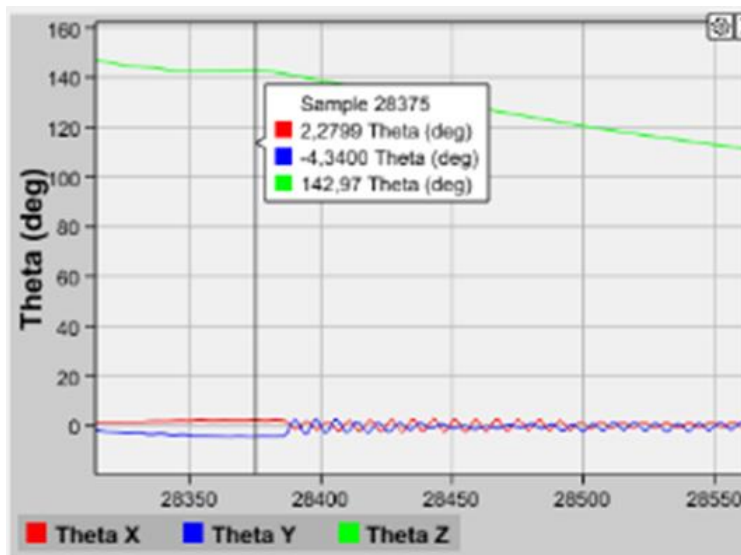
Sumber nilai variasi data yang tidak dapat dimasukkan ke dalam model. Pada suatu model data sederhana, masing-masing nilai pengamatan (pengamatan) dapat dipilah menjadi rerata (*mean*) dan simpangannya (*deviation*).

**Tabel 3.4** Kondisi Penyimpangan Nilai

1	Sample Number	Roll $\Theta$ X (deg)	Pitch $\Theta$ Y (deg)	Yaw $\Theta$ Z (deg)	Pos X (m)	Pos Y (m)	Pos Z (m)
2	8539	0.69	-3.22	34541	0.02	0.43	0.02
3	7369	-4.16	-1.59	30609	0	0.09	0.04
4		4.59	1.88	21217.5	0.01	0.07	0
5		1.03	1.78	10100.88	0.03	0.11	0.01
6		4.16	-0.06	4641	0.04	0.29	0.22
7		0.66	-0.16	3788	0.03	0.28	-0.03
8		0.25	-0.22	3528	0.03	0.25	0.08
9	8526	4	0.56	3511.56	0.01	0.31	0.01
10		4.53	1.44	2341.44	-0.02	0.24	0
11	2826	1.03	-1.5	2325	0	-0.01	-0.03
12		-4.12	0.62	2242	-0.34	0.06	-0.02
13		5	1.94	2188	0	-0.01	0
14		6.09	1.75	2010.838	0.03	-0.07	0

### 3.8 Analisa Respon Gerak Ponton Triamaran

Analisa Data yang diterima dari IMU adalah berupa sinyal GUI di layar monitor yang kemudian disimpan dengan format Comma Separated Values dalam file Excel. Kemudian diolah dan disajikan dalam bentuk grafikal untuk mengetahui variasi mana yang memberikan respon terbaik terhadap gelombang sehingga kita dapat mengetahui nilai Roll, pitch dan yaw pada pengujian. Gambar 3.15 dan Tabel 3.5 menunjukkan hasil pengujian.



**Gambar 3.14** GUI IMU

**Tabel 3.5** Data Outputan IMU

1	Sample Number	Roll $\theta$ X (deg)	Pitch $\theta$ Y (deg)	Yaw $\theta$ Z (deg)	Pos X (m)	Pos Y (m)	Pos Z (m)
2	0	-1.84	-1.44	0	0	-0.02	0
3	1	-1.56	-1.97	0	0	-0.02	0
4	2	-1.75	-2.47	0	0	-0.02	0
5	3	-2.03	-2.5	0	0	-0.02	0
6	4	-2.06	-2.38	0	0	-0.02	0
7	5	-1.94	-2.19	0	0	-0.02	0
8	6	-1.34	-2.06	0	0	-0.02	0
9	7	-0.84	-2.16	0	0	-0.02	0
10	8	-0.44	-2.28	0	0	-0.02	0
11	9	-0.38	-2.41	0	0	-0.02	0
12	10	-1.03	-2.53	0	0	-0.02	0
13	11	-2	-2.44	-0.01	0	-0.02	-0.01
14	12	-2.91	-2.44	-0.01	0	-0.02	-0.01
15	13	-3.31	-2.5	-0.01	0	-0.02	-0.01
16	14	-3.47	-2.56	-0.01	0	-0.02	-0.01
17	15	-3.38	-2.62	-0.01	0	-0.02	-0.01
18	16	-3	-2.75	-0.01	0	-0.02	-0.01
19	17	-2.44	-2.91	-0.01	0	-0.02	-0.01
20	18	-1.72	-3.09	-0.01	0	-0.02	-0.01
21	19	-1.19	-3.34	-0.01	0	-0.02	-0.01
22	20	-0.97	-3.41	-0.01	0	-0.02	-0.01
23	21	-1.03	-3.34	-0.01	0	-0.02	-0.01

### 3.9 Kesimpulan dan Saran

Setelah dilakukan analisa terhadap data yang didapat, maka selanjutnya dapat ditarik kesimpulan dari seluruh kegiatan yang dilakukan. Kesimpulan yang dihasilkan merupakan jawaban dari permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini. Pada akhir pengerjaan tugas akhir ini akan diberikan beberapa saran terkait proses dan hasil dari tugas akhir. Dengan adanya saran tersebut dapat diharapkan menjadi acuan dalam mengembangkan penelitian selanjutnya.



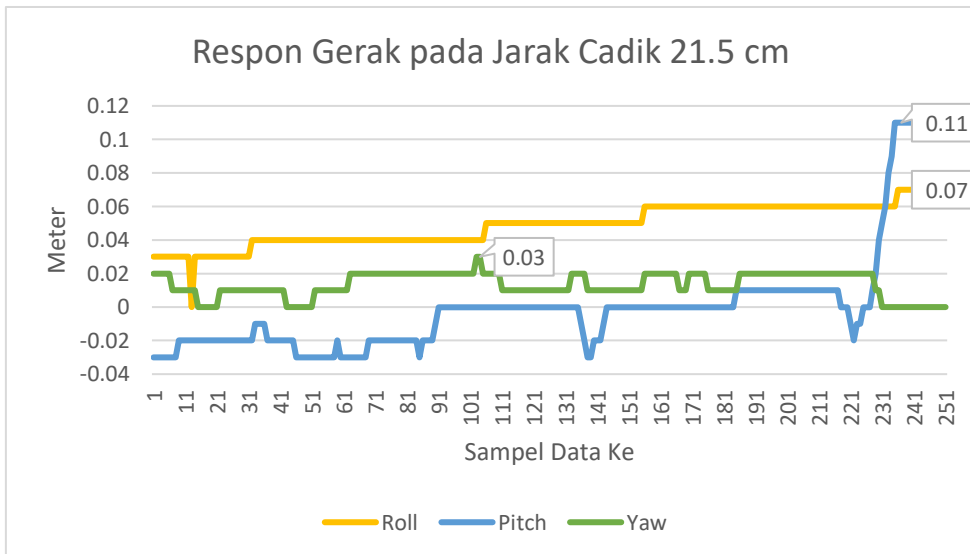
## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pendahuluan

Bab ini akan menjelaskan mengenai hal-hal yang berkaitan dengan data - data yang berhasil dikumpulkan, hasil pengolahan data dan pembahasan dari hasil Pengujian yang telah dilakukan yang nantinya akan menjawab tujuan dalam penelitian ini.

### 4.2 Respon gerak roll, pitch dan yaw pada berbagai jarak cadik

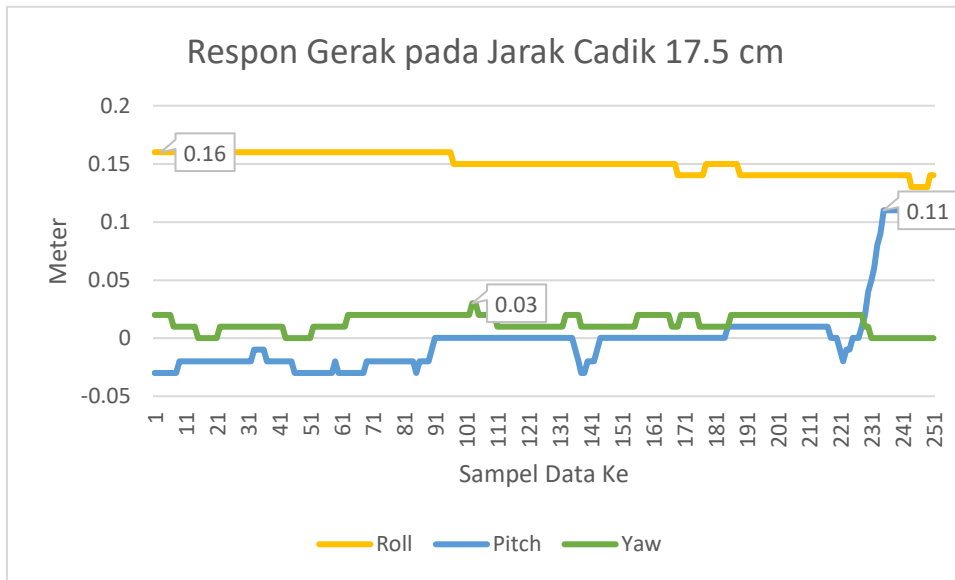
Penelitian ini menggunakan gelombang Irreguler atau gelombang acak. Data tinggi gelombang berikut didapatkan dari pembacaan nilai heave (m) pada semua kondisi jumlah sudu dengan jarak cadik 21.5 cm. Dikarenakan tidak adanya variasi tinggi gelombang, sehingga nilai tersebut menjadi acuan peneliti. Gambar 4.1 menunjukkan respon gerak pada jarak cadik 21.5 cm



**Gambar 4.1** Respon gerak pada jarak cadik 21.5 cm

Gambar 4.1 diatas menunjukkan pergerakan gelombang yang sangat berpengaruh. pada kondisi ini ketinggian gelombang sangat mempengaruhi gerakan pitch.

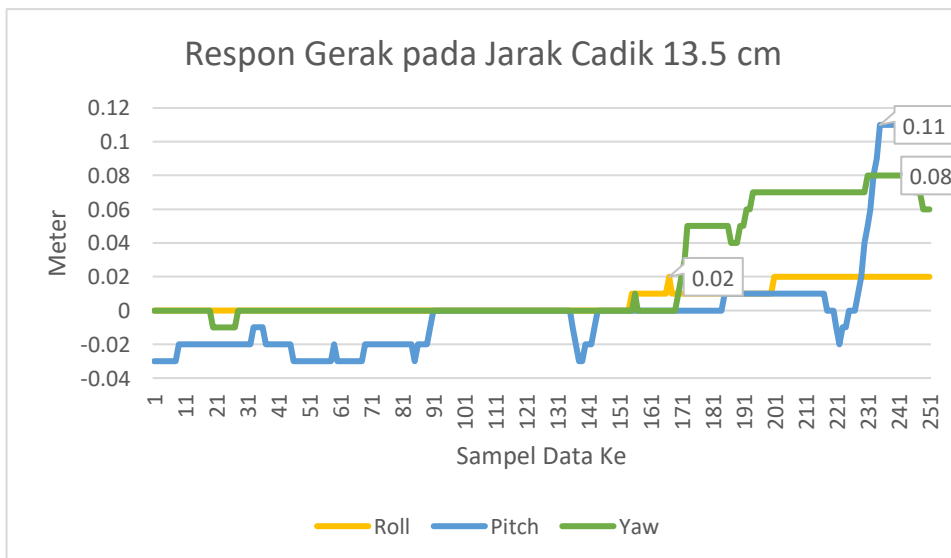
Data tinggi gelombang berikut didapatkan dari pembacaan nilai heave (m) pada semua kondisi jumlah sudu dengan jarak cadik 17.5 cm. Dikarenakan tidak adanya variasi tinggi gelombang, sehingga nilai tersebut menjadi acuan peneliti. Gambar 4.2 menunjukkan respon gerak pada jarak cadik 17.5 cm.



**Gambar 4.2** Respon gerak pada Jarak Cadik 17.5 cm

Gambar 4.2 diatas menunjukkan pergerakan gelombang yang sangat berpengaruh. pada kondisi ini ketinggian gelombang sangat mempengaruhi gerakan Roll.

Data tinggi gelombang berikut didapatkan dari pembacaan nilai heave (m) pada semua kondisi jumlah sudu dengan jarak cadik 13.5 cm. Dikarenakan tidak adanya variasi tinggi gelombang, sehingga nilai tersebut menjadi acuan peneliti. Gambar 4.3 menunjukkan respon gerak pada jarak cadik 13.5 cm.



**Gambar 4.3** Respon gerak pada jarak cadik 13.5 cm



Gambar 4.3 diatas menunjukkan pergerakan gelombang yang sangat berpengaruh. pada kondisi ini ketinggian gelombang sangat mempengaruhi gerakan Pitch.

#### 4.3 Pengaruh bentuk ponton terhadap respon gerak

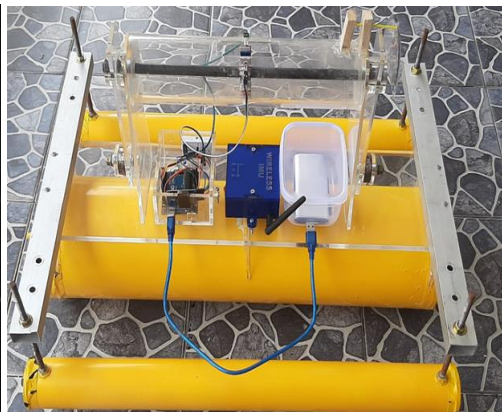
Bentuk Ponton sangat mempengaruhi gerak bangunan apung itu sendiri. Semakin lebar penampangnya maka akan lebih stabil. Respon gerak terhadap Penelitian yang dilakukan Rifky ( 2019 ) menggunakan bentuk ponton hexagonal, dari sini bisa didapat nilai *roll* yang lebih kecil akibat luas penampang yang besar.

Respon *pitch* terbaik dengan nilai  $6,12^{\circ}$  sedangkan variasi C memberikan respon roll terbaik dengan nilai  $3,12^{\circ}$ . variasi B merupakan pengujian dengan menempatkan baut floater dengan jarak 464 mm dengan titik tengah ponton. Sedangkan Variasi C adalah variasi pengujian dengan menempatkan baut floater dengan jarak 539 mm dengan titik tengah pontoon.

