



TUGAS AKHIR - ME184834

**STUDI EKSPERIMEN RESPON GERAK *HEXAGONAL PONTOON*
DENGAN *FLOATER LEG* TERHADAP GELOMBANG UNTUK PLTGL-
SISTEM BANDUL**

Haniefudddin Rifky
NRP. 04211540000007

Dosen Pembimbing:
Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.
Achmad Baidowi, S.T., M.T.

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



TUGAS AKHIR - ME184834

**EXPERIMENTAL STUDY OF MOTION RESPONSE ON HEXAGONAL
PONTON WITH FLOATER LEG FOR PENDULUM SYSTEM WAVE
ENERGY CONVERTER**

Haniefudddin Rifky
NRP. 04211540000007

Supervisors:
Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.
Achmad Baidowi, S.T., M.T.

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI EKSPERIMEN RESPON GERAK *HEXAGONAL PONTOON* DENGAN *FLOATER LEG* TERHADAP GELOMBANG UNTUK PLTGL-SISTEM BANDUL

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi *Marine Manufacture and Design* (MMD)
Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

HANIEFUDDIN RIFKY

NRP. 0421154000007

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.
NIP. 19691225 199702 1 001
2. Achmad Baidowi, S.T., M.T.
NIP. -



LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI EKSPERIMEN RESPON GERAK *HEXAGONAL PONTOON*
DENGAN *FLOATER LEG* TERHADAP GELOMBANG UNTUK
PLTGL-SISTEM BANDUL**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi *Marine Manufacture and Design* (MMD)
Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
HANIEFUDDIN RIFKY
NRP. 04211540000007

Disetujui Oleh:
Disetujui oleh Kepala Departemen
Teknik Sistem Perkapalan

Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.
NIP. 197708022008011007



**STUDI EKSPERIMEN RESPON GERAK *HEXAGONAL*
PONTOON DENGAN *FLOATER LEG* TERHADAP GELOMBANG
UNTUK PLTGL-SISTEM BANDUL**

Nama : Haniefuddin Rifky
NRP : 0421154000007
Dosen Pembimbing 1 : Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing 2 : Achmad Baidowi, S.T., M.T.

ABSTRAK

Temuan Zamrisyaf, seorang peneliti dari Perusahaan Listrik Negara (PLN), berupa *prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandulan (PLTGL-SISTEM BANDUL) yang telah berhasil menghasilkan listrik perlu untuk terus disempurnakan. Bersama Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, telah menyempurnakan ukuran *pontoon*, berat bandul, dan panjang lengan bandul serta daya dan putaran yang dihasilkan. Selain pada ukurannya, model *pontoon* pun harus disempurnakan. Sebagai penopang struktur dan penerus energi gelombang ke energi putaran bandul, responnya terhadap gelombang menjadi sangat penting. Demi mendapatkan *motion* yang lebih responsif terhadap gelombang yang datang dari berbagai arah, model *pontoon* berbentuk *hexagonal* dengan tambahan *floaters leg* dirancang. Variasi yang dibuat pada penelitian ini adalah variasi jarak *floaters* terhadap titik pusat *pontoon* yaitu 389 mm (variasi A), 464 mm (variasi B), 539 mm (variasi C). Penelitian dilakukan secara eksperimen bertempat di Laboratorium Hidrodinamika Indonesia (LHI). Hasil yang didapat adalah respon *pitch* terbesar terjadi pada variasi B dengan nilai $6,12^\circ$. Sedangkan *roll* terbesar terjadi pada variasi C dengan nilai $3,12^\circ$.

Kata kunci: *PLTGL-SISTEM BANDUL*, *pontoon*, *floaters leg*, *pitch*, *roll*

Halaman ini sengaja dikosongkan

EXPERIMENTAL STUDY OF MOTION RESPONSE ON HEXAGONAL PONTOON WITH FLOATER LEG FOR PENDULUM SYSTEM WAVE ENERGY CONVERTER

Name : Haniefuddin Rifky
NRP : 0421154000007
Supervisor 1 : Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.
Supervisor 2 : Achmad Baidowi, S.T., M.T.

ABSTRACT

An invention by Zamrisyaf, the staff of Perusahaan Listrik Negara (PLN), a prototype of wave energy converter (WEC) with pendulum system need to be increased. With Nopember Institut of Technology (ITS) Surabaya has increased the size of pontoon, weight of pendulum, length of pendulum leg, rotation and power produced. Not only for the size, the shape of pontoon also need to be perfected. As a support of the structure and continuer of energy converted from wave to rotation of pendulum, its respon by wave become important. For the sake of getting responsive motion from any direction of incoming wave, the hexagonal pontoon with floater leg is designed. Variations made in this experiment is by changing the distance of floater from center point. The distance are 389 mm (Variation A), 464 mm (Variation B), 539 mm (Variation C). This experiment be held in the Indonesia Hydrodynamics Laboratory. The results are, the biggest value of pitch motion is on Variation B with value $6,12^{\circ}$ and the biggest roll motion is on Variation C with value $3,12^{\circ}$.

Kata kunci: *WEC, pontoon, floater leg, pitch, roll*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah Azza wa Jalla yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad ‘Alaihi Shalatu wa Salam, sehingga dapat terselesaikannya tugas akhir beserta laporan tugas akhir ini yang berjudul **“STUDI EKSPERIMEN RESPON GERAK HEXAGONAL PONTOON DENGAN FLOATER LEG TERHADAP GELOMBANG UNTUK PLTGL-SISTEM BANDUL”**.

Penulis telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan tugas akhir dan laporan tugas akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dua manusia yang telah kepayahan merawat, membesarkan, dan mendidik penulis, Ibu Nandani Prasetyo Rini dan Bapak Mohammad Sehafudin atas dukungan moril dan materiil yang diberikan.
2. Adik Panji Abdillah atas dukungan semangat yang diberikan.
3. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS.
4. Bapak Irfan Syarif Arief, S.T., M.T. dan Achmad Baidowi, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan arahan, bimbingan, saran, dan motivasi.
5. Bapak Dr. Eng Dhimas Widhi Handani, S.T., M.Sc. selaku dosen wali yang telah membimbing dan mengarahkan penulis sejak mahasiswa baru.
6. Mas Syafi’ atas dukungan fisik dan moral yang sangat membantu dalam penyusunan laporan.
7. Seluruh staff dan member Lab Marine Manufacturing and Design (MMD) khususnya teman-teman yang telah membantu pengujian model.
8. Mas Krisna, Mas Wanda, dan Mas Arfaq, serta seluruh civitas Lab Manufaktur PENS yang telah membantu membuat *pontoon* beserta *sensornya*.
9. Seluruh staff Laboratorium Hidrodinamika Indonesia atas izin yang telah diberikan serta bimbingannya saat mengujian *pontoon*.
10. Teman-teman UKM TDC ITS angkatan 2014 hingga 2018, khususnya angkatan 2015 yang telah membantu penulis menemukan “hal lain” di kampus ITS.
11. Seluruh staff gedung PK2M/SAC ITS yang telah memberikan tempat untuk bernaung.
12. Dua sahabat perjuangan Richardo Petricius Utoyo dan Biondhi Ubaidillah, jazakumallahu khairan, serta seorang junior, Ahmad Syauqi, zawajakallah.

13. Mikail Zakaria yang sangat membantu akomodasi serta dokumentasi saat pengujian model.
14. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih atas bantuannya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Namun, semoga dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Sistem Perkapalan khususnya, dan civitas akademis ITS pada umumnya, serta dapat menjadi referensi untuk pengerjaan tugas akhir bagi mahasiswa lainnya.

Surabaya, 08 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Skripsi	2
1.5 Manfaat.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Energi Gelombang	5
2.2 Klasifikasi dan Karakteristik Wave Energy Converter (WEC)	5
2.3 Jenis Gelombang.....	8
2.4 Bangunan Apung	10
2.5 Response Amplitude Operator (RAO).....	11
2.6 Rancangan Model <i>Pontoon</i>	11
2.7 Skala Model dan Skala Gelombang.....	12
2.8 Mengukur Nilai Koefisien Elastisitas (k) <i>Mooring</i>	13
2.9 <i>Natural Damping</i>	13
2.10 <i>Frequency Domain Converting</i>	14
III METODOLOGI.....	15
3.1 Metodologi Penelitian.....	15
3.2 Identifikasi Masalah.....	16
3.3 Study Literatur	16
3.4 Percobaan dan Pengambilan Data.....	16
3.5 Analisa	22

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Pembuatan Model.....	23
4.2 Pengujian.....	29
4.2.1 Variasi A.....	34
4.2.2 Variasi B	37
4.2.3 Variasi C	40
4.2.4 Perbandingan kondisi terbaik	43
4.2.5 <i>Free-Floating Condition</i>	43
4.2.6 <i>Nilai Koefisien Elastisitas</i>	45
BAB V PENUTUP	47
DAFTAR PUSTAKA	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Perkiraan sebaran daya gelombang dalam kW/m	5
Gambar 2. Diagram kerja oscillating water column (OWC)	6
Gambar 3. Diagram kerja buoy-type float - type WEC	7
Gambar 4. Kerja turbine-type WEC – overtopping WEC	7
Gambar 5. Pembentukan gelombang acak dari superposisi gelombang-gelombang reguler	8
Gambar 6. Perbandingan spektrum gelombang dari sejumlah formulasi	9
Gambar 7 Enam derajat kebebasan yang terjadi pada kapal.....	10
Gambar 8. Tiga kondisi stabilitas	11
Gambar 9. Rencana model pontoon	12
Gambar 10. Jenis-jenis damping	14
Gambar 11. Wave Generator pada MOB.....	17
Gambar 12. Referensi rotasi sumbu z	18
Gambar 13. Tambat yang terpasang di eye bolt pontoon	18
Gambar 14. IMU. (a) casing, (b) isi rangkaian, (c) telemetry	19
Gambar 25. GUI IMU	20
Gambar 16. Variasi A.....	21
Gambar 17. Variasi B.....	21
Gambar 18. Variasi C.....	22
Gambar 19. 3D model pontoon	23
Gambar 20. Anotasi bagian slider.....	24
Gambar 21. Anotasi bagian assembly	24
Gambar 22. Pemotongan akrilik (a) dan hasilnya (b)	25
Gambar 23. Rangkaian per potongan dengan perekat kertas.....	25
Gambar 24. Sisa lem saat perekatan	26
Gambar 25. Perbandingan sebelum (a) dan sesudah dicat (b).....	26
Gambar 26. Hasil Rangkaian Tali Tambat	27
Gambar 27. Validasi pontoon.....	28
Gambar 28. Pontoon Siap Uji	29
Gambar 29. Definisi pitch, roll, dan arah datang gelombang	30
Gambar 30. Ilustrasi konfigurasi rangkaian tali tambat.....	31
Gambar 31. Posisi pontoon di kolam MOB.....	31
Gambar 32. Pemasangan single mooring	32
Gambar 33. Pengaturan tinggi floater	32
Gambar 34. Frequency domain gelombang yang digunakan.....	33
Gambar 35. Variasi A.....	34
Gambar 36. Letak floater dan kondisi pontoon saat pengujian variasi A ...	34
Gambar 37. Grafik tinggi gelombang	35
Gambar 38. Grafik pitch dan roll variasi A	35
Gambar 39. Pergerakan pontoon terhadap sumbu z pada variasi A. (a) menit 0.00, (b) menit 2.43, (c) menit 6.00.....	36

Gambar 40. Variasi B.....	37
Gambar 41. Letak floater dan kondisi pontoon saat pengujian variasi B ...	37
Gambar 42. Grafik tinggi gelombang	38
Gambar 43. Grafik pitch dan roll variasi B	38
Gambar 44. Pergerakan pontoon terhadap sumbu z pada variasi B. (a) menit 0.00, (b) menit 6.00.	39
Gambar 45. Kondisi pontoon saat pengujian variasi C	40
Gambar 46. Kondisi pontoon saat pengujian variasi C	40
Gambar 47. Grafik pitch dan roll variasi C	41
Gambar 48. Grafik tinggi gelombang	41
Gambar 49. Pergerakan pontoon terhadap sumbu z pada variasi C. (a) menit 0.00, (b) menit 2.47, (c) menit 6.00.....	42
Gambar 50. Perbandingan kondisi terbaik antar variasi	43
Gambar 51. Grafik osilasi di atas air.....	44
Gambar 52. Grafik eksponensial nilai puncak osilasi	44
Gambar 53. Grafik penambahan panjang terhadap penambahan beban...	45

DAFTAR TABEL

<i>Tabel 1. Klasifikasi Energi Laut</i>	5
<i>Tabel 2. Penyekalaan model parameter gelombang yang digunakan</i>	13
<i>Tabel 3. Spesifikasi model</i>	Error! Bookmark not defined.
<i>Tabel 4. Aksesoris pendukung</i>	Error! Bookmark not defined.
<i>Tabel 5. Mekanisme pengujian</i>	20
<i>Tabel 6. Klasifikasi Energi Laut</i>	45

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Roda kehidupan dunia sangat tergantung pada pemanfaatan sumber daya energi. Fosil merupakan sumber utama yang menyediakan energi berupa gas dan minyak bumi. Dengan sifatnya yang tidak bisa diperbarui maka lama kelamaan akan habis oleh eksploitasi. Keadaan ini mendorong manusia untuk mencari sumber energi lain yang bisa menggantikan sumber daya fosil dengan konsep yang diusung berupa energi terbarukan dan juga ramah lingkungan. Panas bumi, air, angin, matahari, gelombang laut, dan pasang surut merupakan contoh-contoh energi terbarukan yang ramah lingkungan

Keterangan dari Ignasius Jonan, Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) memberikan data bahwa pada akhir tahun 2018 bauran energi yang bersumber dari energi terbarukan telah mencapai 13%. Kebutuhan akan energi terbarukan akan selalu meningkat seiring dengan kesadaran manusia akan ketersediaan sumber daya fosil yang semakin berkurang. Diperkirakan pada tahun 2025 bauran energi dari sumber daya energi terbarukan bisa menyentuh 23%

Dengan dua per tiga wilayahnya adalah berupa perairan, Indonesia memiliki potensi yang besar dalam menerapkan pembangunan sumber energi terbarukan dari laut. Energi terbarukan tersebut adalah listik. Potensi laut dalam menghasilkan listik dapat dibagi menjadi tiga, yaitu energi pasang surut (*tidal power*), energi gelombang laut (*wave energy*), dan energi panas laut (*ocean thermal energy*).

Pada tahun 2002 salah satu potensi tersebut digali. Sebuah *prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandul (PLTGL-SISTEM BANDUL) dibuat oleh Zamrisyaf, seorang meneliti dari PLN. Dengan cara kerja yang sederhana yaitu memanfaatkan gerakan *pontoon* yang terombang-ambing oleh gelombang yang kemudian membuat bandul yang dipasang di atasnya bergerak secara rotasi lalu disalurkan pada generator, *prototype* tersebut benar-benar dapat membangkitkan energi listrik.

Melalui kerja sama dengan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, temuan Zamrisyaf mendapatkan penyempurnaan. Di antara yang telah disempurnakan adalah ukuran *pontoon*, berat bandul, dan panjang lengan bandul serta daya dan putaran yang dihasilkan. Semua penyempurnaan tersebut dilakukan demi mendapatkan putaran bandul yang optimal.

Energi listrik yang dihasilkan sangat tergantung pada putaran bandul. Sedangkan putaran bandul sangat bergantung pada gerakan *pontoon*. Di

antara yang berkontribusi dalam gerakan *pontoon* adalah model *pontoon*, variasi sudut kemiringan lambung *pontoon* dan cara pemasangan *pontoon*. Adapun faktor lingkungan berupa jenis dan ukuran gelombang di mana *pontoon* dipasang.

Model *pontoon* yang digunakan oleh Zamrisyaf dinilai kurang optimal karena tidak bisa merespon gelombang dari berbagai arah dengan baik dikarenakan bentuknya yang seperti lambung kapal. Demi menemukan bentuk *pontoon* yang dapat merespon gelombang dari berbagai arah, penelitian pada *pontoon* berbentuk *hexagonal* dengan *floate leg* dilakukan. Dengan metode eksperimen yang dikerjakan di laboratorium hidrodinamika diharapkan dapat memberikan penyempurnaan pada temuan PLTGL-SISTEM BANDUL yang telah dipaparkan sebelumnya.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang di atas maka masalah utama yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana desain *floate leg* untuk *hexagonal pontoon*?
2. Bagaimana respon gerakan *hexagonal pontoon* dengan variasi panjang lengan *floate leg*?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan permasalahan dan mengantisipasi melebarnya topik permasalahan, penulis memiliki batasan masalah sebagai berikut:

1. Pengaruh gerakan *pontoon* terhadap putaran pendulum diabaikan.
2. Tidak memperhitungkan besarnya energi listrik yang dihasilkan.
3. Gerakan yang diperhitungkan hanya *pitch* dan *roll*
4. Parameter kondisi lingkungan:
 - Jenis gelombang : *irreguler-JONSWAP*
 - Kedalaman kolam : 2,5 m
 - Tinggi gelombang : 0.2 m
 - Periode gelombang : 2,21 s
5. Jenis *mooring* yang digunakan adalah *single line mooring*.

1.4 Tujuan Skripsi

Untuk menjawab rumusan masalah di atas, pada penulisan tugas akhir ini mempunyai tujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui desain *floate leg* untuk *hexagonal pontoon*?
2. Mendapatkan data respon gerakan *hexagonal pontoon* dengan variasi *floate leg*?

1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah :

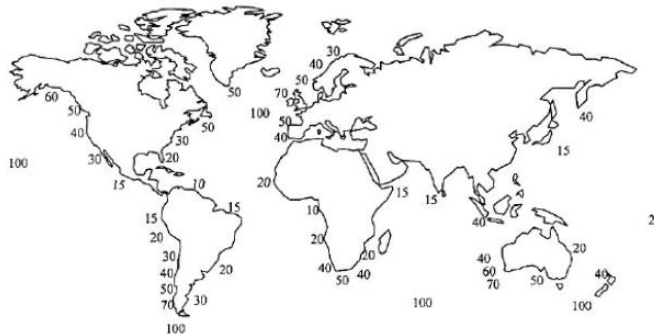
1. Sebagai bahan pembelajaran untuk mengetahui respon model *pontoon* terhadap gelombang.
2. Tugas Akhir ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pembuatan perencanaan model *pontoon* PLTGL-SISTEM BANDUL

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Gelombang

Gelombang laut terbentuk dari energi matahari yang mempengaruhi udara lalu ke air. Energi matahari menciptakan angin yang meniup seluruh permukaan laut lalu mengubah energi angin tersebut menjadi energi gelombang. Energi gelombang ini dapat ditransmisikan pada jarak yang jauh dan dengan rugi yang kecil. Dan yang lebih penting adalah, terjadinya gelombang dapat diprediksi secara akurat beberapa hari sebelumnya. Lebih dapat diprediksi daripada energi angin dan energi matahari. Data yang ada menyatakan bahwa diperkirakan ada 8.000-80.000 TWh/yr. Gambar 1 menunjukkan sebaran daya gelombang dalam kW/m, satuan untuk menghitung energi gelombang pada puncak gelombang.