Untuk penelitian pada ponton trimaran yang memberikan respon gerak terbaik pada *roll* dengan nilai  $9.31^{\circ}$  terdapat pada variasi C atau Tes kondisi 3 dengan jumlah sudu 20 pada Jarak cadik 13.5 cm. sedangkan respon terbaik pada *pitch* dengan nilai  $6.69^{\circ}$  terdapat pada variasi B atau Tes kondisi 2 dengan Jumlah sudu 20 pada jarak cadik 17.5 cm. Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 menunjukkan perbedaan bentuk ponton. Sedangkan Tabel 4.1 menunjukkan perbandingan hasil roll dan pitch.



**Gambar 4.4** Ponton Hexagonal



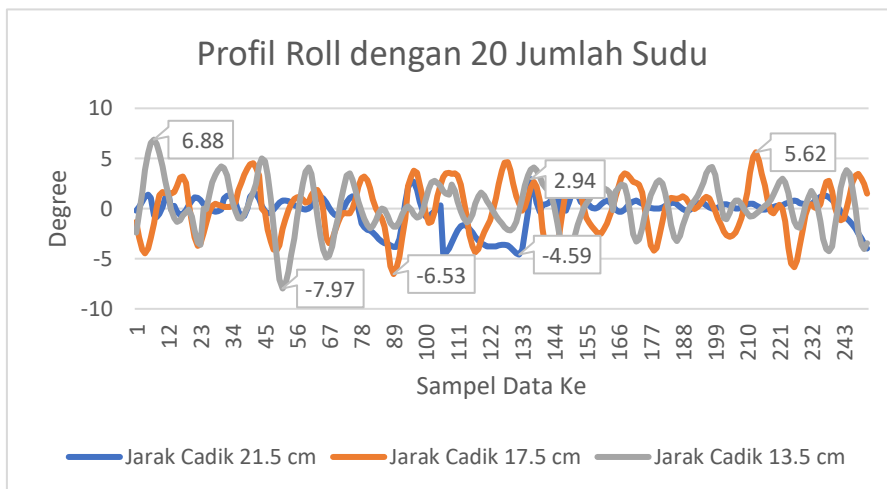
**Gambar 4.5** Ponton Trimaran

**Tabel 4.1** Perbandingan Hasil nilai pitch dan roll

Perbandingan Hasil		
Hexagonal	Roll	6.12 deg
	Pitch	3.12 deg
Trimaran	Roll	9.31 deg
	Pitch	6.69 deg

#### 4.4 Pengaruh perubahan jarak cadik terhadap Respon gerak ponton trimaran

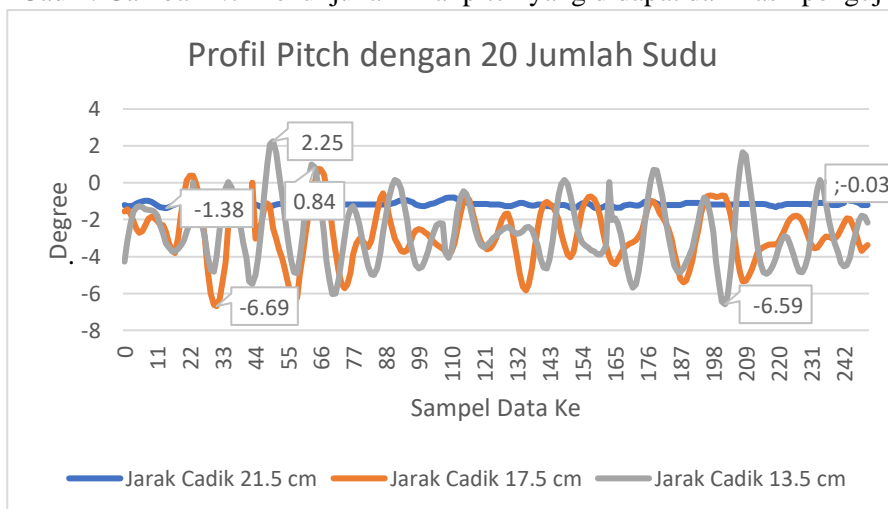
Kondisi Pengujian dibawah ini, jumlah sudu sebanyak 20 dengan perbandingan jarak Cadik. Gambar 4.6 menunjukkan nilai roll yang didapat dari hasil pengujian.



**Gambar 4.6** Profil roll dengan 20 Jumlah sudu

Grafik 4.6 diatas menunjukkan bahwa pergerakan rotasional sumbu x ( Roll ) dengan 20 jumlah sudu pada semua kondisi jarak cadik. Semakin dekat jarak cadik dengan titik pusat ponton maka gerkan roll yang didapatkan akan semakin besar, hal ini disebabkan kesetimbangan ponton berkurang dengan jarak cadik terdekat.

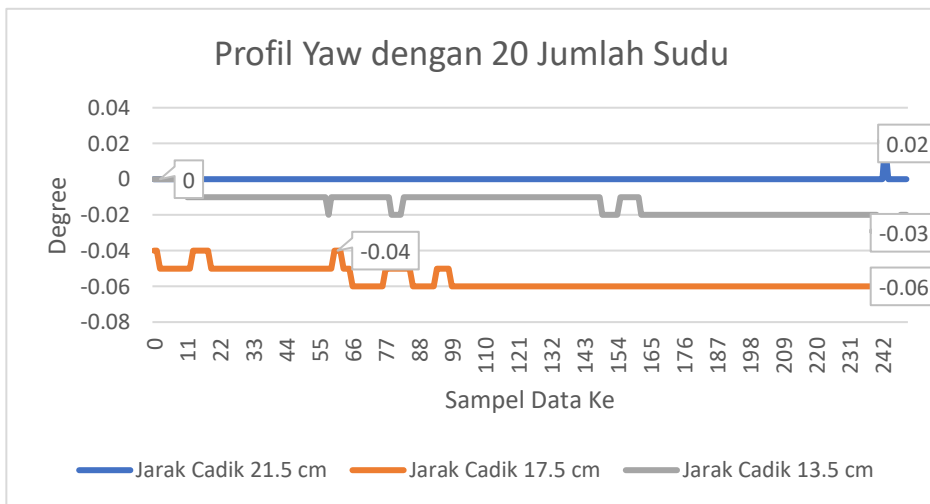
Kondisi Pengujian dibawah ini, jumlah sudu sebanyak 20 dengan perbandingan jarak Cadik. Gambar 4.7 menunjukan nilai pitch yang didapat dari hasil pengujian.



**Gambar 4.7** Profil pitch dengan 20 jumlah sudu

Grafik 4.7 diatas menunjukkan bahwa pergerakan rotasional sumbu y ( Pitch ) dengan 20 jumlah sudu pada semua kondisi jarak cadik, maka motion yang terjadi adalah pitch dan roll terkesan beriringan. Jumlah osilasi pitch dan roll terlihat sama tetapi sudut yang dihasilkan roll lebih besar.

Kondisi pengujian dibawah ini, jumlah sudu sebanyak 20 dengan perbandingan jarak Cadik. Gambar 4.8 menunjukan nilai yaw yang didapat dari hasil pengujian



**Gambar 4.8** Profil yaw dengan 20 jumlah sudu

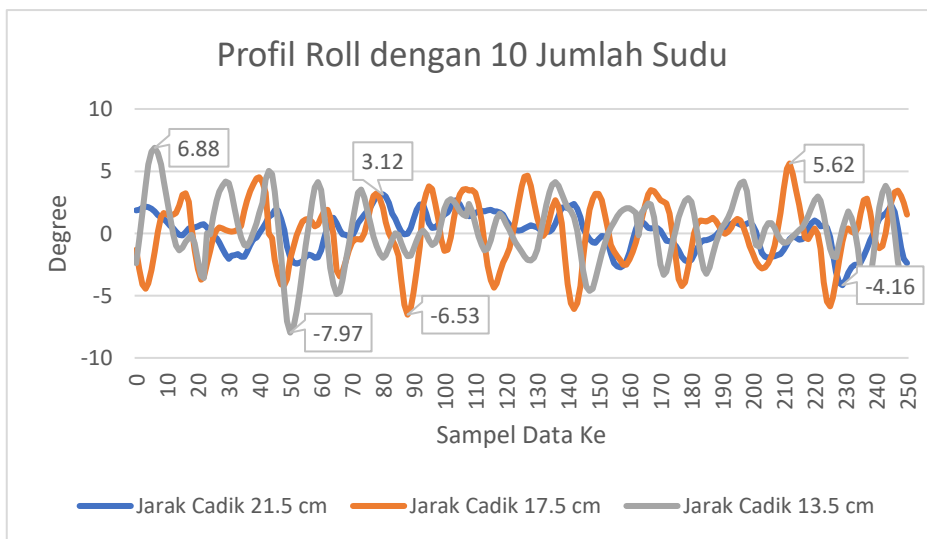
Gambar 4.8 diatas menunjukkan bahwa pergerakan rotasional sumbu Y ( Yaw ) dengan 20 jumlah sudu pada semua kondisi jarak cadik, pada kondisi ini adalah  $-0.06^{\circ}$ , walaupun tidak mengalami perubahan sudut yang cukup besar, dikarenakan mooring diikatkan pada kedua ujung ponton sehingga gerakan yawnya terbatas.

Table 4.2 dibawah ini menjelaskan tentang perbandingan perolehan hasil terbaik yang didapatkan selama pengujian dilapangan. Semakin besar nilai roll yang dihasilkan makan akan semakin baik terhadap gerak ponton, hal itu dikarenakan dapat berpengaruh juga terhadap besar sudut simpangan bandul yang terhubung dengan poros, sudu serta pizeoelectric yang terbending.

**Tabel 4.2** Perbandingan Jarak cadik dengan 20 jumlah sudu

Tes Kondisi	Jumlah Sudu	Jarak Cadik ( cm )	Roll ( deg )	Pitch ( deg )	Yaw ( deg )
1	20	21.5	4.59	0.03	0.02
4		17.5	6.53	6.69	0.06
7		13.5	7.97	6.59	0.03

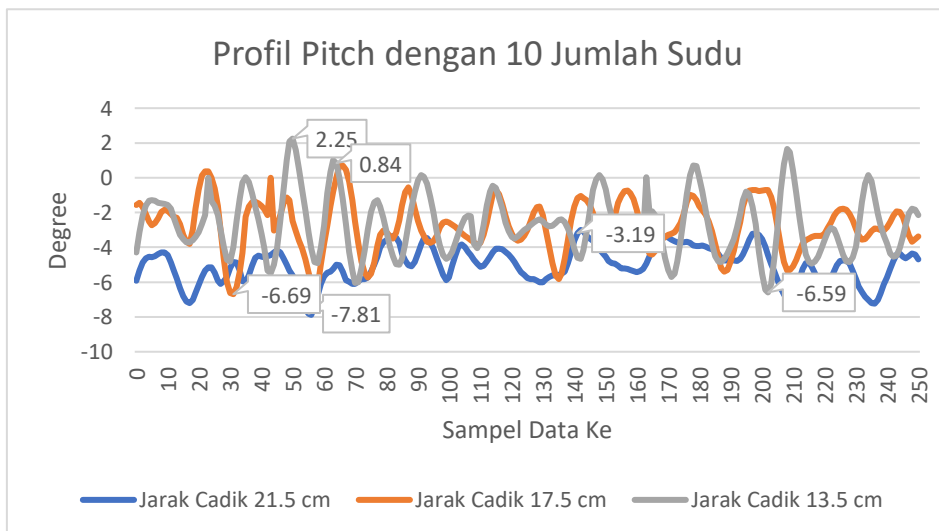
Kondisi pengujian dibawah ini, jumlah sudu sebanyak 10 dengan perbandingan jarak Cadik. Gambar 4.9 menunjukan nilai Roll yang didapat dari hasil pengujian.



**Gambar 4.9** Profil roll dengan 10 Jumlah Sudu

Grafik 4.9 diatas menunjukkan bahwa pergerakan rotasional sumbu x ( Roll ) dengan 10 jumlah sudu pada semua kondisi jarak cadik. Dengan jarak yang sama Pengurangan jumlah sudu tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan gerakan roll. Sehingga nilai roll tidak banyak perubahan.

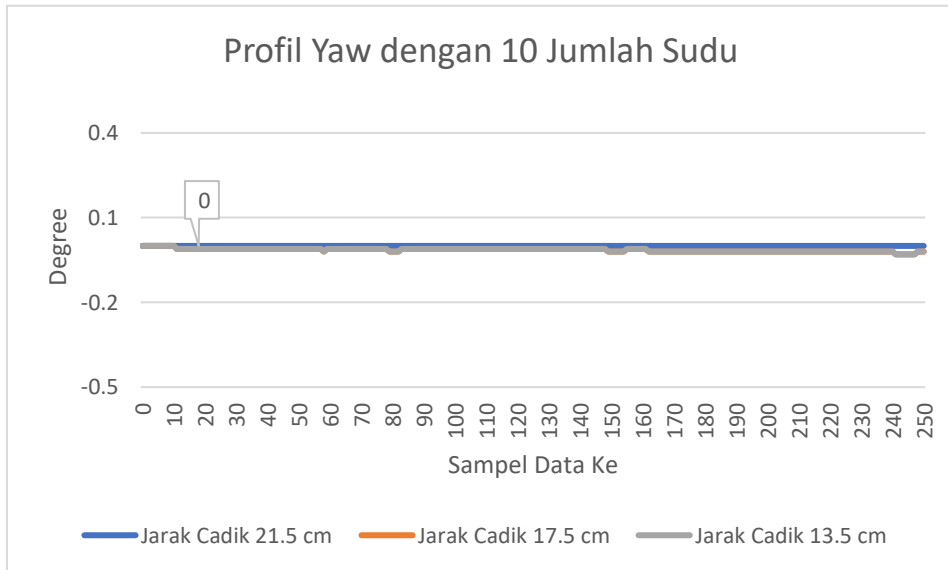
Kondisi pengujian dibawah ini, jumlah sudu sebanyak 10 dengan perbandingan jarak Cadik. Gambar 4.10 menunjukkan nilai pitch yang didapat dari hasil pengujian.



**Gambar 4.10** Profil pitch dengan 10 Jumlah Sudu

Grafik 4.10 diatas Menunjukkan bahwa pergerakan rotasional sumbu y ( Pitch ) dengan 10 jumlah sudu pada semua kondisi jarak cadik, pengurangan jumlah sudu tidak terlalu mempengaruhi Jumlah osilasi pitch dan roll tetapi nilai pitch terbesar kondisi ini adalah  $-7.81^0$  , nilai tersebut lebih besar dari pada kondisi 20 jumlah sudu.

Kondisi pengujian dibawah ini, jumlah sudu sebanyak 10 dengan perbandingan jarak Cadik. Gambar 4.11 menunjukkan nilai yaw yang didapat dari hasil pengujian



**Gambar 4.11** Profil Yaw dengan 10 Jumlah Sudu

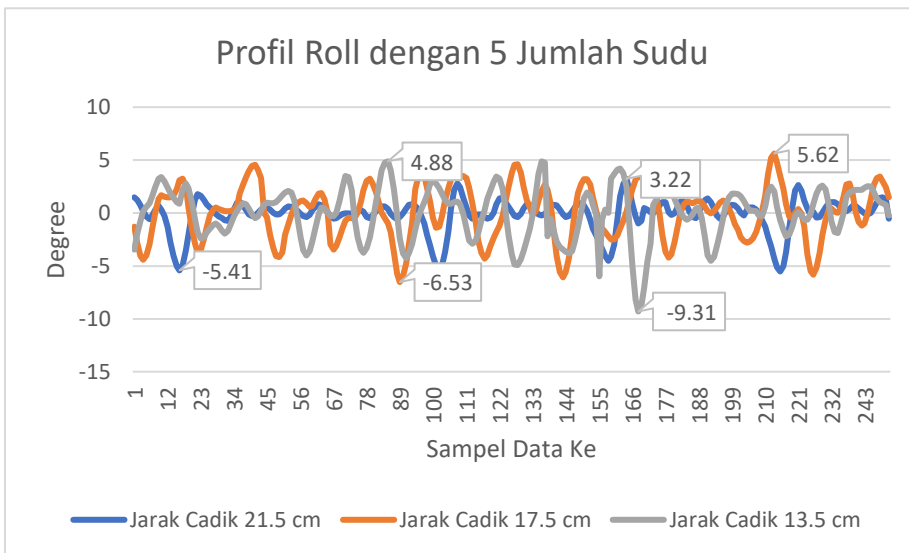
Gambar 4.11 diatas menunjukkan bahwa pergerakan rotasional sumbu Y ( Yaw ) dengan 10 jumlah sudu pada semua kondisi jarak cadik, pada kondisi ini nilai pergerakan yaw lebih stabil  $0^0$  walaupun terdapat pengurangan jumlah sudu dari kondisi sebelumnya.

Table 4.3 dibawah ini menjelaskan tentang perbandingan perolehan hasil terbaik yang didapatkan selama pengujian dilapangan. Pada kondisi ini nilai roll tertinggi  $7.97^0$  dan nilai pitch  $7.81^0$  yang mengakibatkan gerak ponton cenderung stabil.

**Tabel 4.3** Perbandingan Jarak cadik dengan 10 Jumlah Sudu

Tes Kondisi	Jumlah Sudu	Jarak Cadik ( cm )	Roll ( deg )	Pitch ( deg )	Yaw ( deg )
2	10	21.5	4.16	7.81	0
5		17.5	6.53	6.69	0
8		13.5	7.97	6.59	0

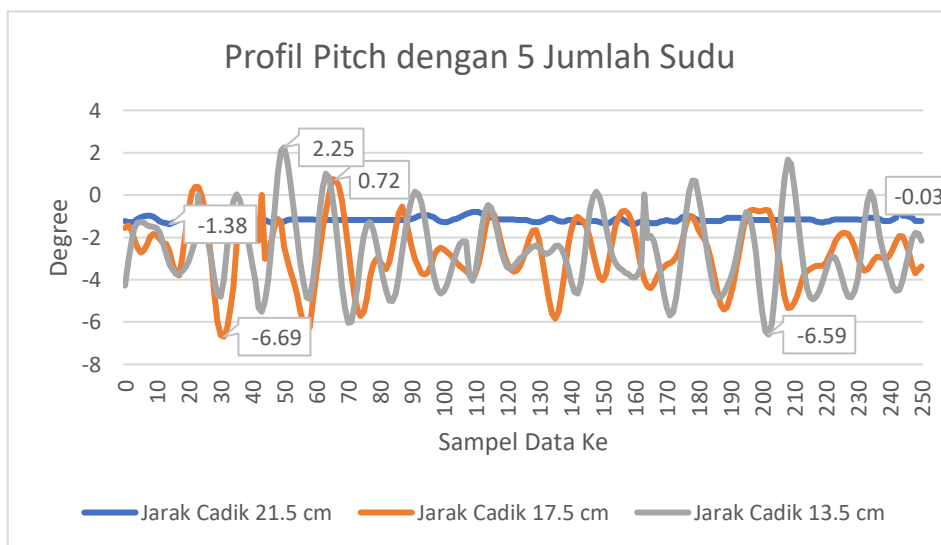
Kondisi pengujian dibawah ini, jumlah sudu sebanyak 5 dengan perbandingan jarak Cadik. Gambar 4.12 menunjukan nilai Roll yang didapat dari hasil pengujian.



**Gambar 4.12** Profil roll dengan 5 Jumlah sudu

Grafik 4.12 diatas menunjukkan bahwa pergerakan rotasional sumbu x ( Roll ) 5 dengan jumlah sudu pada semua kondisi jarak cadik, pada kondisi ini nilai roll terbesar adalah  $-9.31^{\circ}$ . sehingga mengalami kenaikan sudut dari kondisi roll dengan 10 sudu dikarenakan ada satu gelombang tinggi yang membuat pergerakan roll semakin besar pula.

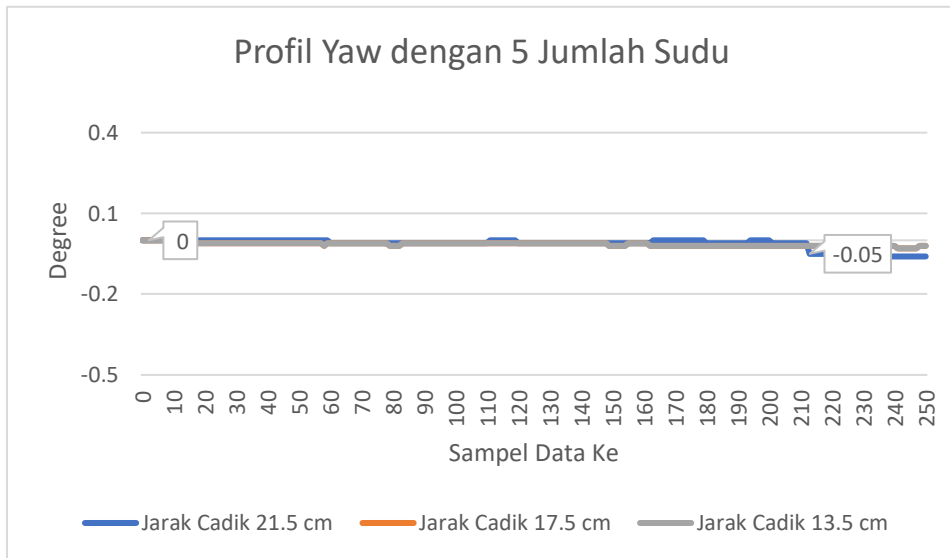
Kondisi pengujian dibawah ini, jumlah sudu sebanyak 5 dengan perbandingan jarak Cadik. Gambar 4.13 menunjukkan nilai pitch yang didapat dari hasil pengujian.



**Gambar 4.13** Profil pitch dengan 5 jumlah sudu

Grafik 4.13 diatas menunjukkan bahwa pergerakan rotasional sumbu y ( Pitch ) dengan 5 jumlah sudu pada semua kondisi jarak cadik, dengan Jumlah osilasi yang sama pada kondisi ini nilai pitch tersebsar  $-6.69^0$  terdapat pada variasi 2, nilai pitch pada kondisi ini mengalami penurunan dari kondisi sebelumnya yaitu  $-7.81^0$

Kondisi pengujian dibawah ini, jumlah sudu sebanyak 5 dengan perbandingan jarak Cadik. Gambar 4.14 menunjukan nilai pitch yang didapat dari hasil pengujian



**Gambar 4.14** Profil yaw dengan 5 jumlah sudu

Gambar 4.14 diatas Menunjukkan bahwa pergerakan rotasional sumbu Y ( Yaw ) dengan 5 jumlah sudu pada semua kondisi jarak cadik pada kondisi ini tidak mengalami perubahan sudut yang paling besar, hanya saja terdapat pergeseran  $-0.05^0$  pada variasi 3.

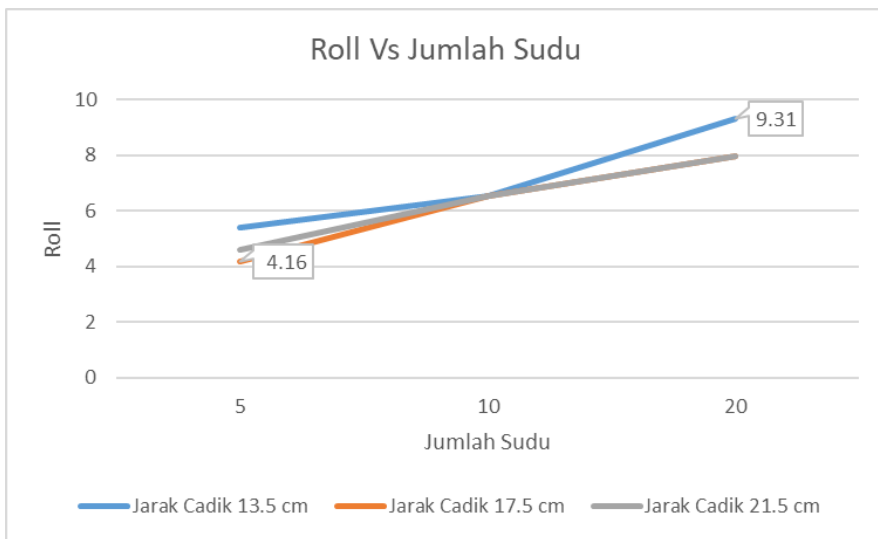
pada table 4.4 dibawah ini menjelaskan tentang perbandingan perolehan hasil terbaik yang didapatkan selama pengujian dilapangan. Pada kondisi 9 nilai roll berada pada kondisi tertinggi  $9.31^0$  hal ini berpengaruh terhadap besar sudut simpangan bada bandul.

**Tabel 4.4** Perbandingan Jarak cadik dengan 5 Jumlah Sudu

Tes Kondisi	Jumlah Sudu	Jarak Cadik ( cm )	Roll ( deg )	Pitch ( deg )	Yaw ( deg )
3	5	21.5	5.41	1.03	0.05
6		17.5	6.53	6.69	0.05
9		13.5	9.31	6.59	0

### 4.5 Pengaruh perubahan Jumlah Sudu terhadap nilai roll, pite dan yaw

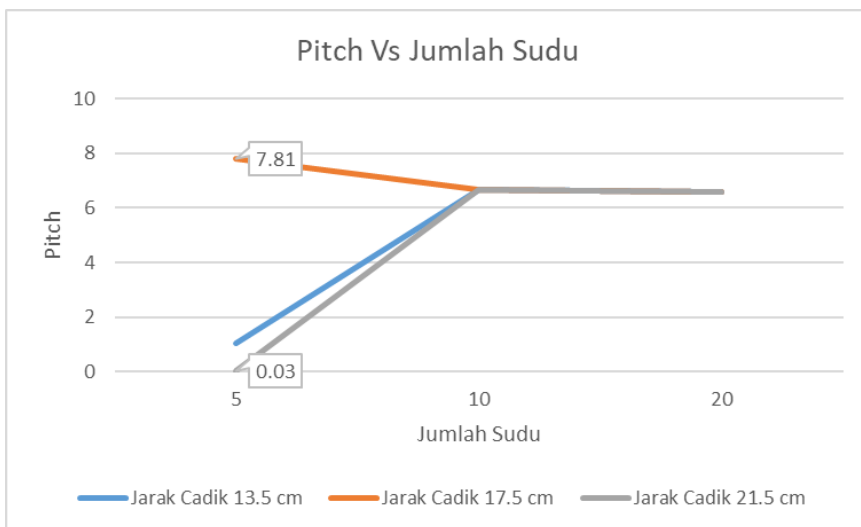
Grafik 4.15 menunjukkan pengaruh Jumlah sudu terhadap nilai roll.



**Gambar 4.15** Roll Vs Jumlah Sudu

Gambar 4.15 diatas Menunjukkan bahwa Jumlah sudu sangat berpengaruh terhadap gerakan roll. Sedangkan Jarak cadik juga mempengaruhi terhadap gerakan roll, semakin dekat jarak cadik dengan ponton besar makan gerakan roll semakin besar.

Grafik 4.16 menunjukkan pengaruh Jumlah sudu terhadap nilai pitch.

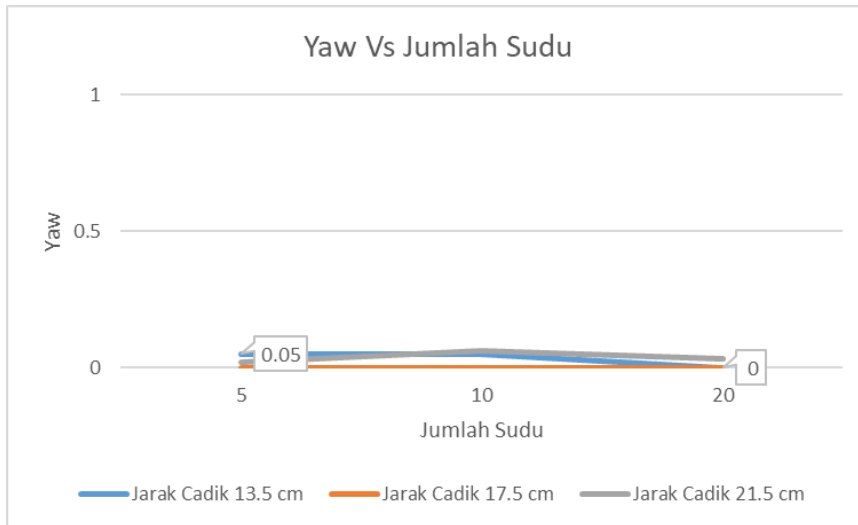


**Gambar 4.16** Pitch Vs Jumlah Sudu



Gambar 4.16 diatas Menunjukkan bahwa Jumlah sudu sangat berpengaruh terhadap gerakan pitch. Jumlah sudu semakin sedikit maka nilai pitch semakin besar hal ini disebabkan karena terjadinya pengurangan beban pada sudu.