Gambar 1. Perkiraan sebaran daya gelombang dalam kW/m
(sumber: *Ocean Wave Energy Conversion – A Survey*, 2005)

2.2 Klasifikasi dan Karakteristik Wave Energy Converter (WEC)

Sumber energi laut diklasifikasikan menjadi dua yaitu konversi gelombang dan konversi arus seperti yang ditunjukkan oleh tabel 1

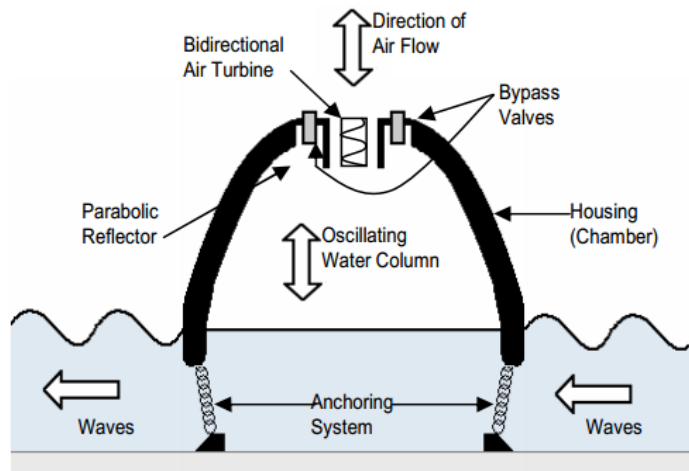
Tabel 1. Klasifikasi Energi Laut

<i>Ocean flow energy converter</i>		<i>Ocean wave energy converter (WEC)</i>	
<i>Tidal currents</i>	<i>Marine currents</i>	<i>Turbine -type</i>	<i>Buoy-type</i>
Tidal lagoon	Bi-directional turbine	Oscillating water column (OWC)	Tube type
Tidal dam	Uni-directional turbine	Overtopping wave energy converter	Float type

(sumber: *Ocean Wave Energy Conversion – A Survey*, 2005)

2.2.1 Turbine Type – Oscillating Water Column (OWC)

Oscilating Water Columns merupakan pembangkit yang memanfaatkan ketinggian gelombang air laut. Pada *Oscillating water columns*, gelombang air laut yang datang akan masuk ke *chamber* melalui bagian yang berada di bawah permukaan laut. Pergerakan osilasi air laut menyebabkan perbedaan tekanan udara yang terletak di dalam *chamber* dan di luar *chamber*. Pada pembangkit ini terdapat sebuah saluran penghubung yang pada sisi ujung luarnya terdapat turbin. Perbedaan tekanan udara yang dihasilkan akan menimbulkan pergerakan udara sehingga memutar turbin pada ujung saluran. Turbin yang berputar akan membangkitkan listrik. Skema yang lebih jelas ditunjukkan pada gambar 2.

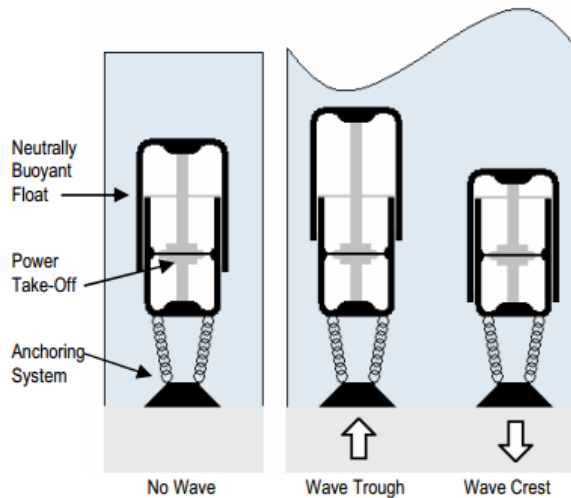


Gambar 2. Diagram kerja *oscillating water column* (OWC)
(sumber: *Ocean Wave Energy Conversion – A Survey*, 2005)

2.2.2 Buoy-type float - type WEC

Merupakan jenis pembangkit listrik tenaga ombak yang menggunakan prinsip hukum Archimedes. Pembangkit ini memiliki dua buah bagian yaitu bagian statis dan bagian dinamis. Pada bagian dinamis terdapat pelampung yang akan bergerak ketika mendapat gaya angkat ke atas oleh air. Pelampung ini berupa silinder yang terbuat dari baja dan diisi oleh udara. Perbedaan tekanan yang dihasilkan oleh gelombang laut akan digunakan untuk menggerakkan pelampung naik dan turun. Gerakan naik turun

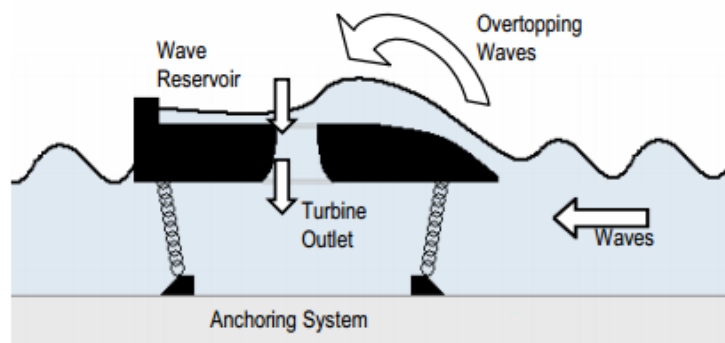
pelampung seperti yang ada pada gambar 3 ini lah yang digunakan untuk menghasilkan energi.



Gambar 3. Diagram kerja buoy-type float - type WEC
(sumber: Ocean Wave Energy Conversion – A Survey, 2005)

2.3.2 Turbine-type WEC – overtopping WEC

Overtopping devices merupakan reservoir air yang akan terisi oleh adanya gelombang air laut. Sistem yang digunakan dalam yaitu sistem pengkonsentrasian gelombang air laut. Sistem ini mengandalkan reflektor dan bagian landainya untuk mengkonsentrasikan gelombang air laut. Setelah gelombang air laut terkonsentrasi maka energi potensial yang terdapat pada gelombang air laut meningkat. Air masuk ke reservoir kemudian keluar melalui saluran yang terdapat di bagian bawah. Air inilah yang digunakan untuk menggerakkan turbin sehingga dapat membangkitkan listrik.



Gambar 4. Kerja turbine-type WEC – overtopping WEC

(sumber: *Ocean Wave Energy Conversion – A Survey, 2005*)

2.3 Jenis Gelombang

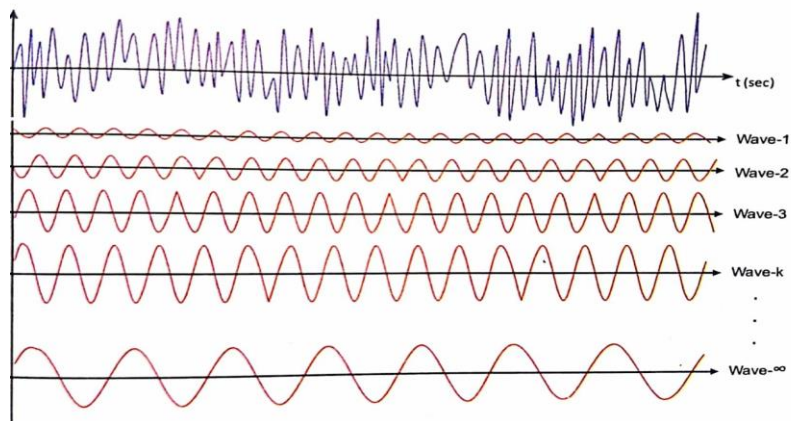
2.3.1 Gelombang Reguler

Gelombang reguler adalah pendekatan dari gelombang pada kenyataannya dengan asumsi-asumsi yang ada padanya. Berikut adalah asumsi yang dimaksud:

- Fluida dianggap homogen
- Tekanan permukaan diabaikan
- Tekanan pada permukaan bebas konstan dan uniform
- Fluida dianggap ideal (*inviscid* dan *incompressible*)
- Gerakan partikel berdiri sendiri, tidak saling mengganggu dan bertubtukan selama bergerak
- Dasar laut dianggap datar, tetap *impermeable*, sehingga kecepatan vertikal didasar adalah nol.

2.3.2 Gelombang Irreguler

Gelombang irreguler adalah gelombang sesungguhnya yang ada di lautan yang terbentuk dari superposisi gelombang-gelombang reguler dalam jumlah yang besar, yang secara teoretis mencapai jumlah yang tidak berhingga sebagai mana yang ditunjukkan oleh gambar 5.



Gambar 5. Pembentukan gelombang acak dari superposisi gelombang-gelombang reguler

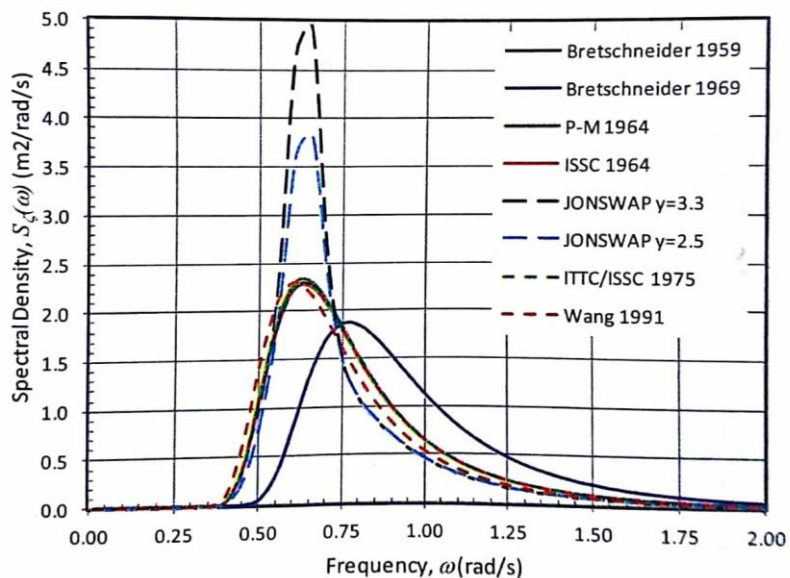
(sumber: *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*)

Penggambaran kerapatan energi yang ada pada gelombang irreguler adalah dengan cara menampilkan spektrum energi

gelombangnya. Ada beberapa bentuk formulasi yang digunakan untuk menampilkan spektrum gelombang antara lain yaitu:

- a. Bretschneider – 1959
- b. Bretschneider – 1969
- c. Pierson-Moskowitz – 1964
- d. ISSC – 1964
- e. JONSWAP
- f. ITTC/ISSC – 1975
- g. Wang – 1991

Dari semua formula di atas yang akhir-akhir ini banyak digunakan di perancangan bangunan lepas pantai di Indonesia adalah formula spektra JONSWAP karena dalam penelitiannya JONSWAP menggunakan data dari perairan tertutup di Laut Utara yang mirip dengan perairan pantai Indonesia. Pada gambar 6 dijelaskan perbandingan nilai kerapatan energi gelombang dalam domain frekuensi dengan harga tinggi signifikan $H_s=4.0\text{m}$



Gambar 6. Perbandingan spektrum gelombang dari sejumlah formulasi

(sumber: Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak)

2.4 Bangunan Apung

2.4.1 Teori dasar gerakan bangunan apung

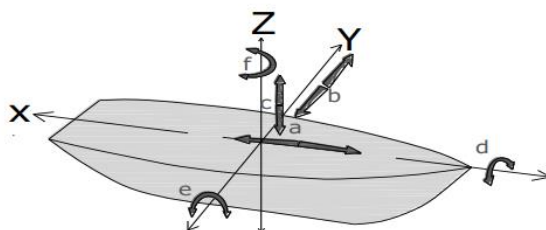
Pada dasarnya bangunan apung yang berada di atas permukaan laut akan memperoleh gaya eksitasi yang menyebabkan kapal bergerak. Pergerakan dari bangunan laut ini menghasilkan 6 gerakan yang terbagi menjadi 3 gerakan rotasi, dan 3 gerakan translasi sebagaimana yang ditunjukkan oleh gambar 7.

Gerakan translasi, gerakan lurus sesuai sumbunya meliputi :

- a. Surge : yaitu gerakan kapal secara translasi sepanjang sumbu x
- b. Sway : yaitu gerakan kapal secara translasi sepanjang sumbu y
- c. Heave : yaitu gerakan kapal secara translasi sepanjang sumbu z

Gerakan rotasi, gerakan memutar meliputi :

- a. Roll : yaitu gerakan kapal secara rotasi sepanjang sumbu x
- b. Pitch : yaitu gerakan kapal secara rotasi sepanjang sumbu y
- c. Yaw : yaitu gerakan kapal secara rotasi sepanjang sumbu z



Gambar 7

Gambar 7. Enam derajat kebebasan yang terjadi pada kapal (sumber: Analisa Olah Gerak Kapal Di Gelombang Reguler pada Kapal Tipe Axe Bow, 2016)

2.4.2 Teori Stabilitas

Stabilitas dari sebuah benda apung adalah mengacu kepada benda tersebut untuk tetap mengapung dengan kemampuan kembali ke posisi semula saat diberi simpangan atau tetap pada posisinya pada saat diberi simpangan. Ada tiga kondisi yang dialami benda apung dalam hal stabilitas, yaitu:

- a. Stable Equilibrium : Kondisi saat suatu benda apung saat disinggung lalu dapat kembali kepada posisi semula. Hal ini terjadi karena posisi titik M lebih tinggi dari pada posisi titik G
- b. Neutral Equilibrium : Kondisi saat suatu benda apung tidak dapat kembali pada posisi semula namun tetap pada posisi singgungannya. Hal ini terjadi

karena posisi titik M sama dengan posisi titik G.

- c. Unstable Equilibrium: Kondisi saat suatu benda apung tidak dapat kembali pada posisi semula namun terus bergerak menjauhi posisi awalnya. Hal ini terjadi karena posisi titik M lebih rendah daripada posisi titik G. Sebagaimana yang ditunjukkan oleh gambar 8



Gambar 8. Tiga kondisi stabilitas
(sumber: Food and Agriculture Organization)

2.5 Response Amplitude Operator (RAO)

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 (Chakrabarty, 1987)

2.6 Rancangan Model Pontoon

Model yang rancang diharapkan dapat merespon dengan baik gelombang yang datang dari berbagai arah. Mengingat pada model yang digunakan oleh Zamrisyaf kurang bisa memberikan respon tersebut. Oleh karena itu desain *pontoon* dengan menggunakan bentuk *hexagonal* dibuat. Dengan tambahan cadik seperti yang terlihat pada gambar 9 atau yang selanjutnya disebut sebagai *float leg* diharapkan dapat memberikan respon yang lebih maksimal.

Selanjutnya model tersebut akan diuji pada tangki lab hidrodinamika dengan diikat menggunakan jenis *single line mooring*. Operasional gerakan *pontoon* yang bebas mengikuti gelombang menjadi alasan penggunaan jenis *mooring* tersebut.



Gambar 9. Rencana model pontoon

2.7 Skala Model dan Skala Gelombang

Penskalaan model dalam metode eksperimental atau percobaan adalah yang paling penting karena dalam ukuran model lah suatu *prototype* diuji. Tidak hanya *pontoon* yang diskalakan, input gelombang pun turut diskalakan agar relevan dengan ukuran skala model.

Rencana ukuran *prototype* PLTGL-SISTEM BANDUL ini secara keseluruhan berdiameter 10,78 m. Skala yang digunakan adalah 1:10. Sehingga ukuran model menjadi 1,078 m. Sedangkan *prototype* didesain untuk bekerja pada periode gelombang 7 detik dan tinggi gelombang 2 m. Komparasi antara model dan *prototype* ditampilkan dalam tabel 2. Sehingga periode dan tinggi gelombang yang dikenakan pada model adalah mengikuti perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} \frac{L_m}{L_p} &= n = \frac{1}{10}, & H_m &= \frac{H_p}{10} \\ T_m &= \frac{T_p}{\sqrt{10}} & &= \frac{2}{10} \\ &= \frac{7}{\sqrt{10}} & &= 0,2 \\ &= 2,21 & & \end{aligned}$$

Jadi periode dan tinggi gelombang yang dikenakan pada model adalah 2,21 s dan 0,2 m

Tabel 2. Penyekalaan model beserta parameter gelombang yang digunakan.

	Prototype	Model
Skala	1:1	1:10
Diameter (m)	10.78	1.078
Draft (m)	1	0.1
Periode gelombang, T (s)	7	2.21
Tinggi gelombang, H (m)	2	0.2

2.8 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 nilai k-nya 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)

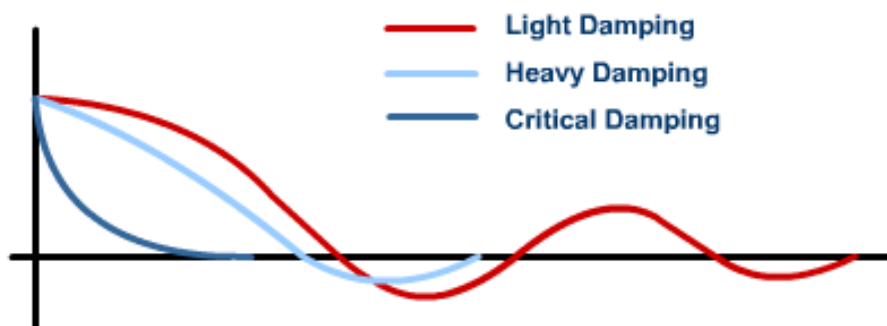
Δx = pertambahan panjang benda (m)

2.9 Natural Damping

Semua benda yang berosilasi akan mengalami penurunan amplitudo karena gesekan dengan medianya yang kemudian disebut dengan *natural damping*. *Pontoon* yang didesain akan diaplikasikan di permukaan air. Gelombang yang menerpa badan *pontoon* akan membuatnya berosilasi. Dari karakteristik osilasi kemudian kita bisa mengetahui desain *mooring* yang cocok untuk digunakan. Data *natural damping* yang didapatkan dalam pengujian ini akan digunakan sebagai referensi dalam penelitian berikutnya.

Secara teori ada tiga jenis *damping*, yaitu *light damping*, *critical damping*, dan *heavy damping*. *Light damping* adalah kondisi ketika sistem kembali ke keadaan setimbang dengan berosilasi yang amplitudonya semakin lama semakin mengecil. *Critical damping* adalah kondisi ketika

sistem kembali ke keadaan setimbang dengan sangat cepat tanpa mengalami osilasi. *Heavy damping* adalah kondisi ketika sistem kembali ke keadaan setimbang dengan tidak berosilasi namun dalam waktu yang lama. Ilustrasi jenis-jenis *damping* ditampilkan pada gambar 10.