Grafik 4.17 menunjukkan pengaruh Jumlah sudu terhadap nilai yaw.



**Gambar 4.17** Yaw Vs Jumlah Sudu

Gambar 4.17 diatas Menunjukkan bahwa Jumlah sudu tidak berpengaruh terhadap nilai yaw, karena tali mooring diikatkan pada kedua ujung ponton sehingga gerakan yawnya terbatas.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisa data yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan untuk tugas akhir ini.

1. Tinggi Gelombang sangat mempengaruhi nilai roll dan pitch, berdasarkan gambar 4.2 diatas tinggi gelombang sebesar 0.16 meter
2. Bentuk model ponton sangat mempengaruhi terhadap gerak *motion*. Hal ini dikarenakan semakin lebar bentuk ponton maka gerakan roll dan pitch yang didapat akan semakin kecil. disini peneliti membutuhkan nilai roll dan pitch yang besar sehingga menggunakan bentuk ponton *trimaran*.
3. Gambar 4.10 dan 4.11 diatas menunjukkan bahwa jarak cadik sangat berpengaruh terhadap gerakan roll dan pitch, semakin dekat jarak cadik dengan ponton utama maka semakin besar gerakan ponton tersebut, sehingga mengakibatkan nilai roll dan pitch yang besar.
4. Jumlah sudu sangat berpengaruh terhadap gerakan roll dan pitch hal ini diakibatkan adanya pengungan beban pada ponton *trimaran*.
5. Jarak cadik dan Jumlah sudu tidak mempengaruhi gerakan yaw, karena tali mooring diikat terhadap sumbu yaw ( $z$ ) sehingga gerakan yawnya terbatas.

#### **5.2 Saran**

Dari tugas akhir ini terdapat saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya.

1. Hendaknya juga dilakukan pengujian di Lab Hidrodinamika FTK ITS untuk mendapatkan hasil pengujian yang lebih akurat.
2. Diperlukan penyempurnaan alat ukur (IMU) agar hasil pengukuran lebih akurat dan tidak mudah putus koneksi atau *shifting*.
3. Mempertimbangkan pemilihan material berkenaan dengan massa jenis benda.
4. Pengukuran akan lebih lengkap jika:
  - Ada variasi untuk pengujian *tinggi gelombang*.
  - Variasi periode untuk mengetahui frekuensi gelombang

## DAFTAR PUSTAKA

- Fitriansyah Asep. (2017). Rancang bangun pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan menggunakan piston robot. Bogor: Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan IPB.
- Rifky H.( 2019). Studi eksperimen respon gerak hexagonal pontoon dengan floater leg terhadap gelombang untuk PLTGL-sistem bandul. Indonesia: *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Hendrowati W .( 2010 ) Gelombang Air (PLTG-AIR) Tipe Pelampung Silinder Dengan Cantilever Piezoelectric., Jepang: *International Journal of Solids and Structures*
- Kamizuru, Y., Lermann, M., & Murrenhoff, H. (2010). Simulation of an ocean wave energy converter using hydraulic transmission. Aachen: International Fluid Power Conference.
- Ilyas A, Kashif SAR, Saqib MA, Asad MM. Wave electrical energy systems: implementation, challenges and environmental issues. *Renew Sustain Energy Rev* 2014;40:260–8.
- Nafis Idrus M.,Arief, Syarif Irfan & Bambang T.( 2014). Analisa Perbandingan Gerakan Ponton Model Sama Kaki dengan Siku-Siku untuk Energi Gelombang Sistem Bandulan.. Surabaya: Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS.
- Wardhana M E.( 2014). Analisa tegangan dan penempatan mooring pada pontoon pembangkit listrik tenaga gelombang laut – sistem bandulan., Surabaya: Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS.
- Wardhana M E.( 2018). Development of Piezoelectric as One of the alternatives for Marine Wave Energy in Indonesia., Surabaya: Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS.
- Wayan Arta Wijaya I. (2018). Pembangkit listrik tenaga gelombang laut menggunakan teknologi oscillating water column di perairan bali., Bali: Ilmu Kelautan UDAYANA.
- Wayan Arta Wijaya I. ( 2018). Pemodelan dan Analisa Energi Listrik Yang Dihasilkan Mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga.,Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

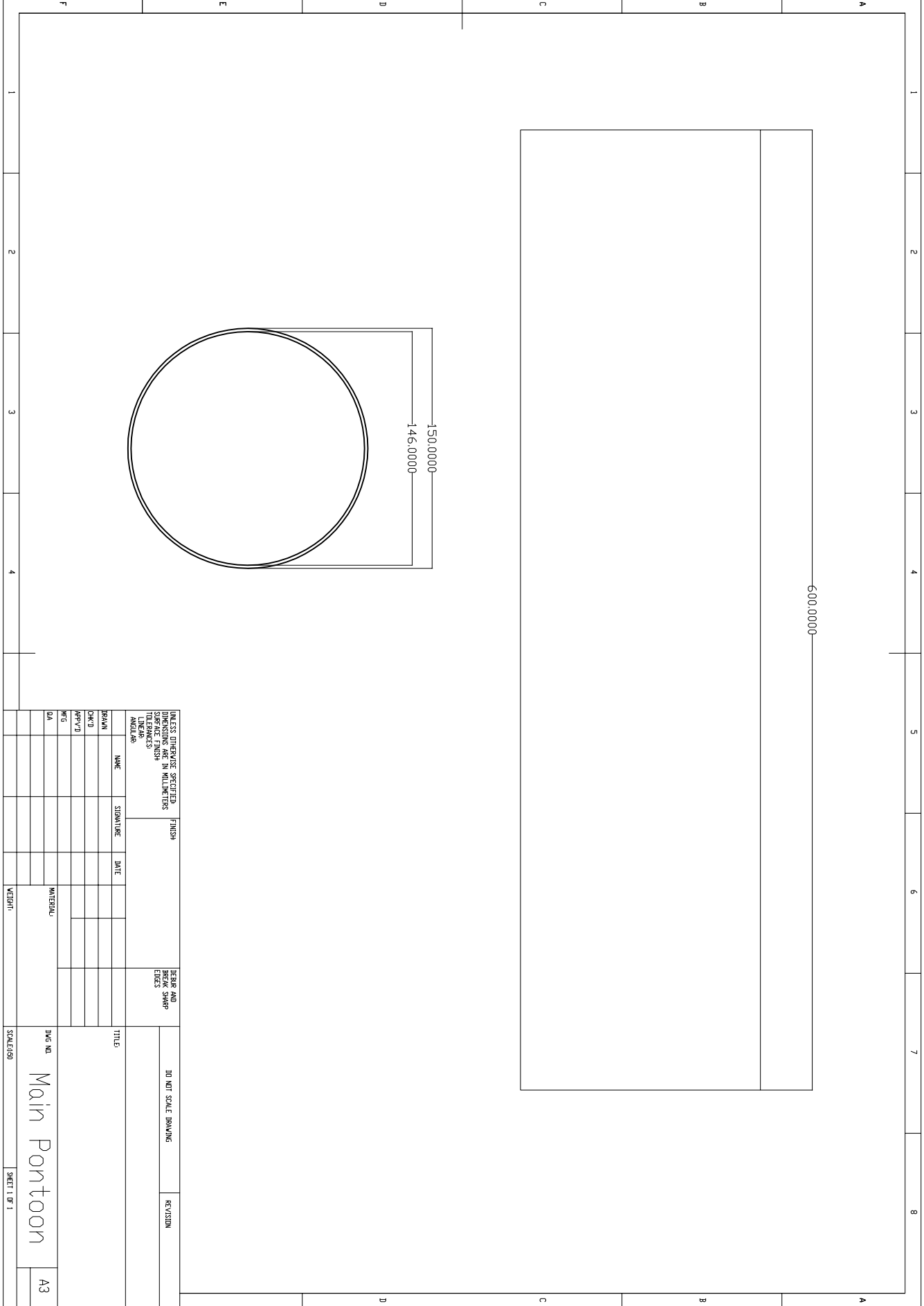
## BIODATA PENELITI



Peneliti mempunyai nama asli Alan Budi Pratama Putra. Lahir di Kota Sumenep, 05 Desember 1996. Anak Laki - Laki dari dua bersaudara. Putra dari bapak H. Budi Yanto dan Ibu Hj. Umyati. Peneliti menuntaskan pendidikan di SDN Gayam III Kota Sumenep Kec. Gayam (2002-2008), SMP N 1 Gayam Kac. Gayam kab. Sumenep (2008-2011), SMAN 1 Sumenep (2011-2014), Diploma III Teknik Mesin ITS ( 2014-2017) dan Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS. Peneliti Juga menjadi member Labolatorium Marine Manufacturing and Design (MMD).Selain beraktivitas di bidang akademik dan managerial, peneliti gemar mengikuti kegiatan volunteer di bidang kebencanaan dan peduli sekitar yang meliputi banyak kegiatan seperti Jum'at berbagi buka bersama anak yatim, makan bersama orang-orang yang kurang mampu dll.

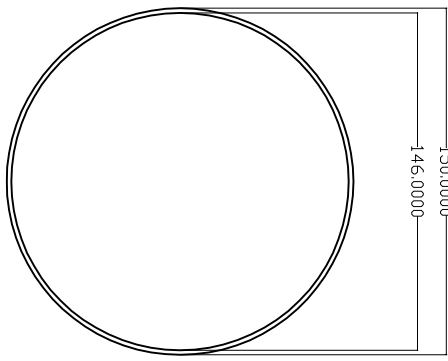
Motto: *Waktumu terbatas, jangan habiskan dengan mengurus orang lain.*

Email : alanputra714@gmail.com



600,000

150,000  
145,000



DESIGNER'S SIGNATURE, SPECIFIED DIMENSIONS, DIMENSIONS IN MILLIMETERS, TOLERANCES, TOLERANCES, FINISH, MATERIALS			FINISH	SCALE AND BREAK SYMBOLS	TITLE
DESIGNED	NAME	SIGNATURE	DATE		Dwg No: Main Pontoon A3
CHECK'D					
APPROV'D					
WKS					
QA					
				MATERIAL	
				WEIGHT	
				SCALE(S)	
				SHEET 1 OF 1	

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

1 2 3 4 5 6 7 8

600.0000

10.0625

95.0000

160.0000

10.0000

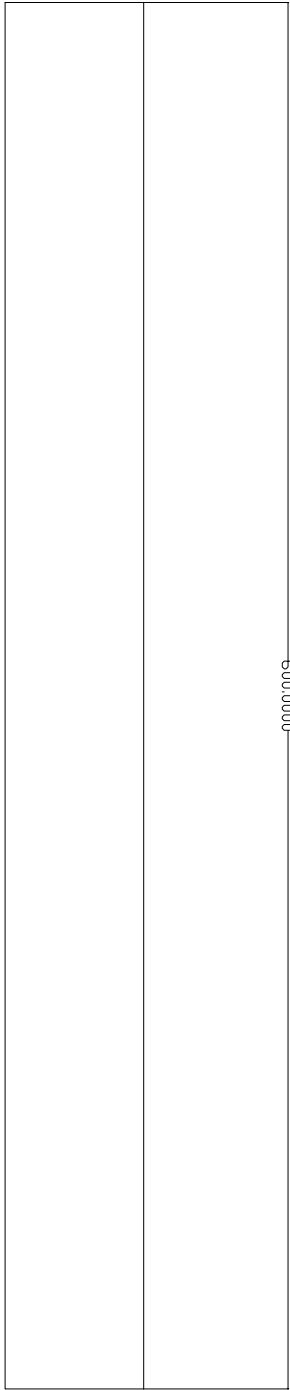
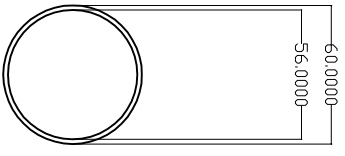
DESIGNER	CHECKED	DATE	TITLE

NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE

NO.	DESCRIPTION	DATE

Dwg No: **Body**  
 Scale: 1:1  
 Sheet: 1 of 1  
 Size: **A3**

1 2 3 4 5 6 7 8



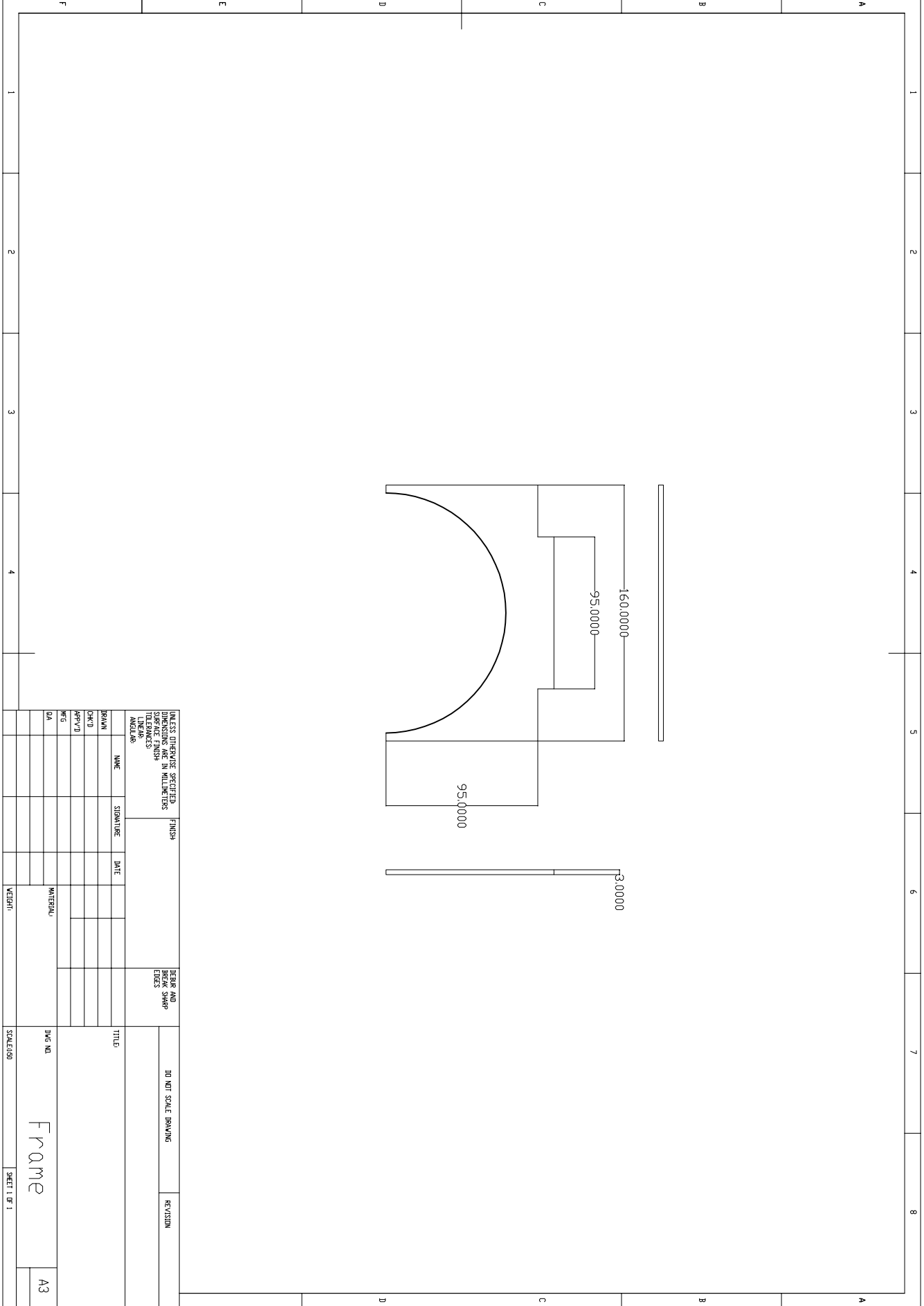
60.0000

56.0000

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED		FINISH		GRADE AND	
DIMENSIONS SHALL BE IN MILLIMETERS		SURFACE FINISH		ELECTRICAL	
TOLERANCES		FINISH		ELECTRICAL	
ANGLES		FINISH		ELECTRICAL	
NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
BRN/VI					
CHK'D					
APP'VD					
PK'G					
QA					
MATERIAL			DWG NO	A3	
WEIGHT			SCALE:50	SHEET 1 OF 1	

Coalik

A3



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH TOLERANCES ANGLES			FINISH	GROUP AND ITEMS SHIPP	DO NOT SCALE DRAWING		REVISION
DESIGNER	NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE	DWG NO	SHEET 1 OF 1	
BRN/VI					A3	Frame	
CHK'D							
APP'D							
WKS							
QA							
				MATERIAL			
				WEIGHT			
				SCALE: 1:1			



Sample Number	Roll $\Theta$ X (deg)	Pitch $\Theta$ Y (deg)	Yaw $\Theta$ Z (deg)	Pos X (m)	Pos Y (m)	Pos Z (m)
0	-1.84	-1.44	0	0	-0.02	0
1	-1.56	-1.97	0	0	-0.02	0
2	-1.75	-2.47	0	0	-0.02	0
3	-2.03	-2.5	0	0	-0.02	0
4	-2.06	-2.38	0	0	-0.02	0
5	-1.94	-2.19	0	0	-0.02	0
6	-1.34	-2.06	0	0	-0.02	0
7	-0.84	-2.16	0	0	-0.02	0
8	-0.44	-2.28	0	0	-0.02	0
9	-0.38	-2.41	0	0	-0.02	0
10	-1.03	-2.53	0	0	-0.02	0
11	-2	-2.44	-0.01	0	-0.02	-0.01
12	-2.91	-2.44	-0.01	0	-0.02	-0.01
13	-3.31	-2.5	-0.01	0	-0.02	-0.01
14	-3.47	-2.56	-0.01	0	-0.02	-0.01
15	-3.38	-2.62	-0.01	0	-0.02	-0.01
16	-3	-2.75	-0.01	0	-0.02	-0.01
17	-2.44	-2.91	-0.01	0	-0.02	-0.01
18	-1.72	-3.09	-0.01	0	-0.02	-0.01
19	-1.19	-3.34	-0.01	0	-0.02	-0.01
20	-0.97	-3.41	-0.01	0	-0.02	-0.01
21	-1.03	-3.34	-0.01	0	-0.02	-0.01
22	-1.19	-3.03	-0.01	0	-0.02	-0.01
23	-1.31	-2.56	-0.01	0	-0.02	-0.01
24	-1.16	-2.22	-0.01	0	-0.02	-0.01
25	-0.5	-1.97	-0.01	0	-0.02	-0.01
26	-0.03	-1.75	-0.01	0	-0.02	-0.01
27	0.38	-1.62	-0.01	0	-0.03	-0.01
28	0.69	-1.56	-0.01	0	-0.03	-0.01
29	0.88	-1.56	-0.01	0	-0.03	-0.01
30	0.72	-1.66	-0.01	0	-0.03	-0.01
31	0.28	-1.78	-0.01	0	-0.03	-0.01
32	-0.75	-1.91	-0.01	0	-0.03	-0.01
33	-1.97	-1.88	-0.01	0	-0.02	-0.01
34	-2.59	-1.75	-0.01	0	-0.02	-0.01

35	-1.44	-1.72	-0.01	0	-0.02	-0.01
36	-1.56	-1.81	-0.01	0	-0.02	-0.01
37	-2.19	-2.16	-0.01	0	-0.02	-0.01
38	-2.94	-2.66	-0.01	0	-0.02	-0.01
39	-3.38	-3.06	-0.01	0	-0.02	-0.01
40	-3.25	-3.47	-0.01	0	-0.02	-0.01
41	-2.25	-3.91	-0.01	0	-0.02	-0.01
42	-2.22	-3.88	-0.01	0	-0.02	-0.01
43	-2.12	-3.97	-0.01	0	-0.02	-0.01
44	-1.88	-4.12	-0.01	0	-0.02	-0.01
45	-1.47	-4.12	-0.01	0	-0.02	-0.01
46	-1.03	-3.84	-0.01	0	-0.02	-0.01
47	-0.69	-3.38	-0.01	0	-0.02	-0.01
48	-0.25	-2.84	-0.01	0	-0.02	-0.01
49	0.12	-2.59	-0.01	0	-0.02	-0.01
50	0.38	-2.44	-0.01	0	-0.02	-0.01
51	0.62	-2.34	-0.01	0	-0.02	-0.01
52	0.88	-2.28	-0.01	0	-0.02	-0.01
53	0.53	-2.19	-0.01	0	-0.02	-0.01
54	-0.72	-2.09	-0.01	0	-0.02	-0.01
55	-2.75	-2.28	-0.01	0	-0.02	-0.01
56	-3.88	-2.88	-0.01	0	-0.02	-0.01
57	-4.09	-3.5	-0.01	0	-0.01	-0.01
58	-3.91	-4.03	-0.02	0	0	-0.02
59	-3.44	-4.28	-0.01	0	0	-0.01
60	-2.94	-4.28	-0.01	0	0	-0.01
61	-2.44	-4.25	-0.01	0	0	-0.01
62	-2.38	-4.19	-0.01	0	0	-0.01
63	-2.62	-4	-0.01	0	0	-0.01
64	-2.56	-3.81	-0.01	0	0	-0.01
65	-1.84	-3.44	-0.01	0	-0.01	-0.01
66	-0.91	-2.84	-0.01	0	-0.01	-0.01
67	-0.19	-2.12	-0.01	0	-0.01	-0.01
68	0.19	-1.5	-0.01	0	-0.02	-0.01
69	0.12	-1.22	-0.01	0	-0.02	-0.01
70	-0.09	-1.25	-0.01	0	-0.02	-0.01
71	-0.22	-1.5	-0.01	0	-0.02	-0.01

72	-0.28	-1.81	-0.01	0	-0.02	-0.01
73	-0.44	-2.03	-0.01	0	-0.02	-0.01
74	-1	-2.12	-0.01	0	-0.02	-0.01
75	-1.97	-2.12	-0.01	0	-0.02	-0.01
76	-2.78	-2.25	-0.01	0	-0.02	-0.01
77	-3.38	-2.56	-0.01	0	-0.02	-0.01
78	-3.91	-2.91	-0.01	0	-0.02	-0.01
79	-4.31	-3.19	-0.02	0	-0.02	-0.02
80	-4.5	-3.31	-0.02	0	-0.02	-0.02
81	-4.53	-3.38	-0.02	0	-0.02	-0.02
82	-4.44	-3.44	-0.02	0	-0.02	-0.02
83	-4.03	-3.53	-0.01	0	-0.02	-0.01
84	-3.25	-3.53	-0.01	0	-0.02	-0.01
85	-2.81	-3.44	-0.01	0	-0.02	-0.01
86	-4.09	-4.06	-0.01	0.01	0	-0.01
87	-3.25	-4.53	-0.01	0.01	0	-0.01
88	-2.56	-4.53	-0.01	0.01	0	-0.01
89	-2	-4.5	-0.01	0.01	0	-0.01
90	-1.62	-4.62	-0.01	0.01	0	-0.01
91	-1.56	-4.81	-0.01	0.01	0	-0.01
92	-1.47	-4.91	-0.01	0.01	0	-0.01
93	-1.25	-4.81	-0.01	0.01	0	-0.01
94	-0.84	-4.59	-0.01	0.01	0	-0.01
95	-0.41	-4.19	-0.01	0.01	0	-0.01
96	-0.28	-3.88	-0.01	0.01	0	-0.01
97	-0.38	-3.5	-0.01	0.01	0	-0.01
98	-0.53	-3.25	-0.01	0.01	0	-0.01
99	-0.5	-3.06	-0.01	0.01	0	-0.01
100	-0.66	-2.94	-0.01	0.01	0	-0.01
101	-1.53	-2.81	-0.01	0.01	0	-0.01
102	-2.75	-2.66	-0.01	0.01	0	-0.01
103	-3.31	-2.72	-0.01	0.01	0	-0.01
104	-3.25	-3.03	-0.01	0.01	0	-0.01
105	-2.75	-3.28	-0.01	0.01	0	-0.01
106	-2.19	-3.47	-0.01	0.01	0	-0.01
107	-1.84	-3.56	-0.01	0.01	0	-0.01
108	-1.84	-3.56	-0.01	0.02	0	-0.01

109	-2	-3.44	-0.01	0.02	0	-0.01
110	-2.12	-3.25	-0.01	0.02	0	-0.01
111	-2.16	-2.97	-0.01	0.02	0	-0.01
112	-1.59	-2.47	-0.01	0.02	0	-0.01
113	-1.06	-2.41	-0.01	0.02	0	-0.01
114	-0.44	-2.5	-0.01	0.02	0	-0.01
115	0.28	-2.78	-0.01	0.02	0	-0.01
116	0.78	-3.16	-0.01	0.02	0	-0.01
117	0.91	-3.5	-0.01	0.01	0	-0.01
118	0.53	-3.78	-0.01	0.01	0	-0.01
119	-0.19	-4.09	-0.01	0.01	0	-0.01
120	-0.91	-4.28	-0.01	0.01	0	-0.01
121	-1.5	-4.31	-0.01	0.01	0	-0.01
122	-1.84	-4.38	-0.01	0.01	0	-0.01
123	-2	-4.41	-0.01	0.01	0	-0.01
124	-2.03	-4.25	-0.01	0.01	0	-0.01
125	-2.19	-3.66	-0.01	0.01	0	-0.01
126	-2.44	-33.69	-0.01	0.02	0	-0.01
127	-2.78	-2.62	-0.01	0.02	0	-0.01
128	-2.69	-2.84	-0.01	0.02	0	-0.01
129	-2.47	-3.09	-0.01	0.02	0	-0.01
130	-2.06	-3.31	-0.01	0.02	0	-0.01
131	-1.69	-3.47	-0.01	0.02	0	-0.01
132	-1.34	-3.59	-0.01	0.01	0	-0.01
133	-0.78	-3.69	-0.01	0.01	0	-0.01
134	-0.06	-3.81	-0.01	0.01	0	-0.01
135	0.91	-3.78	-0.01	0.01	0	-0.01
136	1.34	-3.5	-0.01	0.01	0	-0.01
137	1.25	-3.09	-0.01	0.01	0	-0.01
138	0.88	-2.56	-0.01	0.01	0	-0.01
139	0.5	-2.19	-0.01	0.01	0	-0.01
140	0.12	-1.88	-0.01	0.01	0	-0.01
141	-0.28	-1.84	-0.01	0.01	0	-0.01
142	-0.72	-2	-0.01	0.01	0	-0.01
143	-0.97	-2.31	-0.01	0.01	0	-0.01
144	-1.19	-2.75	-0.01	0.01	0	-0.01
145	-1.62	-3.16	-0.01	0.01	0	-0.01

146	-2.22	-3.41	-0.01	0.01	0	-0.01
147	-3.03	-3.56	-0.01	0.01	0	-0.01
148	-3.66	-3.62	-0.01	0.01	0	-0.01
149	-3.88	-3.66	-0.02	0.01	0	-0.02
150	-3.66	-3.72	-0.02	0.01	0	-0.02
151	-3.12	-3.69	-0.02	0.01	0	-0.02
152	-2.31	-3.53	-0.02	0.01	0	-0.02
153	-1.66	-3.25	-0.02	0.01	0	-0.02
154	-1	-2.88	-0.02	0.01	0	-0.02
155	-0.44	-2.62	-0.01	0.01	0	-0.01
156	0.38	-2.56	-0.01	0.01	0	-0.01
157	1	-2.62	-0.01	0.01	0	-0.01
158	1.19	-2.88	-0.01	0.01	0	-0.01
159	0.59	-3.31	-0.01	0.01	0	-0.01
160	-0.38	-3.81	-0.01	0.01	0	-0.01
161	-1.22	-4.28	-0.01	0.01	0	-0.01
162	-1.62	-4.59	-0.02	0.01	0	-0.02
163	-1.56	-4.59	-0.02	0.01	0	-0.02
164	-1	-4.22	-0.02	0.01	0	-0.02
165	-0.5	-3.62	-0.02	0.01	0	-0.02
166	-0.19	-3.03	-0.02	0.01	0	-0.02
167	-0.16	-2.78	-0.02	0.01	0	-0.02
168	-0.16	-2.91	-0.02	0.01	0	-0.02
169	-0.03	-2.88	-0.02	0.01	0	-0.02
170	-0.03	-2.75	-0.02	0.01	0	-0.02
171	-0.16	-2.69	-0.02	0.01	0	-0.02
172	-0.34	-2.69	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
173	-0.44	-2.81	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
174	-0.62	-3	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
175	-0.78	-2.97	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
176	-1.06	-2.78	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
177	-1.28	-2.66	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
178	-1.31	-2.66	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
179	-1.12	-2.78	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
180	-0.88	-3.03	-0.02	0.01	0	-0.02
181	-0.81	-3.34	-0.02	0.01	0	-0.02
182	-0.94	-3.56	-0.02	0.01	0	-0.02