Gambar 10. Jenis-jenis *damping*
(sumber: www.s-cool.co.uk)

2.10 Frequency Domain Converting

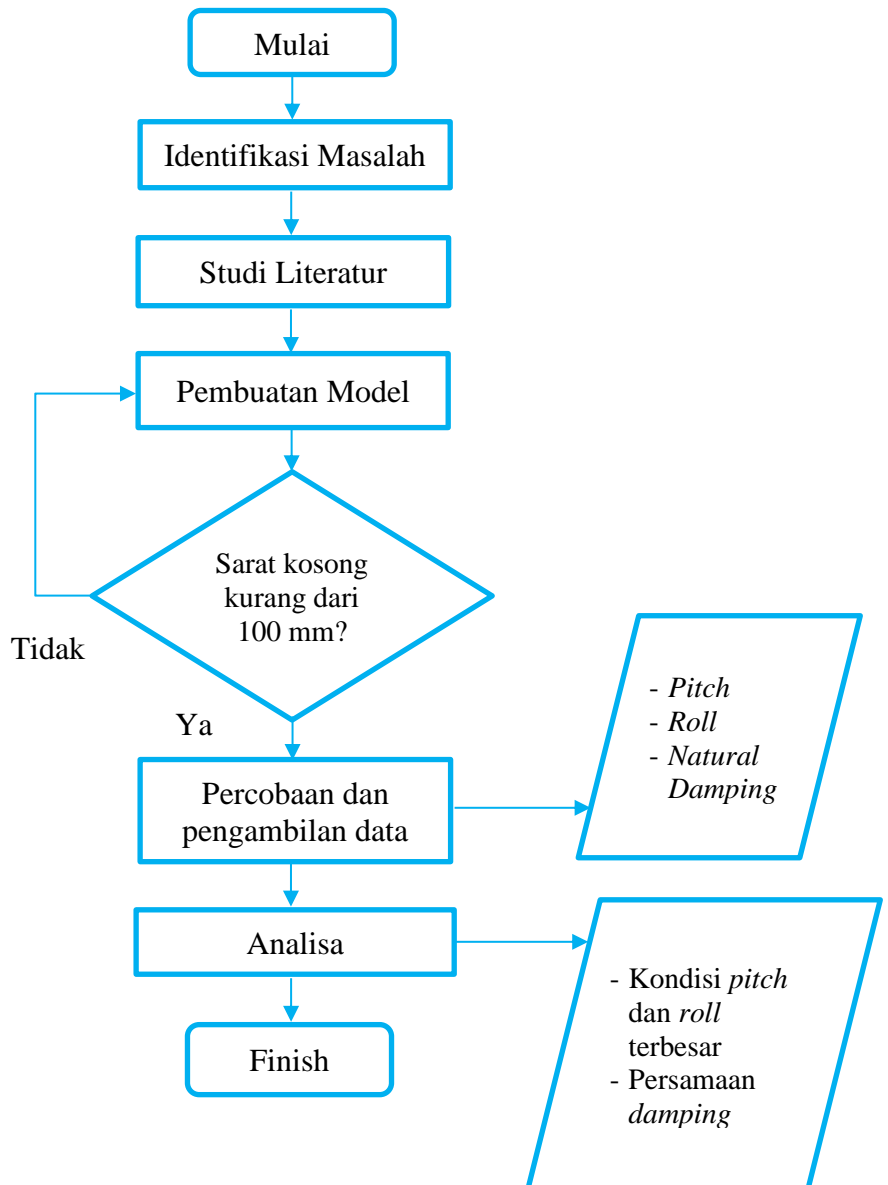
Sebagaimana disebutkan dalam bab 1, gelombang yang dipakai untuk pengujian ini adalah gelombang *irreguler* yang mana karakteristiknya dilihat dalam domain frekuensi. Sedangkan data yang diberikan dari laboratorium tempat pengujian adalah berupa domain waktu. Sehingga perlu dilakukan konversi dari *time domain* ke *frequency domain*.

Cara mengubahnya adalah dengan menggunakan program *MATLAB*. dengan memasukkan kode sebagai berikut, namun sebelumnya memastikan bahwa nama *file excel* yang berisi data domain waktu telah sesuai dengan apa yang ditulis di dalam kode. *File* dalam proses konversi kali ini diberi nama “TimeDomain.xlsx”

III METODOLOGI

3.1 Metodologi Penelitian

Tahapan penelitian dalam Tugas Akhir ini ditunjukkan dengan langkah-langkah penelitian pada gambar berikut



3.2 Identifikasi Masalah

Pontoon milik Zamrisyaf berbentuk *catamaran* sehingga kurang bisa merespon gelombang yang datang dari arah depan lambung. Untuk itu didesain lah *pontoon* yang dapat merespon gelombang dari berbagai arah. Dipilih bentuk segi enam adalah untuk memudahkan dalam proses pembuatannya.

3.3 Study Literatur

Untuk mempelajari teori dasar yang mendukung penelitian ini, dilakukan lah studi literatur. Bahasan pada studi literatur ini meliputi:

- a. Gerak bangunan apung
- b. Spektrum gelombang
- c. *Scaling converter*

3.4 Percobaan dan Pengambilan Data

3.4.1 Prosedur Percobaan

Percobaan yang dilakukan di Lab Hidrodinamika Indonesia menjalani prosedur berikut ini.

- a. Persiapan tempat pengujian

Eksperimen ini bertempat di Laboratorium Hidrodinamika Indonesia (LHI) tepatnya di Maneuvering Ocean Engineering Basin. Di kolam inilah gelombang akan dibangkitkan menggunakan *wave generator* seperti yang ditunjukkan gambar 11.

Persiapan kolam dilakukan adalah oleh para teknisi karena ini menyangkut operasional aset-aset negara yang bernilai milyaran. Adapun yang perlu disiapkan adalah *wave generator* untuk membangkitkan gelombang dan *wave probe* untuk mengukur gelombang yang dihasilkan agar sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar 11. Wave Generator pada MOB

Data spesifikasi kolam:

- Kolam dalam : 60m x 35m, kedalaman 2.5m
- Kolam dangkal : 45m x 35m, kedalaman 1.25m
- Periode gelombang : 0.5-3s
- Amplitudo : 0.3m

Parameter gelombang:

- Periode gelombang : 2.21 s
- Amplitudo gelombang : 0.2 m

b. Memberikan tanda referensi pada *pontoon*

Pemberian tanda ini dimaksudkan untuk memudahkan kita dalam menemukan referensi dari sumbu z-nya. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah ada penyesuaian diri terhadap sumbu z dari pontoon tersebut saat dikenai gelombang. Gambar 12 menunjukkan posisi tanda pada pontoon.



Gambar 12. Referensi rotasi sumbu z

c. Memasang tali tambat dan jangkar

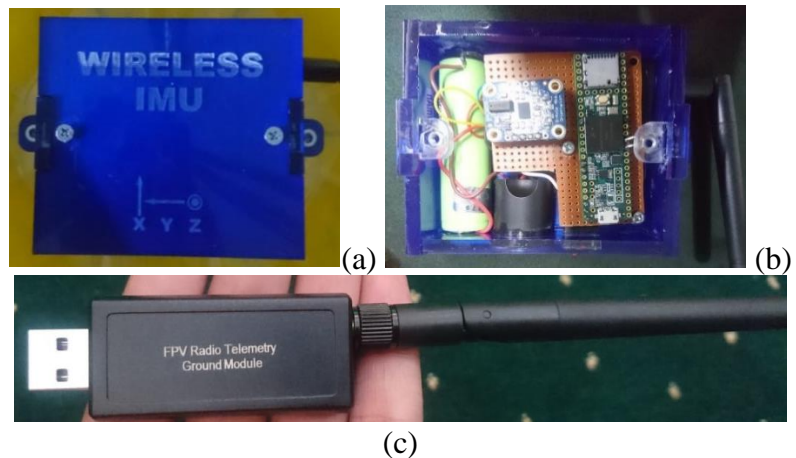
Sebagaimana yang sudah disampaikan pada pembahasan sebelumnya, tali tambat ini digunakan untuk menjaga *pontoon* agar tidak hanyut. Gambar 13 menunjukkan bahwa di dasar *pontoon* terpasang tali kawat seling sedangkan di jangkar terpasang tali karet.



Gambar 13. Tambat yang terpasang di eye bolt pontoon

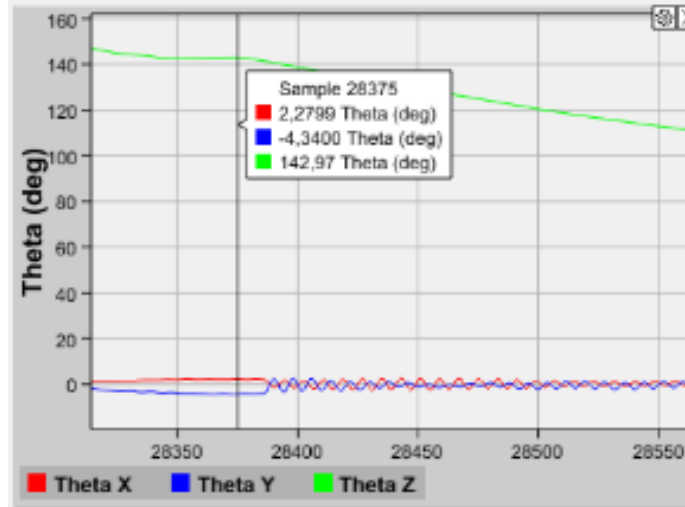
d. Memastikan berfungsinya alat ukur

Alat ukur yang digunakan adalah IMU atau (Inertial Measurement Unit). 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. Kombinasi dua sensor tersebut selanjutnya diset untuk bisa memberikan data hasil ukur berupa posisi rotasi yaitu *pitch* dan *yaw*. Gambar 14 menunjukkan IMU beserta rangkaian dalamnya dan *recheiver device* yang dipasang di *notebook*



Gambar 14. IMU. (a) casing, (b) isi rangkaian, (c) telemetry

Sebelum pengujian, IMU dipasang di dalam *pontoon* tepat di titik pusat gravitasinya. Lalu dihidupkan. Kemudian memastikan bahwa IMU bekerja dengan baik dengan melihat GUI di layar monitor sebagaimana yang tertampil di gambar 25.



Gambar 15. GUI IMU

3.4.2 Pengambilan Data

Adapun pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali dengan jumlah data yang dihasilkan di tiap pengambilan sebanyak tiga data. Sehingga secara keseluruhan data yang didapatkan berjumlah sembilan data. Tabel 5 menjelaskan mekanisme pengujian yang dilakukan.

Tabel 3. Mekanisme pengujian

	Variasi A	Variasi B	Variasi C
Roll (deg)	pengujian 1	pengujian 2	pengujian 3
Pitch (deg)	pengujian 1	pengujian 2	pengujian 3
Yaw (deg)	pengujian 1	pengujian 2	pengujian 3

a. Percobaan 1

Percobaan pertama dilakukan dengan mengatur posisi *float* pada jarak 389 mm dari titik pusat yang kemudian disebut dengan variasi A sebagaimana yang tertampil pada gambar 16



Gambar 16. Variasi A

b. Percobaan 2

Percobaan kedua dilakukan dengan mengatur posisi *float* pada jarak 464 mm dari titik pusat yang kemudian disebut dengan variasi B sebagaimana yang tertampil pada gambar 17



Gambar 17. Variasi B

c. Percobaan 3

Percobaan kedua dilakukan dengan mengatur posisi *float* pada jarak 539 mm dari titik pusat yang kemudian disebut dengan variasi C sebagaimana yang tertampil pada gambar 18



Gambar 18. Variasi C

3.5 Analisa

Data yang diterima dari IMU adalah berupa *Comma Separated Values* dalam *file Excel*. Kemudian diolah dan disajikan dalam bentuk grafikal untuk mengetahui variasi mana yang memberikan respon terbaik terhadap gelombang.

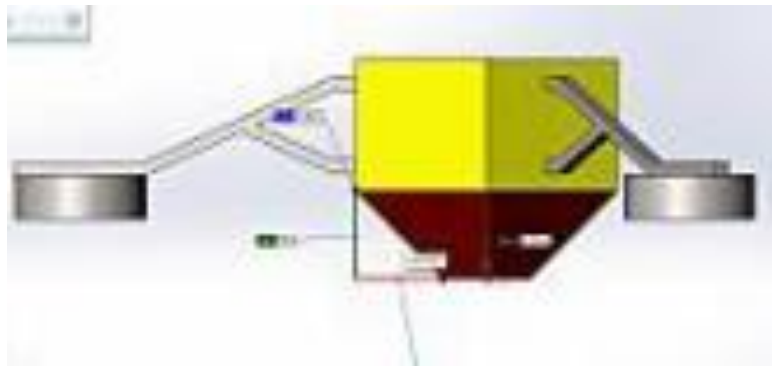
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembuatan Model

Pembuatan model dilakukan pada skala 1:10 dengan menggunakan bahan dasar akrilik. Proses yang dilakukan adalah sebagai berikut:

4.1.1 Pemodelan 3D

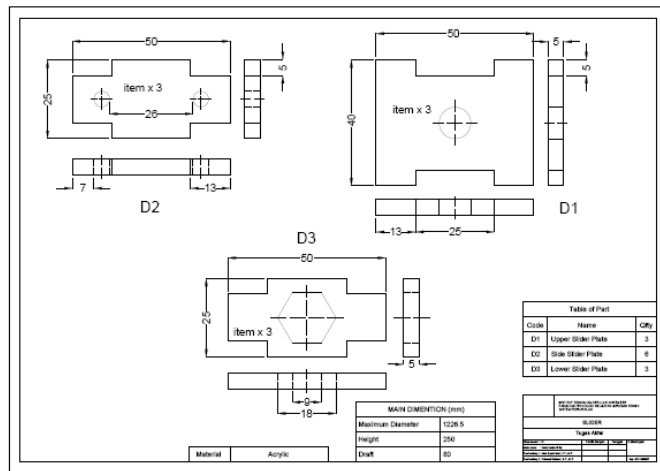
Ini adalah tahap pertama yaitu membuat bentuk 3D-nya untuk mengetahui keseluruhan rupa dari pontoon yang akan dibuat. Gambar 19 menunjukkan pandangan dari samping



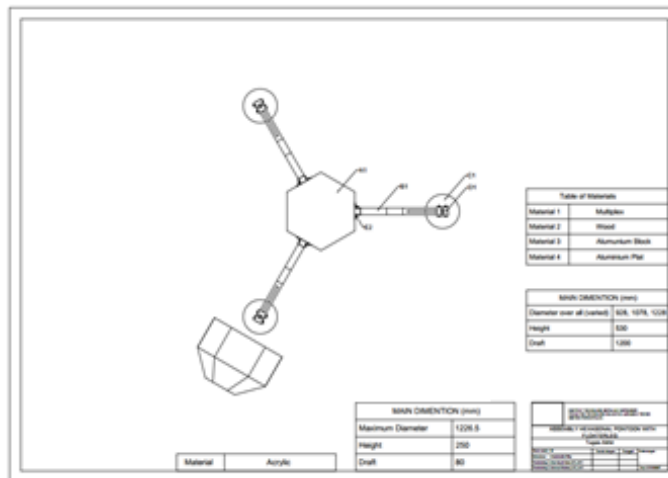
Gambar 19. 3D model pontoon

4.1.2 Anotasi per bagian

Pada tahap ini dilakukan menggambaran tiap bagian dengan menampilkan detail ukuran. Gambar ini lah yang digunakan sebagai acuan dalam proses pemotongan. Pada gambar 20 ditunjukkan anotasi per bagian pada *slider* yang digunakan sebagai dudukan *floate*r untuk penyetelan horizontal maupun vertikal. Adapun pada gambar 21 ditunjukkan bagaimana bentuk model secara keseluruhan dengan bentuk lengan yang belum mengalami perubahan.



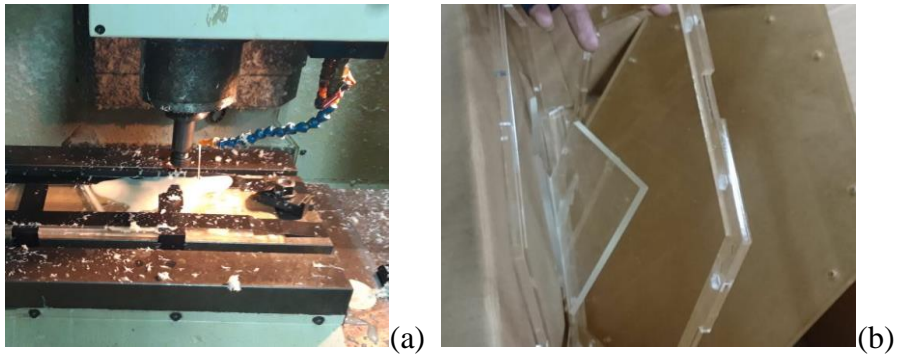
Gambar 20. Anotasi bagian slider



Gambar 21. Anotasi bagian assembly

4.1.3 Pemotongan

Pemotongan dilakukan menggunakan mesin CNC untuk mendapatkan akurasi tinggi. Gambar 22 menunjukkan proses saat pemotongan dan hasil dari pemotongan tersebut



Gambar 22. Pemotongan akrilik (a) dan hasilnya (b)

4.1.4 Perangkaian

Pada tahap awal perangkaian hanya menggunakan *paper tape* sebagai perekatnya seperti yang ditunjukkan pada gambar 23. Hal ini dilakukan untuk memastikan kecocokan antarbagian terlebih dahulu sebelum benar-benar menggunakan *seal* sebagai perekatnya.



Gambar 23. Rangkaian per potongan dengan perekat kertas

4.1.5 Perekatan

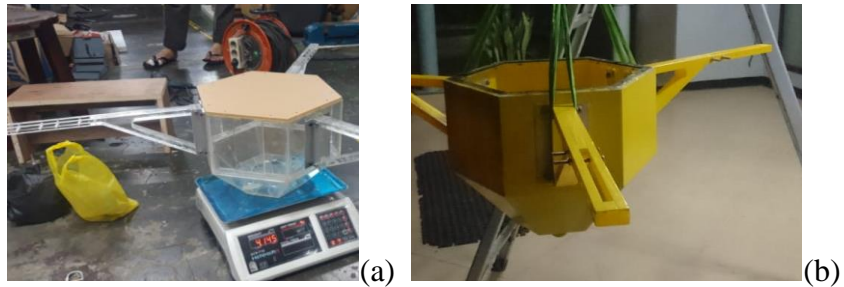
Setiap bagian yang dirasa sudah sesuai selanjutnya direkatkan menggunakan lem tembak. Gambar 24 menunjukkan hasil bagian yang telah direkatkan.



Gambar 24. Sisa lem saat perekatan

4.1.6 Pengecatan

Tahap selanjutnya adalah mengecat. Model yang tadinya transparan dicat menggunakan cat *waterproof* berwarna kuning agar mudah diamati saat berada di tangki uji. Gambar 25 menunjukkan keadaan sebelum dan sesudah dicat.



Gambar 25. Perbandingan sebelum (a) dan sesudah dicat (b)

4.1.7 Pembuatan tali tambat

Tali tambat digunakan agar *pontoon* tidak hanyut saat pengujian nanti. Komposisi tali tambat disesuaikan dengan *requirement* dari teknisi Lab Hidrodinamika Indonesia. Gambar 26 menunjukkan hasil rangkaian tali yang telah dibuat. Rangkaianannya berupa:

- a. Tali seling
 - diameter 2 mm
 - panjang 155 cm
- b. Tali karet
 - lebar 1 cm
 - panjang 20 cm
- c. Aksesoris
 - *carabiner*
 - *swivel eye*
 - *swivel snap*
 - klem kuku macan

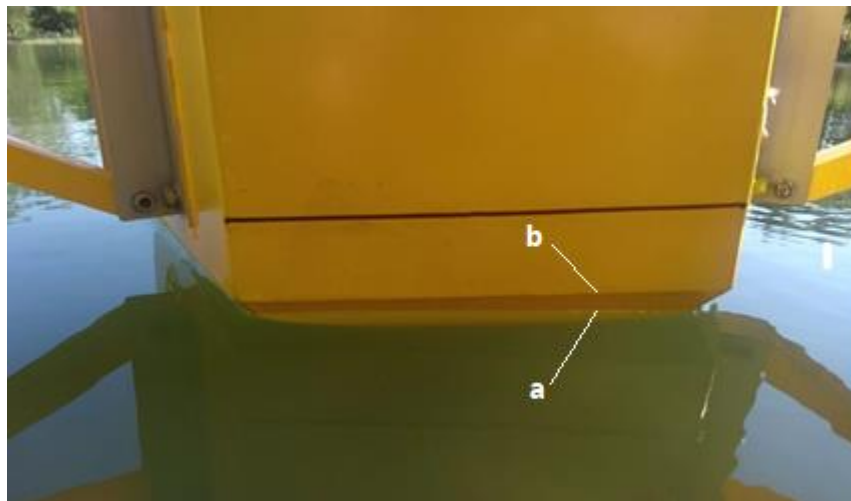


Gambar 26. Hasil Rangkaian Tali Tambat

4.1.8 Validasi model

Validasi yang dilakukan adalah memastikan bahwa sarat rangkaian *pontoon* tidak melebihi sarat yang didesain. Adapun nilai sarat yang didesain adalah 100 mm. Titik b pada gambar 27 menunjukkan garis nilai sarat 100 mm.

Kegiatan validasi adalah berupa menempatkan rangkaian *pontoon* di atas air lalu diukur saratnya. Titik a pada gambar menunjukkan bahwa sarat air berada di bawah 100 mm sehingga *pontoon* dapat diterima dan siap untuk uji *motion*.



Gambar 27. Validasi pontoon

4.1.9 Spesifikasi dan tampak akhir

Spesifikasi dari desain model yang dibuat berdasarkan alur pembuatan di atas ditambahkan pada tabel-tabel di bawah ini. Tabel 3 menunjukkan spesifikasi model keseluruhan dan tabel 4 menunjukkan aksesoris-aksesoris yang digunakan beserta kuantitas dan beratnya.

Tabel 4. Spesifikasi model

No	Parameter	Harga
1	Panjang Lengan (mm)	414
2	Tinggi (mm)	250
3	Sarat (mm)	100
4	Berat Kosong (kg)	4.26
5	Berat <i>Mooring</i> (kg)	1.62
6	Berat Total (kg)	5.88
7	Displasmen (kg)	6.8
8	<i>Ballast</i> (kg)	0.92

Tabel 5. Aksesoris pendukung

No	Item	Kuantitas	Satuan	Berat Satuan	Berat Sub Total
1	Eye bolt	1	buah	0.15	0.150
2	Karabiner	4	buah	0.06	0.248
3	unit sling	2	m	0.16	0.320
4	Klem	2	buah	0.01	0.020
5	Baut 10x150	3	buah	0.10	0.300
6	Mur 10mm	11	buah	0.002	0.022
7	Mur Baut 5x40	15	buah	0.025	0.375
8	Siku	6	buah	0.030	0.180
Total Berat (kg)					1.615

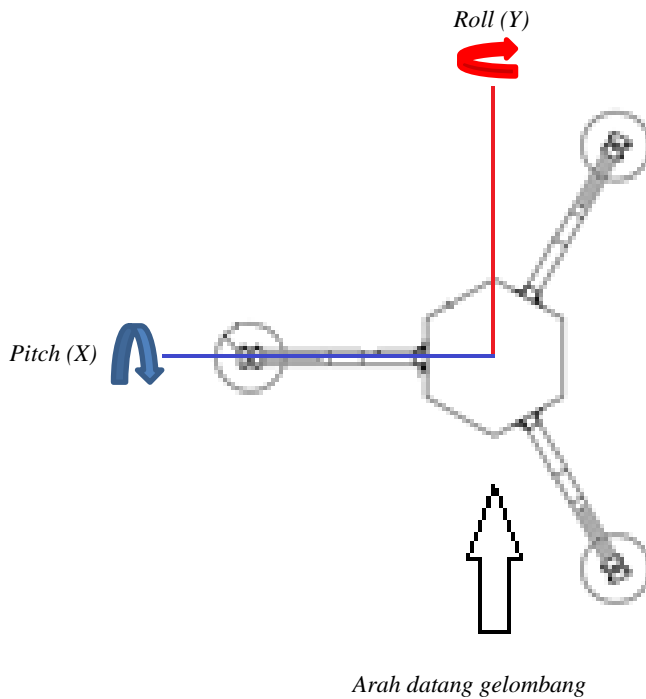
Gambar 28 menunjukkan rupa keseluruhan *pontoon* yang telah selesai dibuat. Rangkaian berupa:

- a. *Pontoon* utama, sebagai penopang generator dan pendulum. Namun pada penelitian ini kedua hal tersebut diabaikan.
- b. *Floater leg*, sebagai penopang *floater*
- c. *Slider*, sebagai mengatur posisi *floater*
- d. *Floater*, sebagai pelampung.

**Gambar 28.** Pontoon Siap Uji

4.2 Pengujian

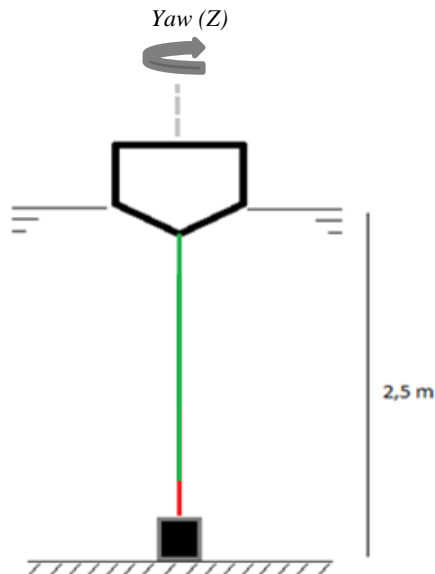
Pengujian dilakukan dengan tiga kali variasi. Terdapat variabel tetap berupa gelombang dan arah hadap *pontoon* terhadap gelombang yang sama pada ketiga variasi. Arah hadap *pontoon* terhadap gelombang dan pendefinisian gerakan *pitch* dan *roll* dijelaskan pada gambar 29.



Gambar 29. Definisi pitch, roll, dan arah datang gelombang

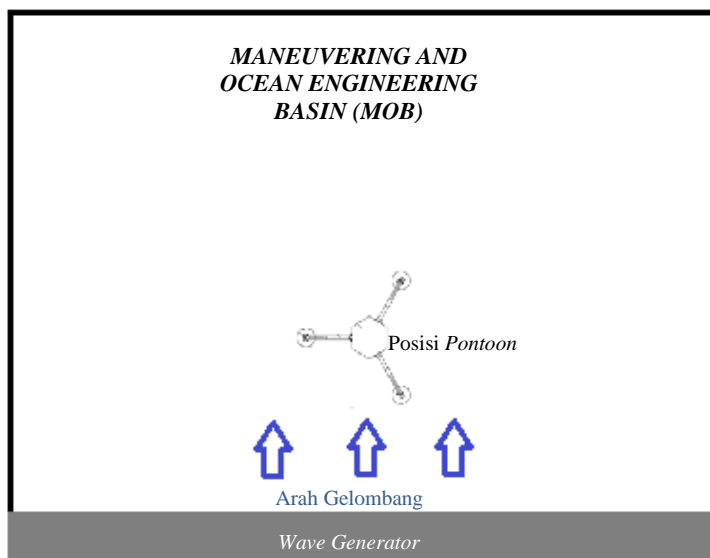
Kondisi *pontoon* yang hanya ditambat dengan *single mooring* membuatnya berotasi terhadap sumbu z (*yawing*) sehingga pengukuran *pitching* dan *rolling* dilakukan pada durasi di mana terdapat kesamaan di setiap variasi pengujian dalam hal menghadapnya *pontoon* terhadap gelombang. Kemudian didapatkan kondisi sebagaimana yang diilustrasikan pada gambar 29.

Pada gambar 30 ditunjukkan konfigurasi komposisi *single mooring line* dengan garis hijau menunjukkan tali kawat seling diameter 2mm dengan panjang 155 cm, garis merah menunjukkan tali karet dengan lebar 0.5 cm dan panjang 20 cm, dan kotak hitam menunjukkan jangkar dengan tinggi 25 cm dan berat 50 kg. *Pontoon* tercelup 10 cm.



Gambar 30. Ilustrasi konfigurasi rangkaian tali tambat

Ditambatnya *pontoon* dengan *single mooring* juga sebagai bahan pengamatan bagaimana perilaku gerakan *yawing* pada *hexagonal pontoon* selama diberi gelombang. Letak pengujian *pontoon* di dalam kolam ditunjukkan oleh gambar 31. Pemasangan tambat ditunjukkan pada gambar 32. Sedangkan *floater* ditenggelamkan sepenuhnya dengan ketentuan permukaan atasnya tepat sejajar dengan garis air. Caranya adalah dengan memutar ujung baut seperti yang ditunjukkan pada gambar 33.



Gambar 31. Posisi pontoon di kolam MOB



Gambar 32. Pemasangan single mooring



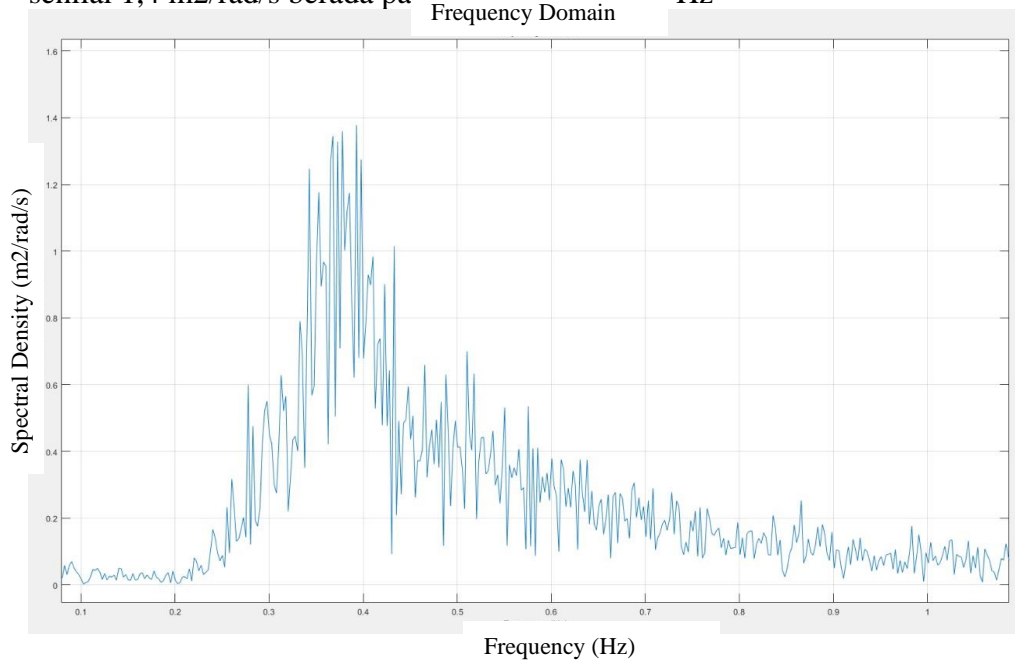
Gambar 33. Pengaturan tinggi floater

Pengujian dilakukan pada satu jenis gelombang yaitu *irreguler JONSWAP* dengan periode 2,21 s dan tinggi gelombang 20 cm dengan durasi 6 menit untuk setiap variasinya. Selanjutnya diberi waktu 15 menit untuk men-*setting* ke variasi berikutnya sembari menunggu riak-riak di kolam hilang dan siap untuk memulai variasi berikutnya.

Berikut akan ditampilkan grafik pergerakan *pitching* dan *rolling* beserta grafik gelombang yang mempengaruhinya sehingga bisa diketahui pada gelombang dengan tinggi berapakah terjadi nilai *pitch* dan *roll* yang paling tinggi. Pengukuran tinggi gelombang menggunakan *wave probe* yang memiliki *sampling rate* 41 Hz sedangkan pengukuran *pitch* dan *roll* menggunakan IMU dengan *sampling rate* 20 Hz oleh karena itu terdapat

perbedaan jumlah *sample* pada grafik tinggi gelombang dengan grafik *pitch* dan *roll*.

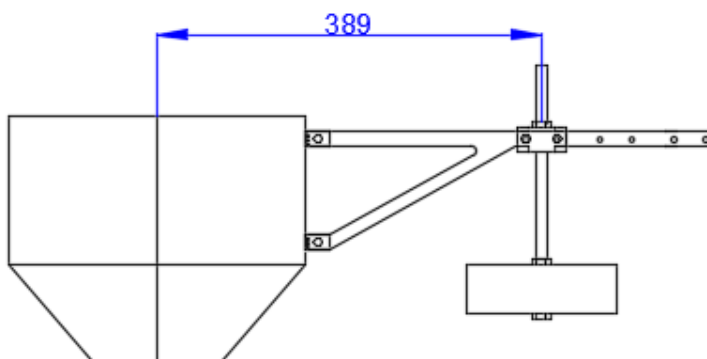
Selama 6 menit pengujian, gelombang *irreguler* yang digunakan memiliki karakteristik sebagaimana yang ditampilkan oleh gambar 34. Pada gambar tersebut terlihat bahwa dominasi kerapatan energi terbesar senilai 1,4 m²/rad/s berada pada $\hat{\omega} \hat{\omega} \hat{\omega}$ Hz



Gambar 34. Frequency domain gelombang yang digunakan.

4.2.1 Variasi A

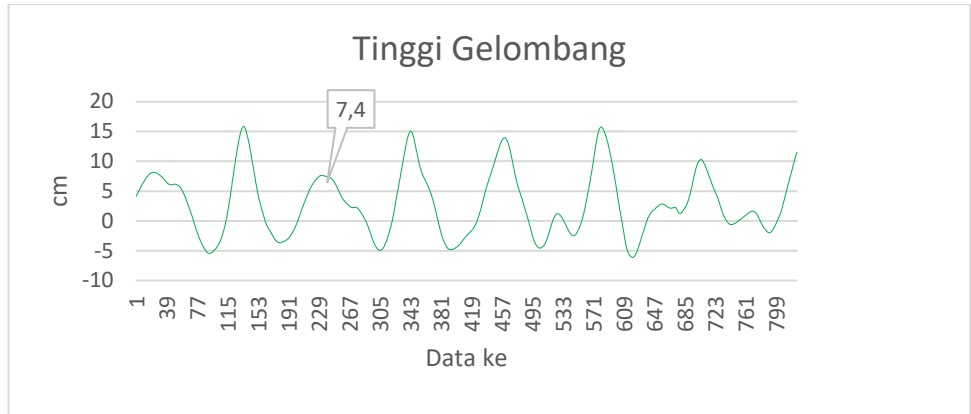
Variasi A adalah variasi pengujian dengan menempatkan baut *floaters* dengan jarak paling dekat dengan titik tengah *pontoon* yaitu 389 mm. Gambar 32 menunjukkan jarak yang dimaksud sedangkan gambar 35 menunjukkan letak *floaters* variasi A dan bagaimana keadaannya saat pengujian.



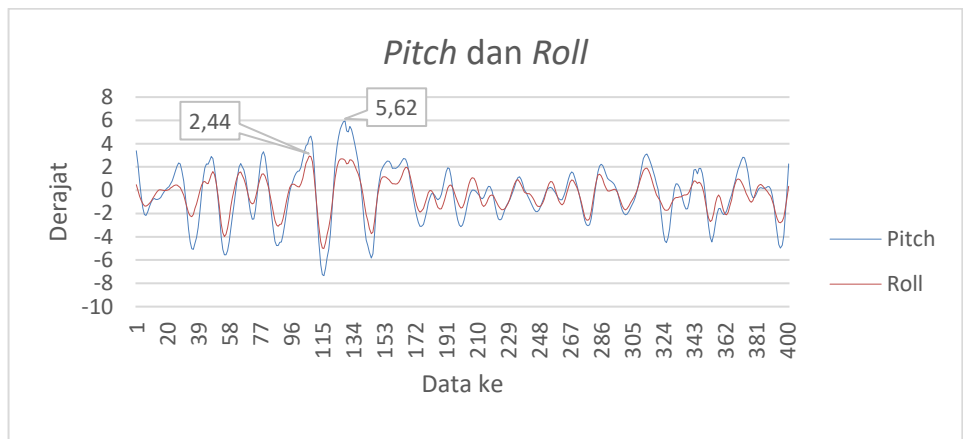
Gambar 35. Variasi A



Gambar 36. Letak floaters dan kondisi pontoon saat pengujian variasi A



Gambar 37. Grafik tinggi gelombang



Gambar 38. Grafik pitch dan roll variasi A

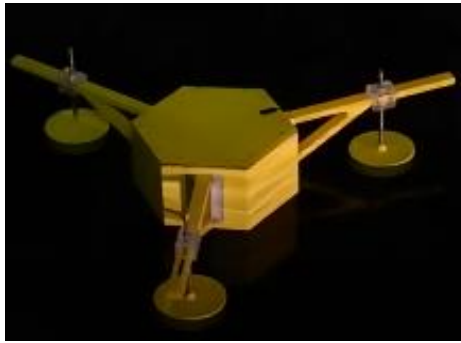
Pada grafik yang ditunjukkan oleh gambar 38 di atas terlihat bahwa dengan menempatkan *floate*r berjarak 389 mm dari titik pusat, maka *motion* yang terjadi adalah *pitch* dan *roll* terkesan beriringan. Jumlah osilasi *pitch* dan *roll* terlihat sama. Sedangkan nilai sudut *pitch* cenderung lebih besar daripada nilai sudut *roll*. Tercatat nilai *pitch* terbesar adalah $5,62^\circ$ sedangkan nilai *roll* terbesar adalah $2,44^\circ$.