183	-0.02	-7.81	-0.02	0.01	0	-0.02
184	-2.09	-3.22	-0.02	0.01	0	-0.02
185	-2.47	-3.16	-0.02	0.01	0	-0.02
186	-2.69	-3.19	-0.02	0.01	0	-0.02
187	-2.72	-3.31	-0.02	0.01	0	-0.02
188	-2.5	-3.47	-0.02	0.01	0	-0.02
189	-1.97	-3.59	-0.02	0.01	0	-0.02
190	-1.34	-3.66	-0.02	0.01	0	-0.02
191	-0.62	-3.62	-0.02	0.01	0	-0.02
192	-0.25	-3.59	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
193	-0.09	-3.59	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
194	-0.16	-3.66	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
195	-0.28	-3.72	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
196	-0.31	-3.78	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
197	-0.31	-3.75	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
198	-0.22	-3.66	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
199	-0.12	-3.47	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
200	0.06	-3.34	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
201	0.28	-3.28	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
202	0.25	-3.34	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
203	-0.16	-3.25	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
204	-0.59	-3.03	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
205	-0.97	-2.72	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
206	-1.22	-2.34	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
207	-1.41	-1.97	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
208	-1.47	-1.69	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
209	-1.47	-1.62	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
210	-1.38	-1.69	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
211	-1.16	-1.88	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
212	-1.03	-2.06	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
213	-1.03	-2.28	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
214	-1.44	-2.53	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
215	-2.22	-3.03	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
216	-2.84	-3.72	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
217	-3.09	-4.41	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
218	-2.94	-4.91	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
219	-2.66	-5.03	-0.02	0.01	-0.01	-0.02

220	-2.44	-4.91	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
221	-2.47	-4.56	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
222	-2.5	-4.22	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
223	-2.44	-3.91	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
224	-2.28	-3.78	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
225	-2.09	-3.69	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
226	-1.91	-3.41	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
227	-1.72	-2.97	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
228	-1.53	-2.47	-0.02	0.01	-0.01	-0.02
229	-1.28	-2.12	-0.02	0.01	-0.02	-0.02
230	-0.75	-2.03	-0.02	0.01	-0.02	-0.02
231	-0.16	-2.31	-0.02	0.01	-0.02	-0.02
232	0.38	-2.78	-0.02	0.01	-0.02	-0.02
233	0.38	-2.97	-0.02	0.01	-0.02	-0.02
234	0.03	-3.09	-0.02	0.01	-0.02	-0.02
235	-0.31	-3.25	-0.02	0.01	-0.02	-0.02
236	-0.22	-3.38	-0.02	0.01	-0.02	-0.02
237	-0.16	-3.16	-0.02	0.01	-0.02	-0.02
238	-0.66	-2.5	-0.02	0.01	-0.02	-0.02
239	-1.38	-2.28	-0.02	0.01	-0.02	-0.02
240	-2.88	-1.62	-0.02	0.01	-0.02	-0.02
241	-4.09	-1.56	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
242	-3.41	-2.12	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
243	-2.88	-2.75	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
244	-2.38	-3.41	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
245	-2.53	-3.75	-0.03	0.02	0	-0.03
246	-2.94	-3.88	-0.03	0.02	0	-0.03
247	-3.38	-3.97	-0.03	0.02	0	-0.03
248	-3.25	-4.19	-0.02	0.02	0	-0.02
249	-2.53	-4.41	-0.02	0.02	0	-0.02
250	-1.5	-4.38	-0.02	0.02	0	-0.02
251	-0.75	-4	-0.02	0.02	0	-0.02
252	-0.34	-3.38	-0.02	0.02	0	-0.02
253	-0.06	-2.75	-0.02	0.02	0	-0.02
254	0.25	-2.28	-0.02	0.02	0	-0.02
255	0.69	-2.09	-0.02	0.02	0	-0.02
256	1.12	-1.97	-0.02	0.02	0	-0.02

257	1.34	-1.91	-0.02	0.02	0	-0.02
258	1.28	-1.88	-0.02	0.02	0	-0.02
259	1.03	-1.91	-0.02	0.02	0	-0.02
260	0.31	-1.97	-0.02	0.02	0	-0.02
261	-0.91	-2.09	-0.02	0.02	0	-0.02
262	-2.38	-2.19	-0.02	0.02	0	-0.02
263	-3.31	-2.34	-0.02	0.02	0	-0.02
264	-3.81	-2.62	-0.02	0.02	0	-0.02
265	-3.97	-2.91	-0.02	0.02	0	-0.02
266	-3.84	-3.09	-0.02	0.02	0	-0.02
267	-3.56	-3.12	-0.02	0.02	0	-0.02
268	-3.38	-3.03	-0.02	0.02	0	-0.02
269	-3.31	-2.78	-0.02	0.02	0	-0.02
270	-3.09	-2.47	-0.02	0.02	0	-0.02
271	-2.53	-2.38	-0.02	0.02	0	-0.02
272	-1.88	-2.5	-0.02	0.02	0	-0.02
273	-1.22	-2.69	-0.02	0.02	0	-0.02
274	-0.84	-2.91	-0.02	0.02	0	-0.02
275	-0.84	-3.06	-0.02	0.02	0	-0.02
276	-1.19	-3.34	-0.02	0.02	0	-0.02
277	-1.53	-3.59	-0.02	0.02	0	-0.02
278	-1.66	-3.78	-0.02	0.02	0	-0.02
279	-1.53	-3.62	-0.02	0.02	0	-0.02
280	-1.41	-3.16	-0.02	0.02	0	-0.02
281	-1.34	-2.25	-0.02	0.02	0	-0.02
282	-1.38	-1.41	-0.02	0.02	0	-0.02
283	-1.22	-0.69	-0.02	0.02	0	-0.02
284	-0.84	-0.5	-0.02	0.02	0	-0.02
285	-0.41	-0.69	-0.02	0.02	0	-0.02
286	-0.31	-1.03	-0.02	0.02	0	-0.02
287	-0.69	-1.28	-0.02	0.02	0	-0.02
288	-1.44	-1.34	-0.02	0.02	0	-0.02
289	-1.97	-1.38	-0.02	0.02	0	-0.02
290	-2.47	-1.44	-0.02	0.02	0	-0.02
291	-2.78	-1.5	-0.02	0.02	0	-0.02
292	-3.12	-1.59	-0.02	0.02	0	-0.02
293	-3.44	-1.78	-0.03	0.02	0	-0.03



294	-3.84	-2	-0.03	0.02	0	-0.03
295	-4.25	-2.22	-0.03	0.02	0	-0.03
296	-4.53	-2.38	-0.03	0.02	0	-0.03
297	-4.62	-2.44	-0.03	0.02	0	-0.03
298	-4.62	-2.41	-0.03	0.02	0	-0.03
299	-4.56	-2.34	-0.03	0.02	0	-0.03
300	-4.38	-2.28	-0.03	0.02	0	-0.03
301	-4.03	-2.19	-0.03	0.02	0	-0.03
302	-3.81	-1.97	-0.03	0.02	0	-0.03
303	-3.66	-1.78	-0.03	0.02	0	-0.03
304	-3.53	-1.69	-0.03	0.02	0	-0.03
305	-3.41	-1.72	-0.03	0.02	0	-0.03
306	-3.31	-1.91	-0.03	0.02	0	-0.03
307	-3.22	-2.19	-0.03	0.02	0	-0.03
308	-3.09	-2.44	-0.03	0.02	0	-0.03
309	-2.81	-2.72	-0.03	0.02	0	-0.03
310	-2.41	-2.94	-0.03	0.02	0	-0.03
311	-1.84	-3.03	-0.03	0.02	0	-0.03
312	-1.34	-2.97	-0.03	0.02	0	-0.03
313	-0.97	-2.81	-0.03	0.02	0	-0.03
314	-0.66	-2.59	-0.03	0.02	0	-0.03
315	-0.28	-2.38	-0.03	0.02	0	-0.03
316	0.09	-2.19	-0.03	0.02	0	-0.03
317	0.16	-1.88	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
318	0.56	-1.59	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
319	0.34	-1.19	-0.03	0.02	0	-0.03
320	-0.41	-0.94	-0.03	0.02	0	-0.03
321	-0.72	-1.19	-0.03	0.02	0	-0.03
322	-0.91	-1.84	-0.03	0.02	0	-0.03
323	-1.09	-2.53	-0.03	0.02	0	-0.03
324	-1.5	-3.09	-0.03	0.02	0	-0.03
325	-2.16	-3.38	-0.03	0.02	0	-0.03
326	-2.84	-3.38	-0.03	0.02	0	-0.03
327	-3.41	-3.38	-0.03	0.02	0	-0.03
328	-3.69	-3.41	-0.03	0.02	0	-0.03
329	-3.84	-3.47	-0.03	0.02	0	-0.03
330	-3.84	-3.47	-0.03	0.02	0	-0.03

331	-3.69	-3.47	-0.03	0.02	0	-0.03
332	-3.41	-3.38	-0.03	0.02	0	-0.03
333	-3.06	-3.12	-0.03	0.02	0	-0.03
334	-2.56	-2.69	-0.03	0.02	0	-0.03
335	-2.12	-2.38	-0.03	0.02	0	-0.03
336	-1.62	-2.25	-0.03	0.02	0	-0.03
337	-1.31	-2.31	-0.03	0.02	0	-0.03
338	-1.28	-2.38	-0.03	0.02	0	-0.03
339	-1.53	-2.34	-0.03	0.02	0	-0.03
340	-2.06	-2.22	-0.03	0.02	0	-0.03
341	-2.53	-2.19	-0.03	0.02	0	-0.03
342	-2.91	-2.44	-0.03	0.02	0	-0.03
343	-3.28	-3.31	-0.03	0.02	0	-0.03
344	-3.34	-4.5	-0.03	0.02	0	-0.03
345	-3.38	-4.84	-0.03	0.02	0	-0.03
346	-3.44	-4.75	-0.03	0.02	0	-0.03
347	-3.25	-4.09	-0.03	0.02	0	-0.03
348	-3	-3.44	-0.03	0.02	0	-0.03
349	-2.78	-3	-0.03	0.02	0	-0.03
350	-2.5	-2.91	-0.03	0.02	0	-0.03
351	-2.09	-3	-0.03	0.02	0	-0.03
352	-1.78	-3.12	-0.03	0.02	0	-0.03
353	-1.44	-3.03	-0.03	0.02	0	-0.03
354	-0.88	-2.81	-0.03	0.02	0	-0.03
355	-0.19	-2.56	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
356	0.31	-2.31	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
357	0.75	-2.19	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
358	0.94	-2.22	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
359	0.28	-2.38	-0.03	0.02	0	-0.03
360	-0.66	-2.66	-0.03	0.02	0	-0.03
361	-1.44	-2.94	-0.03	0.02	0	-0.03
362	-2	-3.03	-0.03	0.02	0	-0.03
363	-2.62	-3	-0.03	0.02	0	-0.03
364	-3.06	-3	-0.03	0.02	0	-0.03
365	-3.41	-3.06	-0.03	0.02	0	-0.03
366	-3.62	-3.19	-0.03	0.02	0	-0.03
367	-3.66	-3.38	-0.03	0.02	0	-0.03

368	-3.44	-3.53	-0.03	0.02	0	-0.03
369	-3.06	-3.44	-0.03	0.02	0	-0.03
370	-2.59	-3.06	-0.03	0.02	0	-0.03
371	-2.16	-2.41	-0.03	0.02	0	-0.03
372	-1.88	-1.44	-0.03	0.02	0	-0.03
373	-1.69	-0.69	-0.03	0.02	0	-0.03
374	-1.34	-0.25	-0.03	0.02	0	-0.03
375	-0.81	-0.19	-0.03	0.02	0	-0.03
376	-0.34	-0.53	-0.03	0.02	0	-0.03
377	-0.31	-1.09	-0.03	0.02	0	-0.03
378	-0.88	-1.72	-0.03	0.02	0	-0.03
379	-2.06	-2.41	-0.03	0.02	0	-0.03
380	-2.78	-3.06	-0.03	0.02	0	-0.03
381	-3.06	-3.81	-0.03	0.02	0	-0.03
382	-2.94	-4.25	-0.03	0.02	0	-0.03
383	-2.81	-4.31	-0.03	0.02	0	-0.03
384	-2.94	-4.12	-0.03	0.02	0	-0.03
385	-3.16	-3.75	-0.03	0.02	0	-0.03
386	-3.25	-3.22	-0.03	0.02	0	-0.03
387	-3.16	-2.72	-0.03	0.02	0	-0.03
388	-2.62	-2.22	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
389	-1.88	-1.78	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
390	-1.12	-1.38	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
391	-0.81	-1.22	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
392	-1.28	-1.41	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
393	-2.22	-2.06	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
394	-2.97	-2.91	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
395	-3.28	-3.44	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
396	-3.31	-3.66	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
397	-3.25	-3.25	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
398	-3.12	-2.53	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
399	-2.94	-1.78	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
400	-2.72	-1.25	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
401	-2.31	-0.88	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
402	-2.41	-0.59	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
403	-3.19	-0.59	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
404	-4.91	-1.03	-0.03	0.02	-0.01	-0.03

405	-6.19	-1.88	-0.03	0.02	0	-0.03
406	-6.62	-2.84	-0.03	0.02	0	-0.03
407	-6.53	-3.59	-0.03	0.02	0	-0.03
408	-5.94	-3.91	-0.03	0.02	0	-0.03
409	-5.06	-3.91	-0.03	0.02	0	-0.03
410	-4.22	-3.84	-0.03	0.02	0	-0.03
411	-3.56	-3.72	-0.03	0.02	0	-0.03
412	-2.94	-3.59	-0.03	0.02	0	-0.03
413	-2	-3.34	-0.03	0.02	0	-0.03
414	-0.84	-2.88	-0.03	0.02	0	-0.03
415	-0.06	-2.44	-0.03	0.02	0	-0.03
416	0.19	-2.06	-0.03	0.02	0	-0.03
417	-0.41	-2	-0.03	0.02	0	-0.03
418	-1.72	-2.19	-0.03	0.02	0	-0.03
419	-2.69	-2.41	-0.03	0.02	0	-0.03
420	-3.12	-2.62	-0.03	0.02	0	-0.03
421	-3.25	-2.75	-0.03	0.02	0	-0.03
422	-3.38	-2.81	-0.03	0.02	0	-0.03
423	-3.56	-2.88	-0.03	0.02	0	-0.03
424	-3.56	-3.03	-0.03	0.02	0	-0.03
425	-3	-3.44	-0.03	0.02	0	-0.03
426	-2.22	-3.88	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
427	-1.19	-4.38	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
428	-0.34	-4.59	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
429	0.22	-4.5	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
430	0.44	-4.12	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
431	0.34	-3.78	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
432	0.16	-3.47	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
433	0.09	-3.34	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
434	0.19	-3.12	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
435	0.28	-2.84	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
436	0.28	-2.44	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
437	0.25	-2.03	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
438	0.16	-1.78	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
439	0.09	-1.69	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
440	-0.31	-1.81	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
441	-1	-2	-0.03	0.02	-0.01	-0.03