Sesuai dengan grafik pada gambar 37, nilai *pitch* dan *roll* tersebut didapatkan pada saat kondisi gelombang dengan puncak 7,4 cm. Sedangkan nilai deg/m adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 H \text{ gelombang: } & 7,4\text{cm} \\
 \text{Pitch} & : 5,62^\circ \\
 \text{deg/m} & = \frac{5,62}{0,074} \\
 & = 76
 \end{aligned}$$

Adapun gerakan *yawing* untuk variasi A ditampilkan oleh kolase gambar 39. Pada gambar tersebut terdapat perubahan posisi tanda hitam di atas tutup *pontoon* pada saat kondisi awal (menit

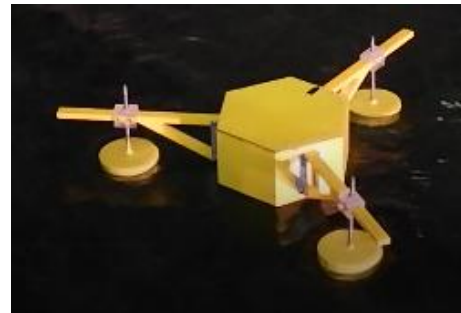
00.00), saat simpangan terjauh (menit 02.42), dan saat kondisi terakhir (menit 06.00). Hal ini menunjukkan adanya gerakan rotasional terhadap sumbu y (*yawing*). Hasil percobaan menunjukkan sudut perubahannya sebesar 105° berlawanan jarum jam terhadap kondisi awal sebelum akhirnya kembali dan berada pada sudut 30° terhadap kondisi awal.



(a)



(b)

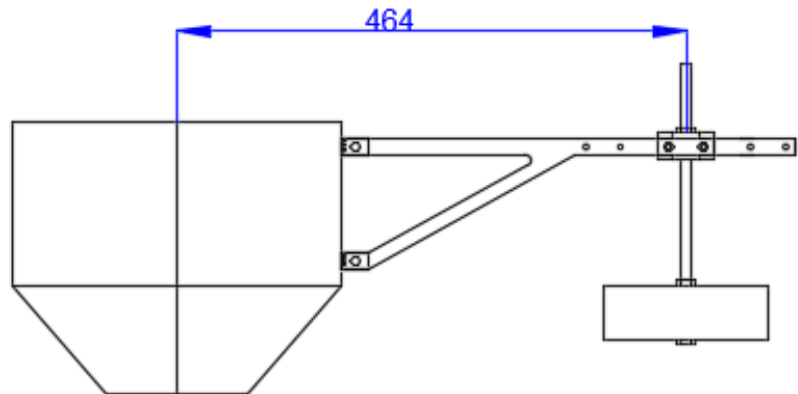


(c)

Gambar 39. Pergerakan pontoon terhadap sumbu z pada variasi A.
(a) menit 0.00, (b) menit 2.43, (c) menit 6.00

4.2.2 Variasi B

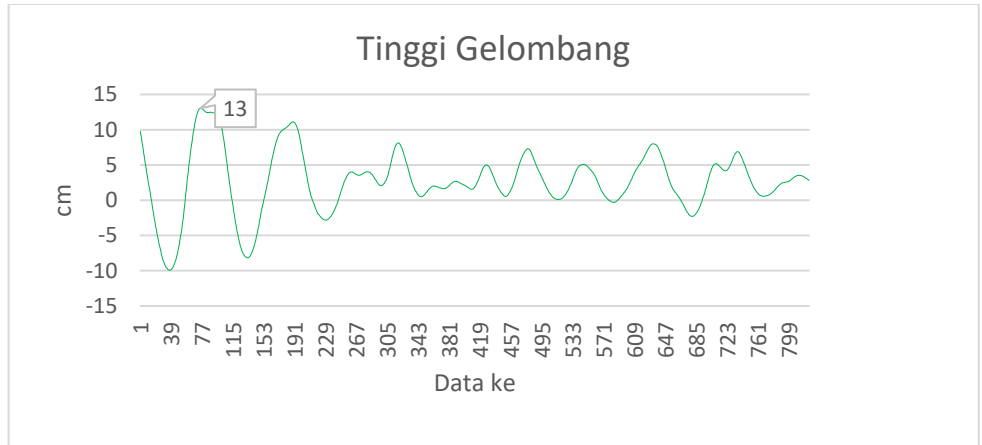
Variasi B adalah variasi pengujian dengan menempatkan baut *floaters* dengan jarak 464 mm dengan titik tengah *pontoon* dengan cara menaiki rakit mendayung ke tengah kolam lalu melepas pengunci, menggeser semua *floaters*, lalu mengunci kembali. Gambar 40 menunjukkan jarak yang dimaksud sedangkan gambar 41 menunjukkan letak *floaters* variasi B dan bagaimana keadaannya saat pengujian.



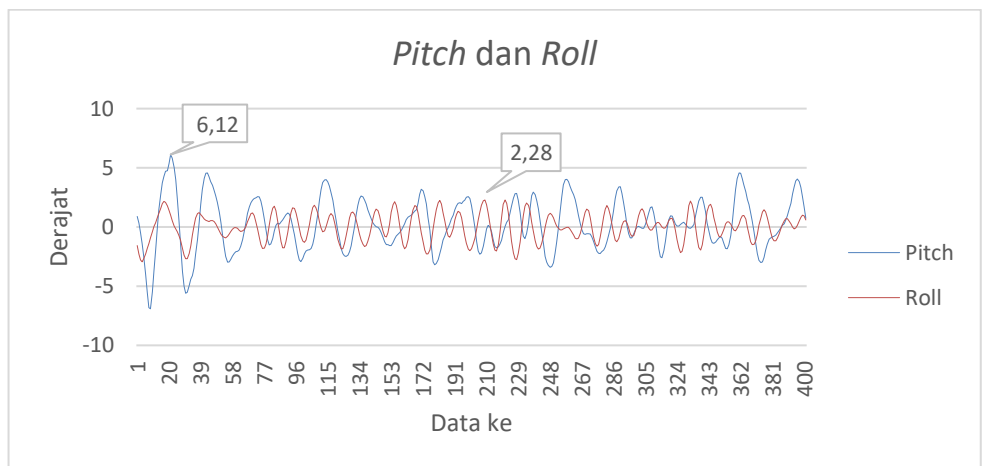
Gambar 40. Variasi B



Gambar 41. Letak *floaters* dan kondisi *pontoon* saat pengujian variasi B



Gambar 42. Grafik tinggi gelombang



Gambar 43. Grafik pitch dan roll variasi B

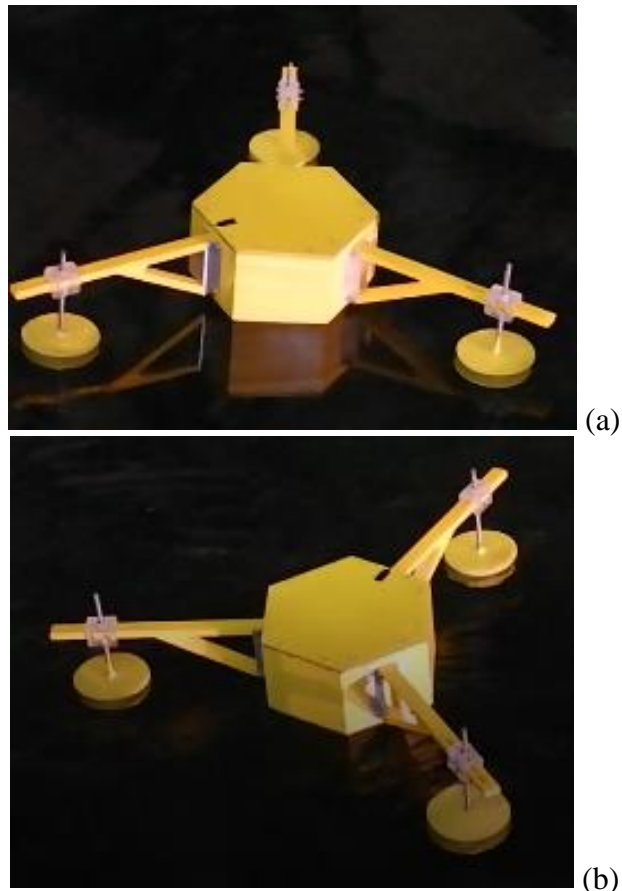
Pada grafik yang ditunjukkan oleh gambar 43 di atas terlihat bahwa dengan menempatkan *floater* berjarak 464 mm dari titik pusat, maka *motion* yang terjadi adalah *roll* beresilasi lebih banyak daripada *pitch*. Adapun tercatat nilai *pitch* terbesar adalah $6,12^\circ$ sedangkan nilai *roll* terbesar adalah $2,28^\circ$.

Sesuai dengan grafik pada gambar 42, nilai *pitch* dan *roll* tersebut didapatkan pada saat kondisi gelombang dengan puncak 13 cm. Sedangkan nilai deg/m adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 H \text{ gelombang: } & 13 \text{ cm} \\
 \text{Pitch} & : 6,12^\circ \\
 \text{deg/m} & = \frac{6,12}{0,13} \\
 & = 47,1
 \end{aligned}$$

Adapun gerakan *yawing* untuk variasi B ditampilkan oleh kolase gambar 44. Pada gambar tersebut terdapat perubahan posisi

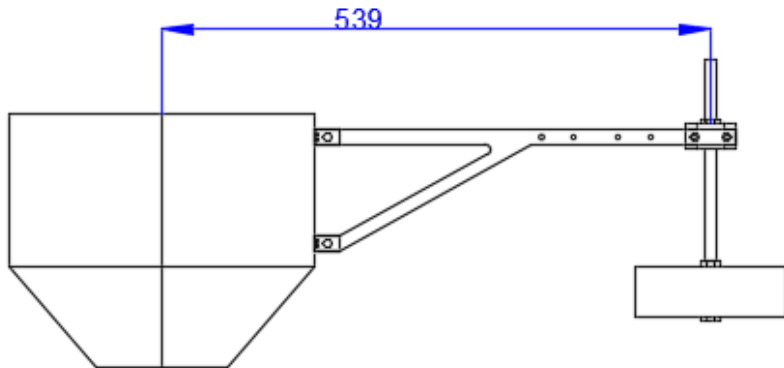
tanda hitam di atas tutup *pontoon* pada saat kondisi awal (menit 00.00) dan saat simpangan terjauh sekaligus kondisi terakhirnya (menit 06.00). Hal ini menunjukkan adanya gerakan rotasional terhadap sumbu y (*yawing*). Hasil percobaan menunjukkan sudut perubahannya sebesar 145° terhadap kondisi awal dengan pergerakan searah jarum jam.



Gambar 44. Pergerakan pontoon terhadap sumbu z pada variasi B.
(a) menit 0.00, (b) menit 6.00.

4.2.3 Variasi C

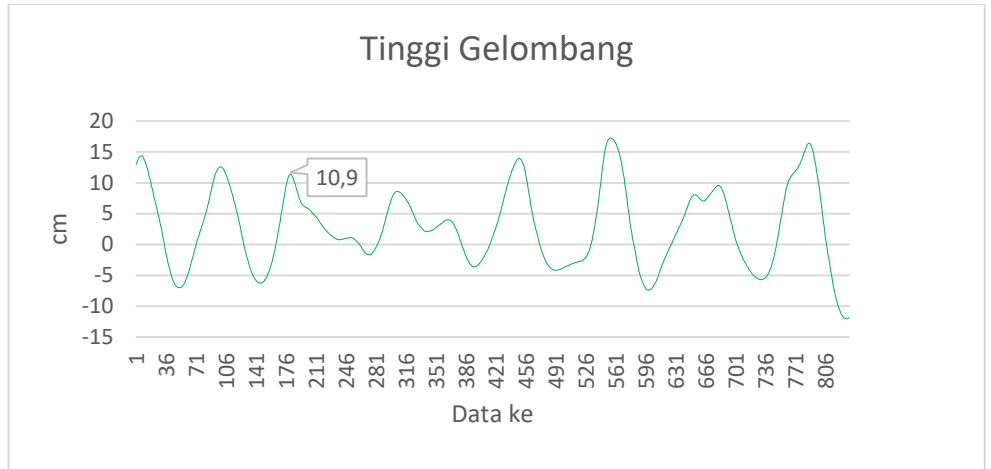
Variasi C adalah variasi pengujian dengan menempatkan baut *float* dengan jarak 539 mm dengan titik tengah *pontoon* dengan cara sebagaimana yang dilakukan saat mengubah variasi A ke variasi B. Gambar 45 menunjukkan jarak yang dimaksud sedangkan gambar 46 menunjukkan letak *float* variasi C dan bagaimana keadaannya saat pengujian.



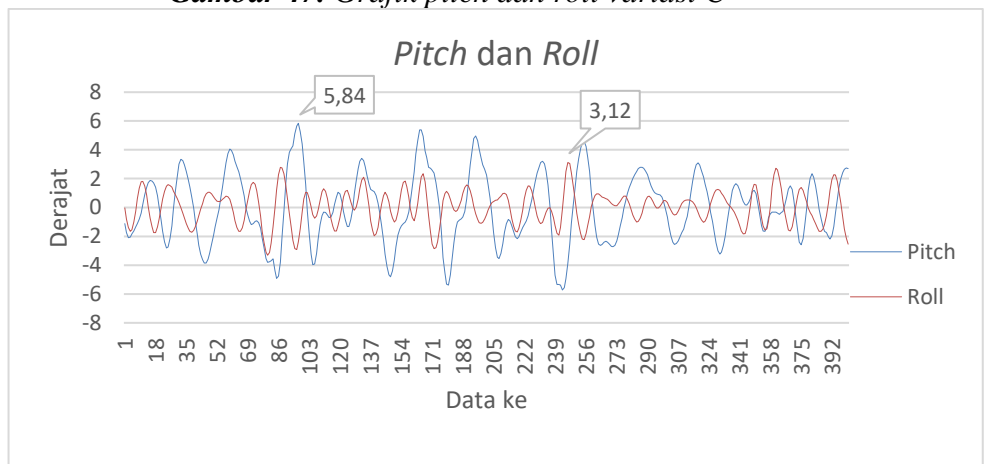
Gambar 45. Kondisi pontoon saat pengujian variasi C



Gambar 46. Kondisi pontoon saat pengujian variasi C



Gambar 47. Grafik pitch dan roll variasi C



Gambar 48. Grafik tinggi gelombang

Pada grafik yang ditunjukkan oleh gambar 48 di atas terlihat bahwa dengan menempatkan *floater* berjarak 539 mm dari titik pusat, maka *motion* yang terjadi adalah *roll* tetap beresilasi lebih banyak daripada *pitch* namun tidak serapat pada variasi B. Adapun tercatat nilai *pitch* terbesar adalah $5,84^\circ$ sedangkan nilai *roll* terbesar adalah $3,12^\circ$.

Sesuai dengan grafik pada gambar 47, nilai *pitch* dan *roll* tersebut didapatkan pada saat kondisi gelombang dengan puncak 10,9 cm. Sedangkan nilai deg/m adalah sebagai berikut:

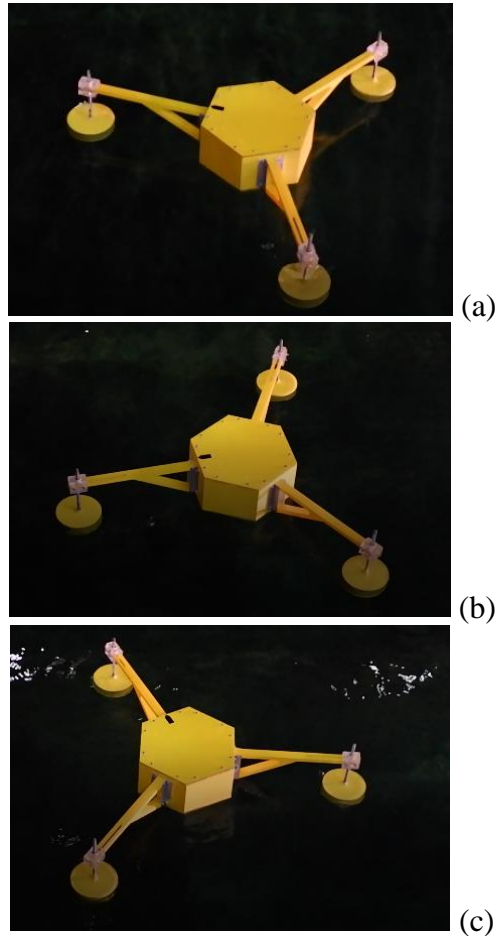
$$H \text{ gelombang: } 10,9 \text{ cm}$$

$$\text{Pitch} : 5,84^\circ$$

$$\text{deg/m} = \frac{5,84}{0,109} = 53,6$$

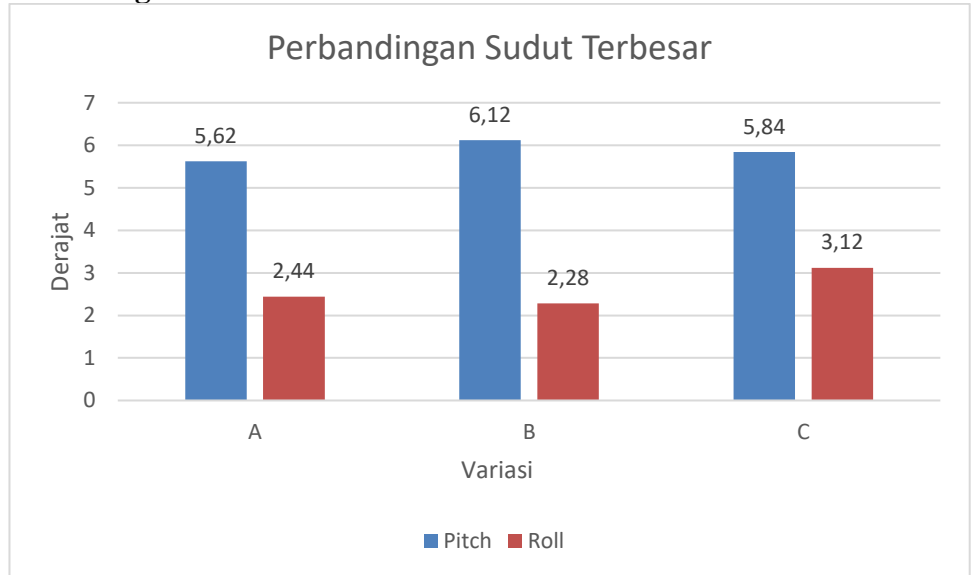
Adapun gerakan *yawing* untuk variasi C ditampilkan oleh kolase gambar 49. Pada gambar tersebut terdapat perubahan posisi tanda hitam di atas tutup *pontoon* pada saat kondisi awal (menit

00.00), saat simpangan terjauh dengan arah melawan jarum jam (menit 02.47), dan saat kondisi terakhir yang mana *pontoon* berputar searah jarum jam melewati kondisi awal dan kemudian berhenti (menit 06.00). Hal ini menunjukkan adanya gerakan rotasional terhadap sumbu y (*yawing*). Hasil percobaan menunjukkan sudut perubahannya sebesar 30° terhadap kondisi awal dengan pergerakan melawan arah jarum jam kemudian berputar sebesar 90° searah jarum jam.



Gambar 49. Pergerakan pontoon terhadap sumbu z pada variasi C.
(a) menit 0.00, (b) menit 2.47, (c) menit 6.00

4.2.4 Perbandingan kondisi terbaik

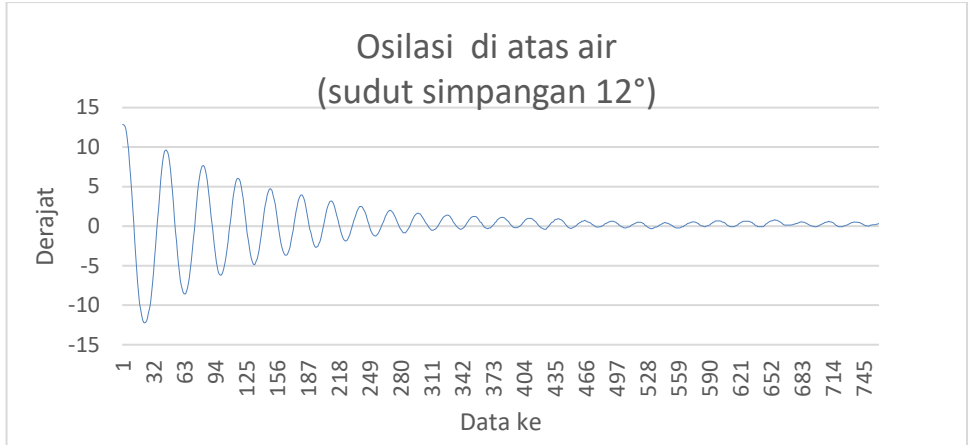


Gambar 50. Perbandingan kondisi terbaik antar variasi

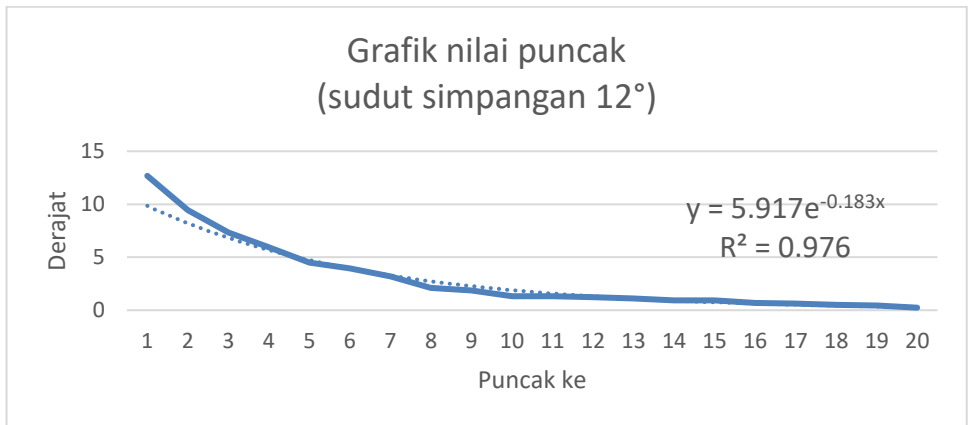
Sebagaimana yang ditunjukkan oleh grafik yang terdapat pada gambar 50, nilai *pitch* selalu lebih besar daripada nilai *roll*. Dengan nilai *pitch* terbesar terdapat pada variasi B sedangkan nilai *roll* terbesar terdapat pada variasi C.

4.2.5 Free-Floating Condition

Perhitungan ini digunakan untuk menentukan *natural damping* yang dimiliki oleh *hexagonal pontoon* yang kemudian digunakan untuk menghitung *mooring line*. Grafik pada gambar 51 menunjukkan osilasi pontoon saat di permukaan air dan diberi simpangan 12° dan dibiarkan hingga kembali setimbang. Kemudian dari grafik tersebut diambil nilai puncak-puncak simpangannya untuk mendapatkan persamaan eksponensialnya seperti yang ditunjukkan pada gambar 52.



Gambar 51. Grafik osilasi di atas air



Gambar 52. Grafik eksponensial nilai puncak osilasi

$$(m+a)\ddot{\varphi} + (b+\ddot{a})\dot{\varphi} + c\varphi = \text{Excitation Force}$$

Keterangan:

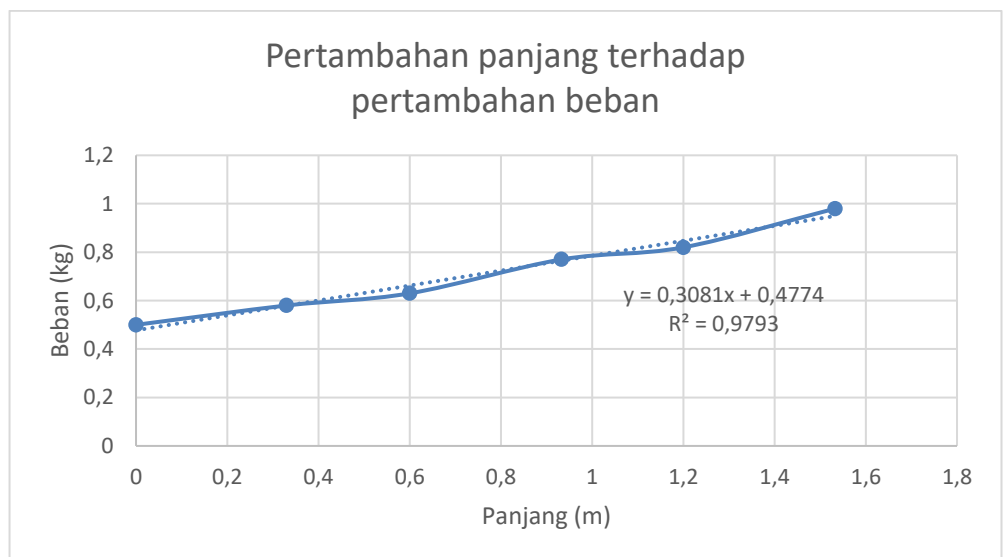
m	: massa <i>pontoon</i> (kg)	= 4.150
a	: <i>added mass</i>	= -
b+ \ddot{a}	: <i>exp. equation</i>	= $5.917e^{-0.183x}$
$\ddot{\varphi}$: percepatan sudut (deg/m ²)	= 246
$\dot{\varphi}$: kecepatan sudut (deg/m)	= 9.72
φ	: sudut (deg)	= 12
c	: konstanta	= -
x	: waktu (s)	= 37,25 s

4.2.6 Nilai Koefisien Elastisitas

Karet yang digunakan sebagai salah satu komposisi tali tambat perlu diketahui nilai koefisien elastisitasnya. Data yang didapatkan adalah sebagaimana yang ditunjukkan oleh tabel 6 dan grafik atas data tersebut ditampilkan oleh gambar 53.

Tabel 6. Pengukuran pertambahan panjang

Kondisi	Beban (kg)	Panjang (m)
1	0	0.5
2	0.33	0.58
3	0.60	0.625
4	0.93	0.77
5	1.20	0.82
6	1.53	0.98



Gambar 53. Grafik pertambahan panjang terhadap pertambahan beban

Nilai k didapatkan dengan cara menurunkan nilai $y = 0.3081x + 0.4774$. Sehingga nilai k yang didapatkan adalah 0.3081N/m.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Panjang *floaters leg* yang selanjutnya digunakan untuk mengatur posisi *floaters* sangat mempengaruhi *motion* model.
2. Dari hasil percobaan didapatkan bahwa variasi B memberikan respon *pitch* terbaik dengan nilai 6,12 sedangkan variasi C memberikan respon *roll* terbaik dengan nilai 3,12.

5.2 Saran

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

1. Ketika hendak menguji gerakan *pitch* dan *roll* sebaiknya dilakukan penguncian gerakan *yaw* agar referensinya tidak berubah. Adapun untuk mengetahui gerakan *yaw* bisa dilakukan pengujian ulang tanpa ada yang dikunci namun dengan catatan nilai *pitch* dan *roll* yang didapat tidak bisa digunakan karena referensinya pasti berubah.
2. Diperlukan penyempurnaan alat ukur (IMU) agar lebih handal dan tidak mudah putus koneksi atau *shifting*.
3. Pengukuran akan lebih lengkap jika:
 - Ada variasi asimetri untuk pengujian *pitch* dan *roll*.
 - Semua parameter translasi pada 6 derajat kebebasan bisa dilakukan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. M. Wardhana, “Analisa Tegangan dan Penempatan Mooring pada Pontoon Pembangkit Tenaga Gelombang Laut - Sistem Bandulan,” 2012.
- [2] R. P. Utoyo, Analisa Dampak Temperatur Serta pH terhadap Produksi Biogas pada Bioreaktor Anaerob, Suruabaya, 2015.
- [3] Romadhoni, “ANALISA OLAH GERAK KAPAL DI GELOMBANG REGULER,” p. 8, 2016.
- [4] A. Muetze dan J. G. Vining, “Ocean Wave Energy Conversion – A Survey,” p. 8, 2005.
- [5] R. F. Kusuma, Simulasi Respon Gerak Ponton Trimaran pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang, Surabaya: -, 2014.
- [6] T. R. Arvisa, Uji Eksperimen Respon Gerakan Ponton Trimaran untuk Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang, Surabaya: -, 2014.
- [7] D. K. Aji, “Artikel,” 20 July 2014. [Online]. Available: <https://ugmmagatrika.wordpress.com>.
- [8] E. B. Djatmiko, Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak, Surabaya: ITS Press, 2012.
- [9] O. P. Hentschel, L. P.-v. Scheidt, J. Wallaschek dan M. Denk, “Introduction and Evaluation of a Damping Determination Method Based on the short-Term Fourier Transform and Resampling,” *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, p. 13, 2015.
- [10] MIT, “Introduction to Frequency Domain Processing,” p. 55.

Halaman ini sengaja dikosongkan

,LAMPIRAN

Variasi : A
 Sampling : 20

No	X(Pitch)	Y(Roll)	N	X(Pitch)	Y(Roll)	No	X(Pitch)	Y(Roll)
1	2.03	0.72	39	-0.16	-0.03	77	-5.56	-3.78
2	2.19	0.75	40	0.06	-0.03	78	-5.19	-3.25
3	2.28	0.81	41	0.19	0	79	-4.41	-2.44
4	2.19	0.91	42	0.31	0.06	80	-3.31	-1.41
5	1.72	0.84	43	0.56	0.19	81	-2.25	-0.62
6	0.66	0.44	44	0.81	0.28	82	-1.03	0.12
7	-0.59	-0.12	45	1.22	0.38	83	0.09	0.75
8	-2.09	-0.94	46	1.66	0.44	84	1.22	1.22
9	-3.41	-1.78	47	2.06	0.44	85	2	1.53
10	-4.66	-2.72	48	2.34	0.34	86	2.28	1.56
11	-5.12	-3.34	49	2.25	0.22	87	2	1.28
12	-4.91	-3.38	50	1.69	-0.06	88	1.75	0.97
13	-4.34	-3.19	51	0.78	-0.44	89	1.12	0.53
14	-3.16	-2.56	52	-0.47	-0.97	90	0.19	-0.03
15	-1.56	-1.62	53	-1.84	-1.44	91	-0.88	-0.59
16	0.12	-0.56	54	-3.34	-1.94	92	-1.84	-1
17	1.66	0.34	55	-4.41	-2.19	93	-2.5	-1.19
18	3.16	1.09	56	-5.03	-2.28	94	-2.47	-1.09
19	3.75	1.34	57	-5.09	-2.09	95	-1.69	-0.66
20	4.16	1.28	58	-4.56	-1.56	96	-0.5	-0.09
21	4	0.91	59	-4.06	-1.19	97	0.91	0.53
22	3.38	0.47	60	-3.22	-0.66	98	2.19	1.03
23	2.22	-0.03	61	-1.69	0	99	3.06	1.38
24	0.78	-0.53	62	-0.22	0.44	10	3.31	1.41
25	-0.47	-0.88	63	1.09	0.72	10	2.88	1.22
26	-1.5	-1.16	64	1.94	0.75	10	1.91	0.81
27	-2.09	-1.34	65	2.25	0.62	10	0.44	0.22
28	-2.16	-1.38	66	2.22	0.56	10	-1	-0.5
29	-1.88	-1.28	67	2.53	0.91	10	-2.28	-1.19
30	-1.41	-1.12	68	2.88	1.34	10	-3.44	-1.91
31	-1.03	-0.97	69	2.72	1.59	10	-4.38	-2.62
32	-0.78	-0.72	70	1.91	1.34	10	-4.75	-3
33	-0.72	-0.5	71	0.81	0.69	10	-4.75	-3.09
34	-0.78	-0.28	72	-0.75	-0.44	11	-4.47	-2.94
35	-0.78	-0.09	73	-2.25	-1.59	11	-4.44	-2.91
36	-0.75	0.03	74	-4	-2.88	11	-3.84	-2.47
37	-0.62	0.03	75	-5.09	-3.66	11	-3.03	-1.81
38	-0.38	0	76	-5.56	-3.97	11	-1.88	-0.94
No	X(Pitch)	Y(Roll)	No	X(Pitch)	Y(Roll)	No	X(Pitch)	Y(Roll)
115	-0.97	-0.31	157	3.16	1.72	199	-2.41	-1.12

116	-0.12	0.22	158	2.41	1.41	200	-1.84	-0.69
117	0.38	0.47	159	1.19	0.94	201	-1.09	-0.22
118	0.78	0.53	160	0	0.38	202	-0.66	-0.03
119	1.19	0.5	161	-1.56	-0.38	203	-0.31	-0.06
120	1.47	0.38	162	-3.19	-1.28	204	-0.31	-0.25
121	1.62	0.31	163	-4.28	-2.12	205	-0.44	-0.66
122	1.66	0.28	164	-4.75	-2.62	206	-0.69	-1.12
123	1.97	0.53	165	-5.34	-3.28	207	-0.81	-1.47
124	2.69	1.03	166	-5.81	-3.72	208	-0.69	-1.62
125	3.34	1.69	167	-5.47	-3.59	209	-0.34	-1.59
126	3.84	2.31	168	-3.81	-2.66	210	0.28	-1.25
127	3.97	2.62	169	-1.75	-1.44	211	0.97	-0.81
128	4.5	2.94	170	-0.16	-0.41	212	1.59	-0.31
129	4.66	2.88	171	0.81	0.34	213	1.94	0.19
130	4.12	2.44	172	1.59	0.91	214	1.84	0.41
131	2.34	1.28	173	1.94	1.12	215	1.19	0.44
132	0.03	-0.22	174	2.19	1.16	216	0.22	0.22
133	-2.28	-1.69	175	2.38	1.12	217	-0.81	-0.16
134	-4.41	-3.09	176	2.5	1.03	218	-1.72	-0.56
135	-6.41	-4.41	177	2.47	0.88	219	-2.56	-1
136	-7.25	-4.97	178	2.25	0.69	220	-3	-1.34
137	-7.34	-5	179	1.88	0.56	221	-3.12	-1.53
138	-6.69	-4.5	180	1.91	0.56	222	-3	-1.47
139	-5.78	-3.78	181	1.88	0.53	223	-2.56	-1.16
140	-5.09	-3.22	182	1.97	0.56	224	-1.94	-0.66
141	-3.78	-2.41	183	2.09	0.69	225	-1.22	-0.03
142	-1.84	-1.31	184	2.28	0.94	226	-0.62	0.53
143	0.31	-0.06	185	2.53	1.28	227	-0.22	0.91
144	2.41	1.09	186	2.72	1.69	228	0	1.09
145	3.81	2	187	2.66	1.97	229	0	1.03
146	4.62	2.47	188	2.31	1.97	230	-0.09	0.75
147	5.25	2.66	189	1.69	1.69	231	-0.25	0.28
148	5.62	2.69	190	0.75	1.12	232	-0.41	-0.25
149	5.88	2.66	191	-0.03	0.53	233	-0.62	-0.78
150	5.94	2.56	192	-0.81	-0.09	234	-0.75	-1.22
151	5.09	2.25	193	-1.59	-0.75	235	-0.62	-1.41
152	5	2.31	194	-2.25	-1.31	236	-0.31	-1.28
153	5.47	2.62	195	-2.78	-1.69	237	0.09	-1.03
154	5.22	2.59	196	-3.09	-1.88	238	0.34	-0.69
155	4.69	2.44	197	-3.09	-1.78	239	0.31	-0.47
156	3.88	2.06	198	-2.94	-1.56	240	-0.06	-0.41
No	X(Pitch)	Y(Roll)	No	X(Pitch)	Y(Roll)	No	X(Pitch)	Y(Roll)
241	-0.62	-0.5	283	-0.81	-1.25	325	-1.5	-1.06
242	-1.38	-0.78	284	-0.53	-1.12	326	-1.22	-0.84
243	-2.03	-1.06	285	-0.12	-0.75	327	-0.97	-0.62