442	-1.62	-2.19	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
443	-2.22	-2.38	-0.03	0.02	0	-0.03
444	-2.62	-2.59	-0.03	0.02	0	-0.03
445	-2.97	-2.97	-0.03	0.02	0	-0.03
446	-3.22	-3.38	-0.03	0.02	0	-0.03
447	-3.44	-3.78	-0.03	0.02	0	-0.03
448	-3.44	-4.09	-0.03	0.02	0	-0.03
449	-3.22	-4.25	-0.03	0.02	0	-0.03
450	-3.09	-4.31	-0.03	0.02	0	-0.03
451	-3.06	-4.31	-0.03	0.02	0	-0.03
452	-2.97	-4.31	-0.03	0.02	0	-0.03
453	-2.62	-4.25	-0.03	0.02	0	-0.03
454	-2	-3.97	-0.03	0.02	0	-0.03
455	-1.44	-3.56	-0.03	0.02	0	-0.03
456	-1.31	-3.28	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
457	-1.62	-3.09	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
458	-2.28	-3.03	-0.03	0.02	-0.02	-0.03
459	-3.28	-2.97	-0.03	0.02	-0.02	-0.03
460	-4.06	-2.97	-0.03	0.02	-0.02	-0.03
461	-4.44	-2.97	-0.03	0.02	-0.02	-0.03
462	-4.47	-3	-0.03	0.02	-0.02	-0.03
463	-4.06	-3	-0.03	0.02	-0.02	-0.03
464	-3.19	-3.03	-0.03	0.02	-0.02	-0.03
465	-2.38	-2.94	-0.03	0.02	-0.02	-0.03
466	-1.59	-2.56	-0.03	0.02	-0.02	-0.03
467	-0.91	-2.09	-0.03	0.02	-0.02	-0.03
468	-0.16	-1.53	-0.03	0.02	-0.02	-0.03
469	0.53	-1.22	-0.03	0.02	-0.02	-0.03
470	0.84	-0.84	-0.03	0.02	-0.02	-0.03
471	-0.19	-0.59	-0.03	0.02	-0.02	-0.03
472	-2.66	-0.75	-0.03	0.02	-0.02	-0.03
473	-4.72	-1.41	-0.03	0.02	-0.01	-0.03
474	-6.12	-2.38	-0.03	0.02	0	-0.03
475	-6.53	-3.06	-0.03	0.02	0	-0.03
476	-6.44	-3.38	-0.03	0.02	0.02	-0.03
477	-5.94	-3.16	-0.03	0.02	0.03	-0.03
478	-5.22	-2.75	-0.03	0.02	0.03	-0.03

479	-4.38	-2.53	-0.03	0.02	0.03	-0.03
480	-4.25	-2.72	-0.03	0.02	0.03	-0.03
481	-4.53	-3.31	-0.03	0.02	0.03	-0.03
482	-4.78	-4.06	-0.03	0.02	0.03	-0.03
483	-4.47	-4.75	-0.03	0.02	0.03	-0.03
484	-3.88	-4.97	-0.03	0.02	0.04	-0.03
485	-3.19	-4.81	-0.03	0.02	0.04	-0.03
486	-2.88	-4.53	-0.03	0.03	0.04	-0.03
487	-2.88	-4.41	-0.03	0.03	0.04	-0.03
488	-2.84	-4.53	-0.03	0.03	0.04	-0.03
489	-2.5	-4.91	-0.03	0.03	0.04	-0.03
490	-1.78	-5.34	-0.03	0.03	0.04	-0.03
491	-0.84	-5.59	-0.03	0.03	0.04	-0.03
492	0.03	-5.47	-0.03	0.03	0.04	-0.03
493	0.62	-5.12	-0.03	0.03	0.04	-0.03
494	1.12	-4.81	-0.03	0.03	0.04	-0.03
495	1.62	-4.53	-0.03	0.03	0.04	-0.03
496	2.28	-4.25	-0.03	0.03	0.04	-0.03
497	3.16	-4.03	-0.03	0.03	0.04	-0.03
498	3.47	-3.56	-0.03	0.03	0.04	-0.03
499	3.34	-3.12	-0.03	0.03	0.04	-0.03
500	2.41	-2.88	-0.03	0.03	0.04	-0.03
501	0.41	-2.88	-0.03	0.03	0.04	-0.03
502	-1.03	-3.5	-0.03	0.03	0.04	-0.03
503	-1.94	-4.38	-0.03	0.03	0.04	-0.03
504	-2.34	-4.81	-0.03	0.03	0.04	-0.03
505	-2.56	-5.16	-0.03	0.03	0.04	-0.03
506	-2.59	-5.5	-0.03	0.03	0.04	-0.03
507	-2.53	-5.78	-0.03	0.03	0.04	-0.03
508	-2.44	-5.94	-0.03	0.03	0.04	-0.03
509	-2.44	-6.03	-0.03	0.03	0.04	-0.03
510	-2.44	-6	-0.03	0.03	0.04	-0.03
511	-2.38	-6.06	-0.03	0.03	0.04	-0.03
512	-2.22	-6.03	-0.03	0.03	0.04	-0.03
513	-2.25	-5.72	-0.03	0.03	0.04	-0.03
514	-2.44	-5.28	-0.03	0.03	0.04	-0.03
515	-2.78	-4.97	-0.03	0.03	0.04	-0.03

516	-3	-4.97	-0.03	0.03	0.04	-0.03
517	-2.91	-5.16	-0.03	0.03	0.04	-0.03
518	-2.66	-5.41	-0.03	0.03	0.04	-0.03
519	-2.44	-5.5	-0.03	0.03	0.04	-0.03
520	-2.25	-5.41	-0.03	0.03	0.04	-0.03
521	-1.88	-5.22	-0.03	0.03	0.04	-0.03
522	-1.44	-5.06	-0.03	0.03	0.04	-0.03
523	-0.56	-4.91	-0.03	0.03	0.04	-0.03
524	0.5	-4.75	-0.03	0.03	0.04	-0.03
525	1.56	-4.75	-0.03	0.02	0.04	-0.03
526	2.59	-4.97	-0.03	0.02	0.04	-0.03
527	3.03	-5.16	-0.03	0.02	0.04	-0.03
528	3.03	-5.22	-0.03	0.02	0.04	-0.03
529	2.16	-5.22	-0.03	0.02	0.04	-0.03
530	-0.06	-5.28	-0.03	0.02	0.04	-0.03
531	-0.5	-5.5	-0.03	0.02	0.04	-0.03
532	-0.53	-5.66	-0.03	0.02	0.04	-0.03
533	-0.44	-5.62	-0.03	0.02	0.04	-0.03
534	-0.44	-5.56	-0.03	0.02	0.04	-0.03
535	-0.38	-5.41	-0.03	0.02	0.04	-0.03
536	0	-5.19	-0.03	0.02	0.04	-0.03
537	0.44	-4.78	-0.03	0.02	0.04	-0.03
538	0.66	-4.34	-0.03	0.02	0.04	-0.03
539	0.62	-4.09	-0.03	0.02	0.04	-0.03
540	0.47	-4.12	-0.03	0.02	0.04	-0.03
541	0.22	-4.44	-0.03	0.02	0.04	-0.03
542	-0.22	-4.91	-0.03	0.02	0.04	-0.03
543	-0.56	-5.25	-0.03	0.02	0.04	-0.03
544	-0.81	-5.38	-0.03	0.02	0.04	-0.03
545	-0.97	-5.47	-0.03	0.02	0.04	-0.03
546	-1.22	-5.66	-0.03	0.02	0.04	-0.03
547	-1.72	-5.84	-0.03	0.02	0.04	-0.03
548	-2.41	-5.97	-0.03	0.02	0.04	-0.03
549	-2.88	-5.91	-0.03	0.02	0.04	-0.03
550	-3	-5.78	-0.03	0.02	0.04	-0.03
551	-2.81	-5.53	-0.03	0.02	0.04	-0.03
552	-2.25	-5.25	-0.03	0.02	0.04	-0.03

553	-1.53	-5	-0.03	0.02	0.04	-0.03
554	-0.41	-4.88	-0.03	0.02	0.04	-0.03
555	0.81	-4.97	-0.03	0.02	0.04	-0.03
556	1.03	-4.34	-0.03	0.02	0.04	-0.03
557	0.88	-3.84	-0.03	0.02	0.04	-0.03
558	0.47	-3.38	-0.03	0.02	0.03	-0.03
559	0.16	-3.19	-0.03	0.02	0.03	-0.03
560	-0.66	-3	-0.03	0.02	0.04	-0.03
561	-1.38	-3.12	-0.03	0.02	0.04	-0.03
562	-2.19	-3.34	-0.03	0.02	0.04	-0.03
563	-3.5	-3.44	-0.03	0.02	0.04	-0.03
564	-4.53	-3.59	-0.03	0.02	0.04	-0.03
565	-4.88	-3.91	-0.03	0.02	0.04	-0.03
566	-4.22	-4.28	-0.03	0.02	0.04	-0.03
567	-2.97	-4.72	-0.03	0.02	0.05	-0.03
568	-1.34	-5.19	-0.03	0.02	0.05	-0.03
569	-0.47	-5.44	-0.03	0.03	0.05	-0.03
570	-0.28	-5.53	-0.03	0.03	0.05	-0.03
571	-0.62	-5.47	-0.03	0.03	0.05	-0.03
572	-1.03	-5.34	-0.03	0.03	0.05	-0.03
573	-1.06	-5.34	-0.03	0.03	0.05	-0.03
574	-0.34	-5.53	-0.03	0.03	0.04	-0.03
575	0.72	-5.84	-0.03	0.03	0.04	-0.03
576	1.94	-6.38	-0.03	0.02	0.04	-0.03
577	2.03	-6.47	-0.03	0.02	0.04	-0.03
578	1.91	-6.41	-0.03	0.02	0.04	-0.03
579	1.53	-6.28	-0.03	0.02	0.04	-0.03
580	1.03	-6.06	-0.03	0.02	0.04	-0.03
581	0.72	-5.81	-0.03	0.02	0.04	-0.03
582	0.5	-5.53	-0.03	0.02	0.04	-0.03
583	0.22	-5.38	-0.03	0.02	0.04	-0.03
584	-0.28	-5.19	-0.03	0.02	0.04	-0.03
585	-0.75	-5	-0.03	0.02	0.04	-0.03
586	-1.16	-4.69	-0.03	0.02	0.04	-0.03
587	-1.38	-4.25	-0.03	0.02	0.04	-0.03
588	-1.38	-3.94	-0.03	0.02	0.04	-0.03
589	-1.34	-3.88	-0.03	0.02	0.04	-0.03



590	-1.56	-4.19	-0.03	0.02	0.04	-0.03
591	-4.5	0.62	0.04	0	0.02	0.04
592	-1.44	-5.53	-0.03	0.02	0.04	-0.03
593	-0.25	-5.53	-0.03	0.02	0.04	-0.03
594	2.22	-5.56	-0.03	0.02	0.04	-0.03
595	2.59	-5.56	-0.03	0.02	0.04	-0.03
596	2.31	-5.5	-0.03	0.02	0.04	-0.03
597	1.22	-5.47	-0.03	0.02	0.04	-0.03
598	0.03	-5.38	-0.03	0.02	0.04	-0.03
599	-1.16	-5.22	-0.03	0.02	0.04	-0.03
600	-1.94	-5.09	-0.03	0.02	0.04	-0.03
601	-2.22	-5.16	-0.03	0.02	0.04	-0.03
602	-2.22	-5.41	-0.03	0.02	0.04	-0.03
603	-2.03	-5.75	-0.03	0.02	0.04	-0.03
604	-1.75	-5.84	-0.03	0.02	0.04	-0.03
605	-1.28	-5.72	-0.03	0.02	0.04	-0.03
606	-0.84	-5.41	-0.03	0.02	0.04	-0.03
607	-0.47	-5.03	-0.03	0.02	0.04	-0.03
608	-0.5	-4.94	-0.03	0.02	0.04	-0.03
609	-0.75	-5.06	-0.03	0.02	0.04	-0.03
610	-1.41	-5.25	-0.03	0.02	0.04	-0.03
611	-2.03	-5.34	-0.03	0.02	0.04	-0.03
612	-2.59	-5.41	-0.03	0.02	0.05	-0.03
613	-2.72	-5.34	-0.03	0.02	0.05	-0.03
614	-1.16	-4.75	-0.03	0.02	0.04	-0.03
615	-0.5	-4.62	-0.03	0.02	0.04	-0.03
616	-0.16	-4.44	-0.03	0.02	0.04	-0.03
617	0.09	-4.44	-0.03	0.02	0.04	-0.03
618	-0.56	-5.88	-0.03	0.02	0.04	-0.03
619	-0.53	-6.12	-0.03	0.02	0.04	-0.03
620	0.88	-4.81	-0.03	0.02	0.04	-0.03
621	0.31	-4.12	-0.03	0.02	0.04	-0.03
622	-0.16	-4.12	-0.03	0.02	0.04	-0.03
623	-0.22	-4.12	-0.03	0.02	0.04	-0.03
624	-0.19	-4.28	-0.03	0.02	0.04	-0.03
625	-0.25	-4.5	-0.03	0.02	0.04	-0.03
626	-0.69	-4.59	-0.03	0.02	0.04	-0.03