244	-2.47	-1.34	286	0.41	-0.22	328	-0.56	-0.34
245	-2.56	-1.53	287	0.97	0.25	329	-0.09	-0.03
246	-2.47	-1.66	288	1.38	0.69	330	0.5	0.41
247	-2.09	-1.66	289	1.56	0.88	331	1.31	0.88
248	-1.66	-1.59	290	1.47	0.84	332	2.03	1.31
249	-1.34	-1.41	291	1.06	0.59	333	2.72	1.69
250	-1.03	-1.09	292	0.47	0.25	334	3.03	1.88
251	-0.78	-0.72	293	-0.09	-0.12	335	3.12	1.91
252	-0.44	-0.25	294	-0.69	-0.59	336	2.84	1.72
253	-0.09	0.19	295	-1.34	-1.12	337	2.47	1.38
254	0.34	0.59	296	-2	-1.72	338	2.06	0.94
255	0.81	0.84	297	-2.62	-2.31	339	1.59	0.44
256	1.09	0.91	298	-2.97	-2.56	340	1.12	0
257	1.16	0.72	299	-3.06	-2.59	341	0.56	-0.41
258	0.94	0.47	300	-2.97	-2.44	342	0.06	-0.62
259	0.56	0.16	301	-2.44	-1.84	343	-0.81	-0.84
260	0.03	-0.16	302	-1.5	-0.97	344	-2.12	-1.12
261	-0.22	-0.28	303	-0.25	0.09	345	-3.56	-1.5
262	-0.53	-0.31	304	0.69	0.78	346	-4.34	-1.69
263	-0.78	-0.31	305	1.56	1.31	347	-4.5	-1.72
264	-1.09	-0.44	306	2.06	1.38	348	-4.09	-1.69
265	-1.41	-0.62	307	2.22	1.25	349	-3.28	-1.5
266	-1.66	-0.88	308	2.12	0.94	350	-1.97	-1.19
267	-1.84	-1.19	309	1.78	0.5	351	-0.78	-0.91
268	-1.84	-1.38	310	1.38	0.19	352	0.16	-0.72
269	-1.69	-1.41	311	1.03	-0.06	353	0.56	-0.62
270	-1.41	-1.38	312	0.88	-0.09	354	0.53	-0.62
271	-0.97	-1.12	313	0.78	-0.03	355	0.25	-0.56
272	-0.59	-0.78	314	0.66	0.03	356	-0.22	-0.56
273	-0.19	-0.31	315	0.5	0.09	357	-0.81	-0.47
274	0.09	0.16	316	0.19	0.03	358	-1.31	-0.41
275	0.19	0.56	317	-0.16	-0.19	359	-1.62	-0.41
276	0.25	0.75	318	-0.72	-0.56	360	-1.59	-0.34
277	0.16	0.72	319	-1.25	-0.97	361	-1.03	-0.16
278	-0.03	0.47	320	-1.72	-1.34	362	-0.16	0.19
279	-0.22	0	321	-2	-1.59	363	0.78	0.5
280	-0.5	-0.41	322	-2.12	-1.69	364	1.75	0.81
281	-0.72	-0.88	323	-2.06	-1.59	365	1.78	0.78
282	-0.81	-1.16	324	-1.81	-1.34	366	1.41	0.59
No	X(Pitch)	Y(Roll)	No	X(Pitch)	Y(Roll)	No	X(Pitch)	Y(Roll)
367	1.88	0.69	379	-1.59	-0.41	391	1.78	0.97
368	1.88	0.59	380	-1.56	-0.62	392	2.16	0.91
369	1.47	0.28	381	-1.88	-1.19	393	2.56	0.72
370	0.66	-0.25	382	-2.09	-1.72	394	2.84	0.44
371	-0.5	-1.03	383	-2.03	-2.06	395	2.78	0.12

372	-1.91	-1.84
373	-3.12	-2.41
374	-4.06	-2.69
375	-4.44	-2.59
376	-3.78	-1.94
377	-2.88	-1.16
378	-2.06	-0.62

384	-1.78	-2.12
385	-1.34	-1.88
386	-0.84	-1.38
387	-0.38	-0.78
388	0.16	-0.03
389	0.69	0.5
390	1.28	0.88

396	2.31	-0.28
397	1.5	-0.59
398	0.5	-0.91
399	-0.31	-1.03
400	-0.62	-0.91
401	-0.62	-0.53

Variasi : B
Sampling : 20

No	X(Pitch)	Y(Roll)
1	-2.72	-0.28
2	-2.53	-0.38
3	-2.59	-0.56
4	-2.44	-0.72
5	-2.09	-0.84
6	-1.75	-0.88
7	-1.25	-0.78
8	-0.97	-0.66
9	-0.66	-0.41
10	-0.12	0.16
11	0.44	0.75
12	1.16	1.38
13	1.75	1.62
14	2.5	1.44
15	2.94	0.81
16	3.81	0.06
17	4.47	-0.81
18	4.56	-1.31
19	4.25	-1.41
20	3.59	-1.03
21	2.69	-0.09
22	1.88	0.81
23	1.09	1.59
24	0.59	1.84
25	0.28	1.53
26	0.28	0.94
27	0.28	0.19
28	0.28	-0.56
29	0.34	-0.88
30	0.34	-0.69
31	0.47	0
32	0.75	1.06
33	1.12	1.97
34	1.53	2.47
35	1.72	2.38
36	1.78	1.66
37	1.81	0.72
38	1.31	-0.44

No	X(Pitch)	Y(Roll)
39	0.88	-1.56
40	0.31	-2.31
41	-0.5	-2.78
42	-1.41	-2.94
43	-2.5	-2.69
44	-4.03	-2.28
45	-5.53	-1.81
46	-6.81	-1.41
47	-6.91	-0.91
48	-5.5	-0.41
49	-3.69	0.06
50	-2.03	0.34
51	-0.25	0.75
52	1.44	1.12
53	2.72	1.56
54	3.72	1.97
55	4.28	2.16
56	4.69	2.09
57	4.75	1.78
58	5.34	1.41
59	6.12	1
60	5.81	0.53
61	5.03	0.09
62	4	-0.16
63	2.34	-0.41
64	0.56	-0.72
65	-1.41	-1.12
66	-3.75	-1.81
67	-5	-2.38
68	-5.59	-2.69
69	-5.53	-2.69
70	-4.94	-2.25
71	-4.41	-1.59
72	-4.12	-0.69
73	-3.5	0.09
74	-2.31	0.75
75	-1.06	1.12
76	0.31	1.22

No	X(Pitch)	Y(Roll)
77	1.88	1.06
78	3.16	0.88
79	4.12	0.66
80	4.53	0.56
81	4.56	0.5
82	4.25	0.47
83	3.84	0.53
84	3.5	0.53
85	3.09	0.47
86	2.62	0.28
87	2.09	0
88	1.28	-0.34
89	0.41	-0.59
90	-0.62	-0.78
91	-1.66	-0.88
92	-2.5	-0.91
93	-2.97	-0.78
94	-2.94	-0.59
95	-2.72	-0.38
96	-2.47	-0.19
97	-2.22	-0.06
98	-2.09	-0.06
99	-2.06	-0.12
100	-1.94	-0.28
101	-1.62	-0.38
102	-1.06	-0.34
103	-0.38	-0.22
104	0.31	0.03
105	1.12	0.44
106	1.69	0.81
107	2.06	1.12
108	2.28	1.19
109	2.41	0.97
110	2.47	0.47
111	2.56	-0.22
112	2.53	-0.88
113	2.19	-1.5
114	1.56	-1.81

No	X(Pitch)	Y(Roll)
115	0.62	-1.78

No	X(Pitch)	Y(Roll)
157	1.34	0.41

No	X(Pitch)	Y(Roll)
199	0.28	-1.84

116	-0.25	-1.44	158	0.56	-0.22	200	0.62	-1.69
117	-1.09	-0.75	159	-0.31	-1	201	0.84	-1.06
118	-1.53	0.12	160	-1.09	-1.53	202	0.91	-0.06
119	-1.44	0.94	161	-1.84	-1.84	203	1	0.78
120	-0.97	1.59	162	-2.25	-1.84	204	1.16	1.44
121	-0.34	1.75	163	-2.44	-1.41	205	1.34	1.81
122	0.12	1.38	164	-2.5	-0.78	206	1.47	1.72
123	0.31	0.56	165	-2.38	0.03	207	2	1.19
124	0.25	-0.41	166	-2.09	0.78	208	2.75	0.34
125	0.44	-1.25	167	-1.59	1.19	209	3.19	-0.5
126	0.59	-1.75	168	-0.81	1.28	210	3.06	-1.28
127	0.81	-1.75	169	0.09	1.06	211	2.56	-1.94
128	1.03	-1.28	170	1.09	0.56	212	1.94	-2.28
129	1.19	-0.47	171	1.84	0	213	0.81	-2.28
130	1.09	0.44	172	2.38	-0.59	214	-0.28	-1.94
131	0.69	1.22	173	2.62	-1.09	215	-1.72	-1.19
132	0.09	1.62	174	2.53	-1.47	216	-2.94	-0.16
133	-0.69	1.56	175	2.28	-1.66	217	-3.19	0.69
134	-1.5	1.16	176	1.94	-1.56	218	-3.09	1.47
135	-2.25	0.56	177	1.47	-1.22	219	-2.75	2.06
136	-2.78	-0.12	178	1.03	-0.66	220	-2.25	2.25
137	-2.91	-0.75	179	0.66	0	221	-1.72	1.94
138	-2.66	-1.19	180	0.34	0.69	222	-1.12	1.22
139	-2.28	-1.31	181	0.16	1.25	223	-0.72	0.47
140	-2.03	-1.12	182	0.03	1.5	224	-0.34	-0.28
141	-1.94	-0.53	183	-0.03	1.38	225	-0.06	-0.75
142	-1.91	0.25	184	-0.19	0.91	226	0.28	-0.88
143	-1.81	1.06	185	-0.5	0.28	227	0.66	-0.59
144	-1.47	1.66	186	-0.84	-0.31	228	1	-0.12
145	-0.84	1.84	187	-1.28	-0.78	229	1.47	0.59
146	0.09	1.62	188	-1.5	-0.84	230	1.78	1.06
147	1.12	1.12	189	-1.5	-0.5	231	2	1.31
148	2.28	0.44	190	-1.56	0.25	232	2.06	1.22
149	3.16	-0.09	191	-1.56	1.25	233	1.97	0.78
150	3.75	-0.41	192	-1.31	1.88	234	2.16	0
151	3.97	-0.34	193	-1	2.12	235	2.28	-0.75
152	4	0.06	194	-0.75	1.84	236	2.5	-1.38
153	3.81	0.5	195	-0.62	1.16	237	2.56	-1.88
154	3.47	0.94	196	-0.47	0.09	238	2.41	-2
155	2.91	1.12	197	-0.28	-0.78	239	1.81	-1.84
156	2.25	0.94	198	0	-1.53	240	0.97	-1.47
No	X(Pitch)	Y(Roll)	No	X(Pitch)	Y(Roll)	No	X(Pitch)	Y(Roll)
241	-0.12	-0.91	283	-2.5	-0.03	325	2.41	-1.12
242	-1.22	-0.19	284	-2.97	0.56	326	3.06	-1.25
243	-2.03	0.59	285	-3.25	1	327	3.38	-0.97

244	-2.31	1.25	286	-3.41	1.16	328	3.41	-0.44
245	-2.19	1.84	287	-3.34	1.03	329	2.84	0.12
246	-1.62	2.22	288	-3.03	0.78	330	2.09	0.47
247	-0.91	2.28	289	-2.25	0.41	331	1.09	0.53
248	-0.16	1.88	290	-1.31	0.09	332	0.09	0.31
249	0.12	1.19	291	0.03	-0.12	333	-0.56	-0.09
250	-0.03	0.19	292	1.31	-0.25	334	-0.91	-0.56
251	-0.44	-0.69	293	2.53	-0.25	335	-0.91	-0.78
252	-1.12	-1.44	294	3.56	-0.16	336	-0.56	-0.72
253	-1.66	-1.94	295	4	-0.09	337	-0.25	-0.31
254	-1.75	-2.03	296	4.03	-0.03	338	0	0.31
255	-1.69	-1.5	297	3.84	-0.03	339	0.06	0.94
256	-1.44	-0.47	298	3.44	-0.19	340	-0.03	1.41
257	-1.12	0.81	299	3.09	-0.41	341	-0.12	1.53
258	-0.5	1.91	300	2.72	-0.69	342	-0.12	1.31
259	0.06	2.28	301	2.31	-0.94	343	0.19	0.81
260	0.41	2	302	1.69	-1	344	0.62	0.28
261	0.59	1.22	303	1	-0.94	345	1.22	-0.12
262	1.12	0.03	304	0.28	-0.53	346	1.66	-0.28
263	1.75	-1.19	305	-0.25	0	347	1.69	-0.25
264	2.44	-2.19	306	-0.56	0.66	348	1.22	-0.03
265	2.81	-2.69	307	-0.62	1.25	349	0.31	0.22
266	2.84	-2.75	308	-0.56	1.5	350	-0.69	0.38
267	2.28	-2.25	309	-0.56	1.38	351	-1.81	0.38
268	1.22	-1.28	310	-0.59	0.78	352	-2.53	0.22
269	0.06	-0.12	311	-0.84	-0.03	353	-2.59	0
270	-0.78	0.97	312	-1.19	-0.81	354	-2	-0.12
271	-0.97	1.75	313	-1.69	-1.41	355	-1.19	-0.06
272	-0.56	2.03	314	-2.06	-1.62	356	-0.16	0.19
273	0.31	1.84	315	-2.22	-1.5	357	0.59	0.5
274	1.56	1.31	316	-2.25	-0.88	358	0.94	0.72
275	2.66	0.41	317	-2.09	-0.12	359	0.91	0.72
276	2.94	-0.34	318	-1.94	0.88	360	0.59	0.34
277	2.72	-1.16	319	-1.69	1.5	361	0.25	-0.28
278	2.22	-1.66	320	-1.25	1.81	362	0.09	-1.06
279	1.53	-1.88	321	-0.72	1.56	363	0.09	-1.78
280	0.59	-1.78	322	-0.09	0.94	364	0.22	-2.16
281	-0.38	-1.41	323	0.56	0.19	365	0.31	-2.06
282	-1.44	-0.78	324	1.41	-0.53	366	0.41	-1.5
No	X(Pitch)	Y(Roll)	No	X(Pitch)	Y(Roll)	No	X(Pitch)	Y(Roll)
367	0.22	-0.38	379	1.31	0.31	391	-1.81	0.28
368	0.06	0.75	380	0.34	1.31	392	-1.84	0.44
369	-0.09	1.81	381	-0.38	1.81	393	-1.53	0.44
370	-0.12	2.19	382	-0.97	1.91	394	-0.72	0.25
371	0	1.91	383	-1.34	1.56	395	0.44	-0.03

372	0.22	1.19
373	0.94	0
374	1.59	-1
375	2.19	-1.72
376	2.5	-1.94
377	2.5	-1.53
378	1.97	-0.66

384	-1.38	0.81
385	-1.28	0.16
386	-1.09	-0.44
387	-0.91	-0.78
388	-0.81	-0.84
389	-0.94	-0.56
390	-1.44	-0.16

396	1.84	-0.28
397	3.16	-0.34
398	4.09	-0.12
399	4.56	0.25
400	4.53	0.66
401	4.09	0.94

Variasi : C
 Sampling : 20

N	X(Pitch)	Y(Roll)
1	1.59	1.28
2	1.38	1.72
3	0.88	1.78
4	0.28	1.44
5	-0.5	0.69
6	-1.12	-0.03
7	-1.75	-0.81
8	-2.09	-1.38
9	-2.06	-1.66
10	-1.84	-1.53
11	-1.62	-1
12	-1.34	-0.25
13	-1.12	0.62
14	-0.81	1.34
15	-0.38	1.78
16	0.22	1.81
17	0.88	1.5
18	1.38	0.88
19	1.72	0.06
20	1.88	-0.75
21	1.84	-1.34
22	1.69	-1.75
23	1.41	-1.75
24	0.81	-1.34
25	0.03	-0.81
26	-0.84	-0.06
27	-1.66	0.59
28	-2.38	1.12
29	-2.81	1.47
30	-2.75	1.59
31	-2.16	1.53
32	-1.28	1.41
33	-0.03	1.12
34	1.16	0.88
35	2.19	0.62
36	3	0.34
37	3.34	0
38	3.25	-0.38

N	X(Pitch)	Y(Roll)
39	2.97	-0.72
40	2.5	-1.12
41	1.94	-1.44
42	1.44	-1.66
43	0.72	-1.72
44	-0.03	-1.59
45	-0.91	-1.34
46	-1.81	-0.97
47	-2.62	-0.56
48	-3.25	-0.09
49	-3.62	0.28
50	-3.84	0.69
51	-3.84	0.94
52	-3.59	1.06
53	-3.16	1.06
54	-2.53	0.94
55	-1.94	0.75
56	-1.34	0.59
57	-0.75	0.44
58	-0.16	0.41
59	0.56	0.44
60	1.41	0.56
61	2.34	0.69
62	3.09	0.78
63	3.75	0.75
64	4.06	0.56
65	3.97	0.19
66	3.66	-0.34
67	3.22	-0.91
68	2.84	-1.38
69	2.47	-1.66
70	2.03	-1.66
71	1.44	-1.41
72	0.78	-0.88
73	0	-0.16
74	-0.53	0.5
75	-0.97	1.16
76	-1.19	1.59

No	X(Pitch)	Y(Roll)
77	-1.12	1.75
78	-0.97	1.62
79	-0.91	1.16
80	-1.06	0.34
81	-1.44	-0.59
82	-2.12	-1.66
83	-2.81	-2.44
84	-3.53	-3.09
85	-3.81	-3.31
86	-3.75	-3.12
87	-3.69	-2.47
88	-3.56	-1.34
89	-4.38	-0.03
90	-4.91	1.22
91	-4.75	2.28
92	-3.78	2.78
93	-2.06	2.75
94	-0.25	2.34
95	1.72	1.5
96	3.03	0.62
97	3.84	-0.44
98	4.09	-1.41
99	4.28	-2.28
10	5.12	-2.84
10	5.66	-2.91
10	5.84	-2.38
10	5.25	-1.47
10	4.41	-0.31
10	3.16	0.59
10	1.59	1.06
10	-0.22	1.03
10	-1.84	0.62
10	-3.25	0.03
11	-3.97	-0.5
11	-3.91	-0.75
11	-3.19	-0.59
11	-2.16	-0.16
11	-1.19	0.47

No	X(Pitch)	Y(Roll)
11	-0.56	1.09
11	-0.31	1.31
11	-0.34	1.12
11	-0.53	0.62
11	-0.69	-0.06
12	-0.66	-0.78
12	-0.34	-1.31
12	0.22	-1.62
12	0.72	-1.62
12	1.06	-1.25
12	0.94	-0.69
12	0.41	0.03
12	-0.28	0.72
12	-0.88	1.12
12	-1.31	1.19
13	-1.31	0.88
13	-0.84	0.38
13	-0.09	-0.03
13	0.97	-0.19
13	1.88	0.03
13	2.69	0.59
13	3.22	1.31
13	3.41	1.91
13	3.25	2.09
13	2.84	1.78
14	2.16	0.97
14	1.62	0.06
14	1.25	-0.94
14	1.16	-1.59
14	1.09	-1.97
14	0.84	-1.84
14	0.31	-1.38
14	-0.34	-0.59
14	-1.22	0.22
14	-2.25	0.81
15	-3.25	1.06
15	-4.09	0.84
15	-4.66	0.38
15	-4.81	-0.25
15	-4.41	-0.72
15	-3.62	-1
15	-2.72	-0.88
No	X(Pitch)	Y(Roll)
24	0.12	0

No	X(Pitch)	Y(Roll)
15	-1.91	-0.34
15	-1.5	0.5
15	-1.28	1.22
16	-1.12	1.75
16	-1	1.84
16	-0.78	1.44
16	-0.31	0.72
16	0.41	-0.09
16	1.44	-0.69
16	2.47	-0.91
16	3.69	-0.5
16	4.62	0.28
16	5.38	1.38
17	5.38	2.12
17	4.94	2.34
17	3.91	1.78
17	3.47	0.75
17	2.78	-0.59
17	2.72	-1.72
17	2.59	-2.53
17	2.38	-2.84
17	1.72	-2.78
17	1	-2.38
18	0	-1.5
18	-1.69	-0.53
18	-3.47	0.47
18	-4.53	0.97
18	-5.31	1.12
18	-5.38	0.94
18	-4.66	0.56
18	-3.66	0.19
18	-2.44	-0.16
18	-1.47	-0.28
19	-1	-0.19
19	-0.88	0.12
19	-0.78	0.5
19	-0.66	1
19	-0.28	1.38
19	0.59	1.56
19	1.66	1.5
19	2.97	1.16
19	3.97	0.66
No	X(Pitch)	Y(Roll)
28	0.47	0.78

No	X(Pitch)	Y(Roll)
19	4.78	0.09
20	4.97	-0.44
20	4.66	-0.81
20	4.06	-1.06
20	3.44	-1.09
20	2.97	-1.03
20	2.66	-0.81
20	2.25	-0.5
20	1.56	-0.16
20	0.66	0.12
20	-0.59	0.34
21	-1.75	0.41
21	-2.78	0.5
21	-3.44	0.53
21	-3.53	0.66
21	-3.19	0.78
21	-2.5	0.97
21	-1.72	1
21	-1.12	0.91
21	-0.84	0.5
21	-0.91	-0.06
22	-1.28	-0.78
22	-1.69	-1.31
22	-2.03	-1.62
22	-2.16	-1.69
22	-2.03	-1.44
22	-1.69	-0.88
22	-1.38	-0.19
22	-1.19	0.62
22	-0.94	1.19
22	-0.56	1.5
23	-0.06	1.47
23	0.5	1.16
23	1.22	0.62
23	1.78	0.03
23	2.38	-0.59
23	2.78	-0.97
23	3.12	-1.12
23	3.22	-1.03
23	3.03	-0.66
23	2.53	-0.31
24	1.56	-0.06
No	X(Pitch)	Y(Roll)
32	2.53	-0.88

24	-1.56	-0.25	28	0.97	0.56	32	2.12	-1.03
24	-3.28	-0.69	28	1.38	0.25	32	1.62	-0.94
24	-4.69	-1.25	28	1.72	-0.16	32	1.09	-0.66
24	-5.34	-1.78	28	2	-0.53	32	0.44	-0.19
24	-5.34	-1.91	28	2.28	-0.81	33	-0.34	0.28
24	-5.38	-1.38	28	2.5	-1	33	-0.97	0.69
24	-5.72	-0.12	29	2.69	-0.97	33	-1.78	1.03
24	-5.56	1.31	29	2.78	-0.75	33	-2.44	1.22
25	-4.94	2.5	29	2.78	-0.38	33	-3	1.25
25	-3.88	3.12	29	2.72	0.09	33	-3.22	1.19
25	-2.53	3.06	29	2.53	0.5	33	-3.09	1
25	-1.09	2.41	29	2.28	0.75	33	-2.62	0.81
25	0.19	1.47	29	1.91	0.78	33	-1.94	0.56
25	1.44	0.5	29	1.5	0.66	33	-1.12	0.34
25	2.53	-0.41	29	1.22	0.41	34	-0.25	0.16
25	3.41	-1.19	29	1.03	0.16	34	0.53	0.03
25	4.09	-1.81	30	0.94	-0.03	34	1.19	-0.12
25	4.5	-2.19	30	0.91	-0.03	34	1.53	-0.31
26	4.59	-2.22	30	0.88	0.09	34	1.66	-0.56
26	4.22	-1.81	30	0.72	0.28	34	1.53	-0.88
26	3.5	-1.25	30	0.41	0.47	34	1.19	-1.28
26	2.5	-0.62	30	-0.09	0.47	34	0.78	-1.62
26	1.12	0.03	30	-0.66	0.34	34	0.41	-1.84
26	-0.12	0.5	30	-1.31	0.09	34	0.19	-1.81
26	-1.28	0.84	30	-1.97	-0.19	35	0.16	-1.44
26	-2.06	0.94	30	-2.41	-0.44	35	0.34	-0.62
26	-2.53	0.94	31	-2.56	-0.53	35	0.66	0.25
26	-2.62	0.84	31	-2.5	-0.47	35	1.09	1.19
27	-2.56	0.72	31	-2.31	-0.25	35	1.19	1.62
27	-2.41	0.69	31	-2.06	0	35	0.97	1.56
27	-2.34	0.62	31	-1.75	0.28	35	0.34	1
27	-2.41	0.56	31	-1.5	0.44	35	-0.44	0.22
27	-2.53	0.44	31	-1.06	0.5	35	-1.25	-0.69
27	-2.69	0.28	31	-0.62	0.53	35	-1.62	-1.28
27	-2.72	0.19	31	0.16	0.53	36	-1.66	-1.56
27	-2.62	0.12	31	0.97	0.47	36	-1.31	-1.47
27	-2.31	0.12	32	1.84	0.38	36	-0.69	-0.91
27	-1.88	0.25	32	2.56	0.22	36	-0.44	0.09
28	-1.25	0.44	32	2.97	0	36	-0.31	1.41
28	-0.69	0.66	32	3.09	-0.34	36	-0.31	2.28
28	-0.06	0.78	32	2.94	-0.62	36	-0.31	2.72

No	X(Pitch)	Y(Roll)
36	-0.38	2.62
36	-0.47	2.03

No	X(Pitch)	Y(Roll)
37	-2.41	1.25
38	-2.59	1.38

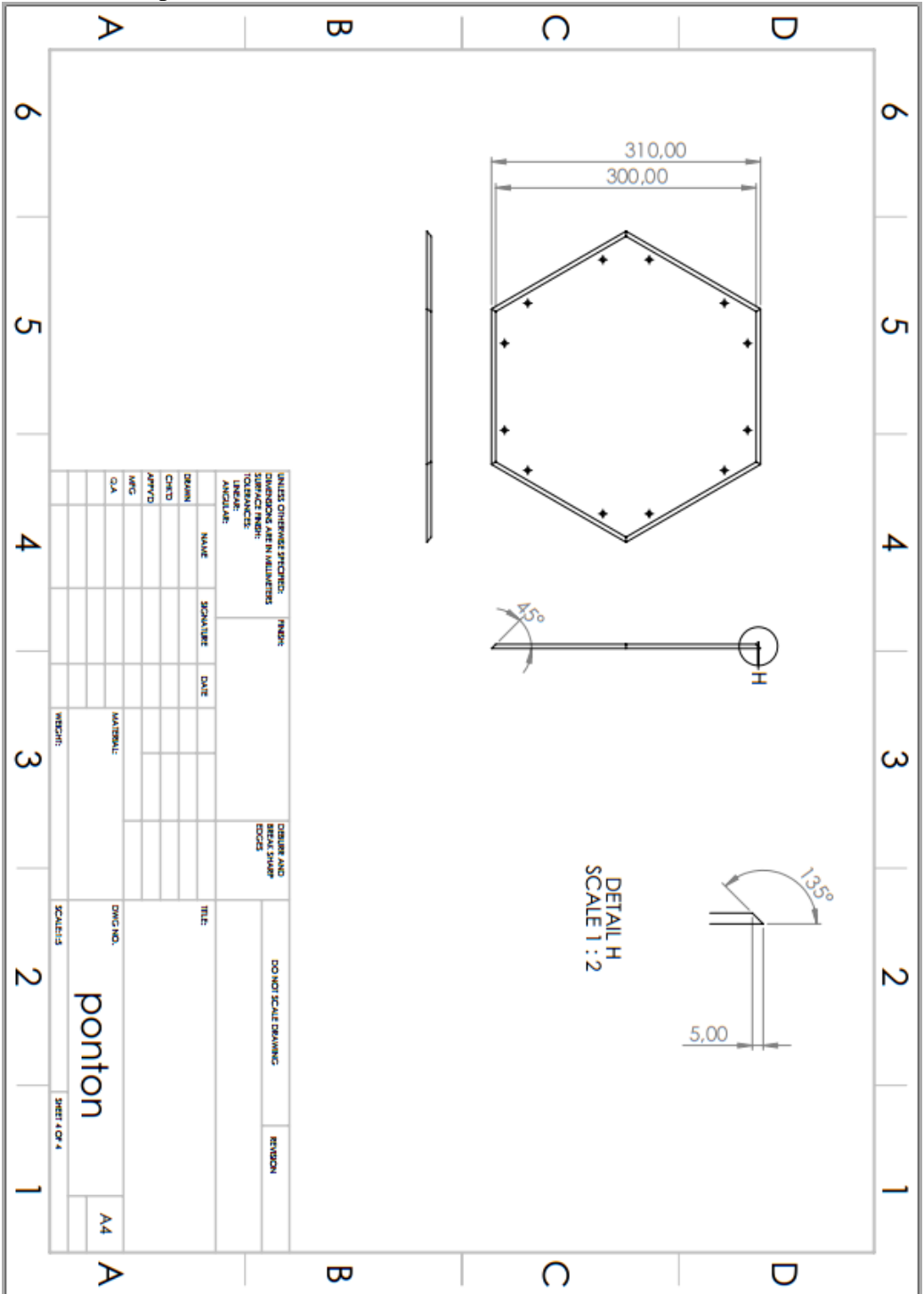
No	X(Pitch)	Y(Roll)
39	-0.75	-1.66
39	-1.31	-1.5

36	-0.34	1.31
37	-0.28	0.44
37	0.19	-0.38
37	0.75	-1.06
37	1.28	-1.56
37	1.5	-1.62
37	1.25	-1.34
37	0.53	-0.75
37	-0.56	0.09
37	-1.59	0.81

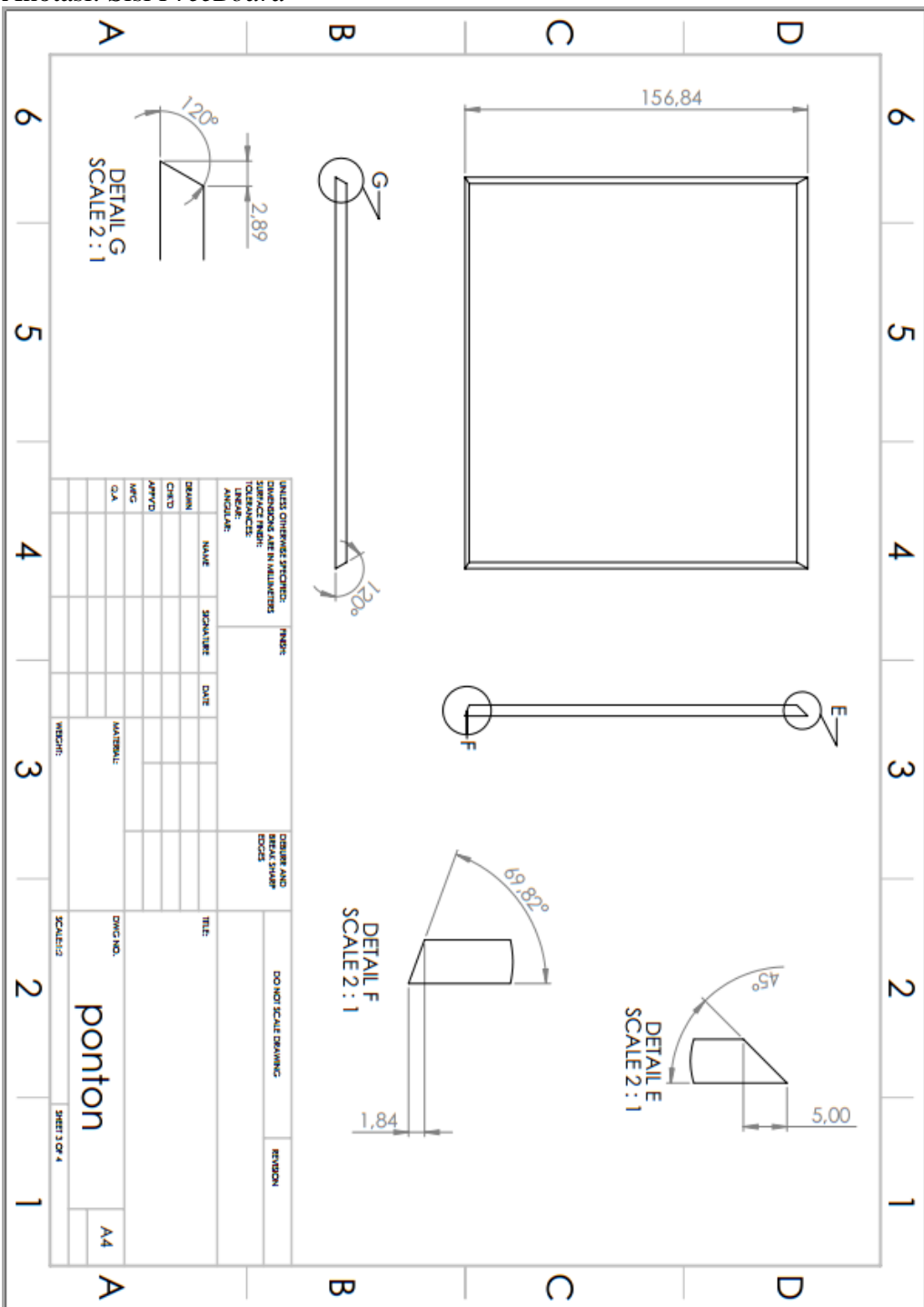
38	-2.16	1.19
38	-1.28	0.81
38	-0.09	0.38
38	1.19	-0.03
38	2.03	-0.34
38	2.34	-0.56
38	2.09	-0.84
38	1.5	-1.12
38	0.69	-1.44
39	-0.12	-1.66

39	-1.66	-1.16
39	-1.75	-0.56
39	-2.03	0.28
39	-2.19	1.19
39	-1.97	1.94
39	-1.31	2.28
39	-0.41	2.25
40	0.56	1.81
40	1.38	1.12

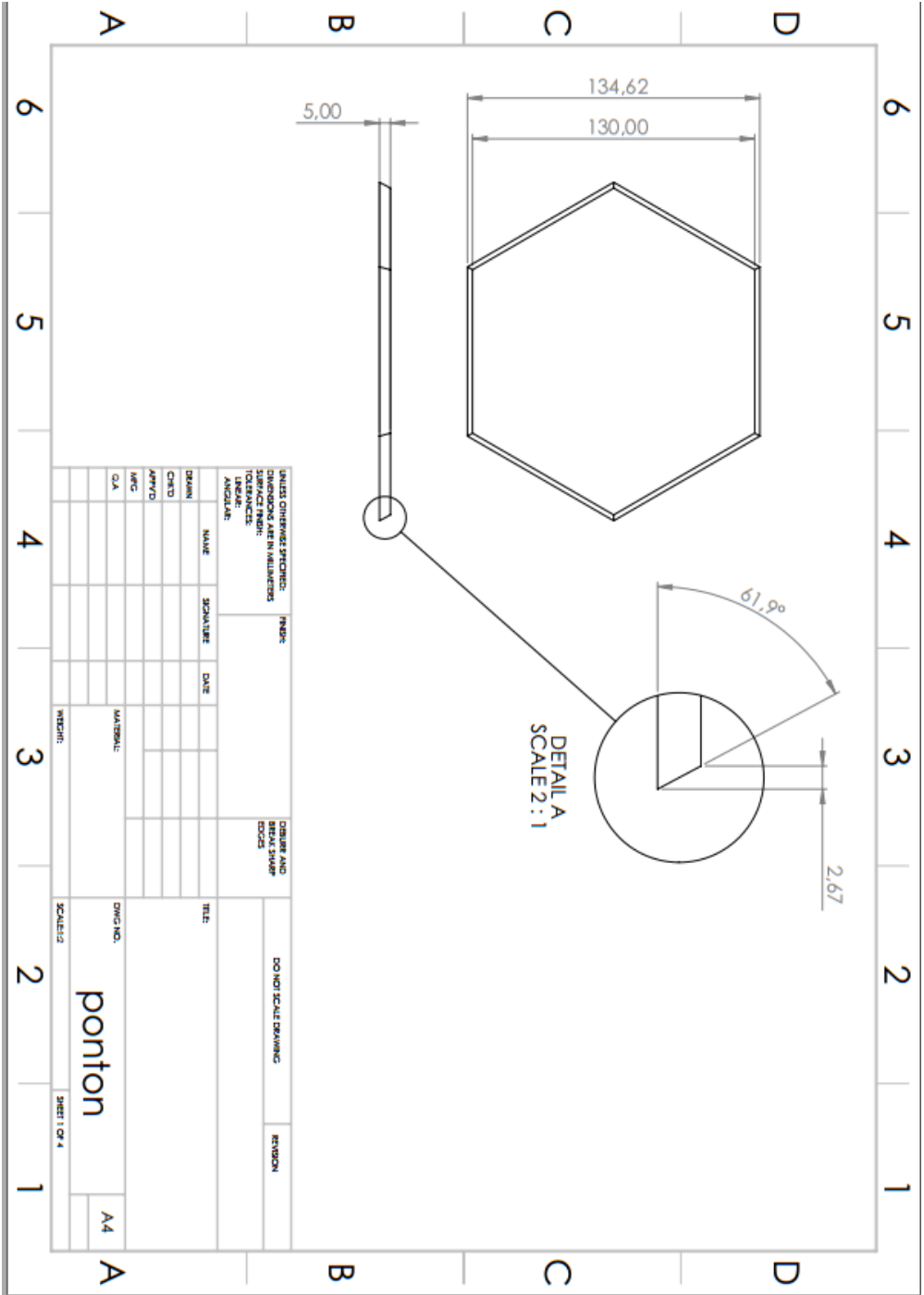
Anotasi: Tutup Pontoon



Anotasi: Sisi *FreeBoard*



Anotasi: Dasar Pontoon



Kode MATLAB untuk *convert* domain waktu ke domain frekuensi

```
data = xlsread('TimeDomain.xlsx');
time = data(:,1); % sampling time
signal = data(:,2); % signal data in Time-Domain
L=length(signal); % Length of signal
Ts=time;
Fs=41 ; % sampling frequency
NFFT = 2^nextpow2(L); % Next power of 2 from length of y
Y = fft(signal,NFFT)/L;
f = Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1)
figure(1),
plot(f,2*abs(Y(1:NFFT/2+1))); % Plot spektrum.
grid on
title('Frequency Domain');
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Spectral Density S(m2/rad/s)');
```

BIODATA PENULIS

Penulis bernama lengkap Haniefuddin Rifky. Lahir di Kebumen, 22 November 1997. Anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan formal di SDN III Tersobo, SMPN I Prembun, SMAN I Kebumen, dan Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS. Selama masa perkuliahan penulis bergabung sebagai anggota staff *Marine Manufacture and Design (MMD)*. Selain itu penulis banyak berkecimpung dalam bidang kewirausahaan kampus seperti menjadi pengurus UKM TDC dan mengikuti program-program kewirausahaan seperti IYT, KBMI, dan STP Incubator. Pada bulan Juli 2019, penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Uji Eksperimen Respon Gerak *Hexagonal Pontoon* dengan *Floater Leg* terhadap Gelombang untuk PLTGL-Sistem Bandul**. Penulis dapat dihubungi di email berikut: haniefuddinrifky@gmail.com.