627	-1.38	-4.81	-0.03	0.02	0.04	-0.03
628	-1.97	-5	-0.03	0.02	0.04	-0.03
629	-2.44	-5.06	-0.03	0.02	0.04	-0.03
630	-2.53	-4.84	-0.03	0.02	0.04	-0.03
631	-2.44	-4.44	-0.03	0.02	0.04	-0.03
632	-2.31	-3.94	-0.03	0.02	0.04	-0.03
633	-2	-3.69	-0.03	0.02	0.04	-0.03
634	-1.44	-3.75	-0.03	0.02	0.04	-0.03
635	-0.88	-4.12	-0.03	0.02	0.04	-0.03
636	-0.47	-5.28	-0.03	0.02	0.04	-0.03
637	-0.47	-6.5	-0.03	0.02	0.04	-0.03
638	-0.94	-7.84	-0.03	0.02	0.04	-0.03
639	-1.22	-8.47	-0.03	0.02	0.04	-0.03
640	-1.19	-8.38	-0.03	0.02	0.04	-0.03
641	-1.31	-8	-0.03	0.02	0.04	-0.03
642	-1.66	-7.5	-0.03	0.02	0.04	-0.03
643	-1.94	-7.03	-0.03	0.02	0.04	-0.03
644	-2.06	-6.53	-0.03	0.02	0.04	-0.03
645	-1.78	-6.03	-0.03	0.02	0.04	-0.03
646	-1.19	-5.59	-0.03	0.02	0.04	-0.03
647	-0.41	-4.81	-0.03	0.02	0.04	-0.03
648	-0.06	-4.16	-0.03	0.02	0.04	-0.03
649	0.16	-3.72	-0.03	0.02	0.04	-0.03
650	-0.03	-3.84	-0.03	0.02	0.04	-0.03
651	-0.28	-4.28	-0.03	0.02	0.04	-0.03
652	-0.59	-4.72	-0.03	0.02	0.04	-0.03
653	-0.84	-4.91	-0.03	0.02	0.05	-0.03
654	-0.84	-4.81	-0.03	0.02	0.05	-0.03
655	-0.72	-4.53	-0.03	0.02	0.05	-0.03
656	-0.88	-4.22	-0.03	0.02	0.05	-0.03
657	-19.12	-21.38	-0.03	0.02	0.05	-0.03
658	-5.53	-5.56	-0.03	0.03	0.05	-0.03
659	-1.88	-5.38	-0.03	0.03	0.05	-0.03
660	-0.62	-5.38	-0.03	0.03	0.05	-0.03
661	-0.56	-5.34	-0.03	0.03	0.05	-0.03
662	-0.47	-5.19	-0.03	0.03	0.05	-0.03
663	-0.47	-4.69	-0.03	0.03	0.05	-0.03

664	-2	-5.34	-0.03	0.03	0.04	-0.03
665	-1.97	-5.22	-0.03	0.03	0.04	-0.03
666	-3.16	-6.88	0	0	0	0
667	0.88	-1.56	0	0	0	0
668	-2.38	-3.56	0	0	0	0
669	-2.31	-31	0	0	0	0
670	-0.84	-2.28	0	0	0	0
671	3.28	-1.25	0	0	0	0
672	5.25	-3.06	0	0	0	0
673	4.75	-3.78	0	0	0	0
674	3.53	-4.25	0	0	0	0
675	2.03	-4.34	0	0	0	0
676	0.12	-4	0	0	0	0
677	-1.88	-2.66	0	0	0	0
678	-1.62	-2.53	0	0	0	0
679	-1.5	-2.38	0	0	0	0
680	-1.62	-2.16	0	0	0	0
681	-1.84	-2.16	0	0	0	0
682	-2.03	-2.38	0	0	0	0
683	-1.91	-2.78	0	0	0	0
684	-1.25	-3.47	0	0	0	0
685	-0.28	0.1	0	0	0.01	0
686	-4.75	-2.16	0	0	0.01	0
687	-1.78	-3.38	0	0	0.01	0
688	0.09	-3.94	0	0	0.01	0
689	1.62	-4.28	0	0	0.01	0
690	3.12	-4.62	0	0	0.01	0
691	4.19	-4.62	0	0	0.01	0
692	4.59	-4.38	0	0	0.01	0
693	2.94	-4.91	0	0	0.01	0
694	1.94	-5.59	0	0	0.01	0
695	1.06	-5.97	0	0	0.01	0
696	0.56	-5.97	0	0	0	0
697	0.84	-5.62	0	0	0	0
698	1.25	-4.91	0	0	0	0
699	1.56	-3.91	0	0	0	0
700	1.56	-2.62	0	0	0	0

701	0.91	-1.34	0	0	0	0
702	0.03	-0.09	0	0	0	0
703	-0.5	0.84	0	0	0	0
704	-0.81	1	0	0	0	0
705	-0.75	0.91	0	0	0	0
706	-0.06	-0.16	0	0	0	0
707	0.44	-1.19	0	0	0	0
708	0.56	-2.22	0	0	0	0
709	-0.34	-3.09	0	0	0	0
710	-2	-3.66	0	0	0	0
711	-3.16	-3.88	0	0	0	0
712	-3.38	-3.94	0	0	0	0
713	-3.12	-3.69	0	0	0	0
714	-1.91	-3.69	0	0	0	0
715	0.19	-3.97	0	0	0	0
716	2.44	-4.44	0	0	0	0
717	4.44	-4.88	0	0	0	0
718	5.75	-5.12	0	0	0	0
719	4.88	-4.72	0	0	0	0
720	3.81	-4.56	0	0	0	0
721	2.12	-4.41	0	0	0	0
722	0.94	-4.16	0	0	0	0
723	-0.06	-3.678	0	0	0	0
724	-1.38	-2.12	0	0	-0.01	0
725	-1.91	-1.38	0	0	-0.01	0
726	-2.16	-1.06	0	0	-0.01	0
727	-2.09	-1.28	0	0	-0.01	0
728	-1.78	-1.84	0	0	-0.01	0
729	-1.44	-2.75	0	0	-0.01	0
730	-1.25	-3.56	0	0	0	0
731	-1.03	-4.22	0	0	0	0
732	-0.59	-4.75	0	0	0	0
733	0.06	-4.94	0	0	0	0
734	1.38	-3.78	0	0	0	0
735	1.06	-3.12	0	0	0	0
736	0.62	-2.41	0	0	0	0
737	0.19	-1.88	0	0	0	0

738	0.03	-1.59	0	0	0	0
739	0.22	-1.59	0	0	0	0
740	0.72	-1.88	0	0	0	0
741	1.44	-2.28	0	0	0	0
742	2.16	-2.84	0	0	0	0
743	2.59	-3.25	0	0	0	0
744	2.84	-3.5	0	0	0	0
745	2.91	-3.56	0	0	0	0
746	2.88	-3.38	0	0	0	0
747	2.84	-3.09	0	0	0	0
748	2.88	-2.81	0	0	0	0
749	3	-2.84	0	0	-0.01	0
750	3	-3.22	0	0	-0.01	0
751	2.72	-3.84	0	0	-0.01	0
752	2.09	-4.59	0	0	-0.01	0
753	0.69	-5.19	0	0	-0.01	0
754	-1.34	-5.12	0	0	-0.01	0
755	-3.56	-4.41	0	0	-0.01	0
756	-5.69	-2.97	0	0	-0.01	0
757	-6.56	-1.47	0	0	-0.01	0
758	-6.12	-0.38	0	0	-0.01	0
759	-4.78	0.19	0	0	-0.01	0
760	-3.28	0.12	0	0	0	0
761	-1.69	-0.44	0	0	0	0
762	-0.28	-1.34	0	0	0	0
763	0.78	-2.19	0	0	0	0
764	1.66	-2.84	0	0	0	0
765	2.41	-3.09	0	0	0	0
766	3.44	-3.0069	0	0	0	0
767	4.59	-2.41	0	0	0	0
768	4.16	-2.38	0	0	0	0
769	3.12	-2.62	0	0	0	0
770	2	-2.97	0	0	0	0
771	0.84	-3.28	0	0	0	0
772	0.06	-3.34	0	0	0	0
773	-0.56	-3.16	0	0	0	0
774	-1.03	-2.91	0	0	0	0

775	-1.25	-2.78	0	0	0	0
776	-1.19	-2.72	0	0	0	0
777	-1	-2.69	0	0	0	0
778	-0.66	-2.69	0	0	0	0
779	-0.25	-2.66	0	0	0	0
780	0.47	-2.66	0	0	0	0
781	1.06	-2.62	0	0	0	0
782	1.34	-2.62	0	0	0	0
783	0.72	-2.62	0	0	0	0
784	-0.62	-2.66	0	0	0	0
785	-2.06	-2.78	0	0	0	0
786	-21.88	15.62	0	0	0	0
787	-2.56	-3.53	0	0	0	0
788	-1.12	-3.91	0	0	0	0
789	0.72	-4.47	0	0	0	0
790	2.69	-4.97	0	0	0	0
791	4.19	-5.31	0	0	0	0
792	5.28	-5.19	0	0	0	0
793	5.56	-4.47	0	0	0	0
794	4.81	-3.28	0	0	0	0
795	3.12	-1.88	0	0	0	0
796	0.91	-0.62	0	0	0	0
797	-1.59	0.31	0	0	0	0
798	-3.75	0.78	0	0	0	0
799	-4.69	0.44	0	0	0	0
800	-4.62	-0.19	0	0	0	0
801	-3.59	-1.03	0	0	0	0
802	-2.34	-1.72	0	0	0	0
803	-0.72	-2.34	0	0	0	0
804	0.5	-2.81	0	0	0	0
805	1.75	-3.31	0	0	0	0
806	2.59	-3.75	0	0	0	0
807	3.22	-4.34	0	0	0	0
808	3.44	-5	0	0	0	0
809	3.16	-5.56	0	0	0	0
810	2.03	-5.97	0	0	0	0
811	0.41	-6	0	0	0	0

812	-1.81	-5.62	0	0	0	0
813	-3.62	-5	0	0	0	0
814	-4.84	-4.09	0	0	0	0
815	-4.84	-3.28	0	0	0	0
816	-3.81	-2.59	0	0	0	0
817	-2.25	-2.22	0	0	0	0
818	5.31	2.19	0	0	0	0
819	5.69	-1.62	0	0	0	0
820	6.66	-2.28	0	0	0	0
821	6.44	-2.84	0	0	0	0
822	4.69	-3.25	0	0	0	0
823	1.94	-3.22	0	0	0	0
824	-1.5	-2.72	0	0	0	0
825	-4.84	-2.12	0	0	0	0
826	-6.97	-1.66	0	0	0	0
827	-7.41	-1.41	0	0	0	0
828	-6.34	-1.28	0	0	0	0
829	-4.56	-1.25	0	0	0	0
830	-2.5	-1.44	0	0	0	0
831	-1	-1.78	0	0	0	0
832	0.06	-2.31	0	0	0	0
833	0.94	-2.84	0	0	0	0
834	2.03	-3.38	0	0	0	0
835	3.5	-3.81	0	0	0	0
836	4.81	-4.09	0	0	0	0
837	5.25	-4.03	0	0	0	0
838	4.69	-3.75	0	0	0	0
839	3.41	-3.41	0	0	0	0
840	1.78	-3.09	0	0	0	0
841	0.12	-2.78	0	0	0	0
842	-1.16	-2.5	0	0	0	0
843	-1.47	-2.25	0	0	0	0
844	-1.31	-1.94	0	0	0	0
845	-0.81	-1.88	0	0	0	0
846	-1	-1.75	0	0	0	0
847	-1.97	-1.59	0	0	0	0
848	-2.75	-1.47	0	0	0	0

849	-2.75	-1.5	0	0	0	0
850	-2.03	-1.62	0	0	0	0
851	-0.56	-1.94	0	0	0	0
852	0.88	-2.34	0	0	0	0
853	2.34	-2.94	0	0	0	0
854	3.16	-3.34	0	0	0	0
855	3.59	-3.81	0	0	0	0
856	3.69	-4.34	0	0	0	0
857	4.34	-5.12	0	0	0	0
858	4.16	-4.12	0	0	0	0
859	3.78	-2.88	0	0	0	0
860	3.19	-1.88	0	0	0	0
861	2.34	-1.06	0	0	0	0
862	1.53	-0.62	0	0	0	0
863	-0.22	-0.38	0	0	0	0
864	-1.94	-0.62	0	0	0	0
865	-4.62	-1.03	0	0	0	0
866	-6.28	-1.53	0	0	0	0
867	-6.59	-2.09	0	0	0	0
868	-5.88	-2.38	0	0	0	0
869	-4.59	-2.25	0	0	0.01	0
870	-3.12	-2	0	0	0.01	0
871	-0.28	-2.19	0	0	0.01	0
872	1.59	-3.25	0	0	0.01	0
873	2.38	-3.47	0	0	0.02	0
874	2.59	-3.31	0	0	0.02	0
875	1.69	-2.84	0	0	0.02	0
876	0.09	-2.31	0	0	0.02	0
877	-1.31	-2.03	0	0	0.02	0
878	-2.16	-2	0	0	0.02	0
879	-1.41	-2.16	0	0	0.02	0
880	0.31	-2.53	0	0	0.02	0
881	1.91	-2.94	0	0	0.02	0
882	3.19	-3.38	0	0	0.02	0
883	3.88	-3.78	0	0	0.02	0
884	4.06	-4.16	0	0	0.02	0
885	3.91	-4.59	0	0	0.02	0



886	3.78	-4.94	0	0	0.02	0
887	3.81	-4.84	0	0	0.01	0
888	3.12	-4.09	0	0	0.01	0
889	1.97	-3.09	0	0	0.01	0
890	0.19	-1.84	0	0	0.01	0
891	-1.44	-1.09	0	0	0.01	0
892	-3.16	-0.88	0	0	0.01	0
893	-4.09	-1.28	0	0	0.01	0
894	-4.47	-2.03	0	0	0.01	0
895	-4.25	-2.69	0	0	0.01	0
896	-3.59	-3	0	0	0.01	0
897	-2.84	-2.88	0	0	0.01	0
898	-1.81	-2.5	0	0	0.02	0
899	-0.53	-2.09	0	0	0.02	0
900	0.84	-1.78	0	0	0.02	0
901	2.16	-1.62	0	0	0.02	0
902	3.41	-1.69	0	0	0.02	0
903	-5.03	4.25	0.02	0	0	0.02
904	3.84	-3.09	0	0	0.02	0
905	2.88	-3.69	0	0	0.02	0
906	1.78	-4.06	0	0	0.02	0
907	-0.12	-3.97	0	0	0.02	0
908	0.19	-3	0	0	0.02	0
909	-0.97	-2.88	0	0	0.02	0
910	-0.28	-2.66	0	0	0.02	0
911	0.06	-2.84	0	0	0.02	0
912	0.56	-3.03	0	0	0.02	0
913	1.31	-3.12	0	0	0.02	0
914	2.19	-3.19	0	0	0.02	0
915	2.88	-3.28	0	0	0.02	0
916	3.12	-3.41	0	0	0.02	0
917	2.78	-3.53	0	0	0.02	0
918	1.94	-3.59	0	0	0.02	0
919	0.84	-3.56	0	0	0.02	0