TUGAS AKHIR - TF 181801

# Analisa Kestabilan Pontoon pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terapung (PLTS *Floating* PV) di PT. PJB UP Cirata

KRISNA CIPTA RASA
NRP. 02311640000066

**Dosen Pembimbing:**
**Ir. Sarwono, M.M.** **NIP. 195805301983031002**
**Erna Septyaningrum, S.T, M.T.** **NPP.1992201912073**

**Departemen Teknik Fisika**
**Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem**
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**
**Surabaya**
**2020**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**TUGAS AKHIR - TF 181801**

# ANALISA KESTABILAN PONTOON PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MATAHARI TERAPUNG (PLTS *FLOATING PV*) DI PT. PJB UP CIRATA

KRISNA CIPTA RASA
NRP. 02311640000066

Dosen Pembimbing:
Ir. Sarwono, M.M
Erna Septyaningrum, S.T, M.T

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

*FINAL PROJECT* - TF 181801

# *PONTOON STABILITY ANALYSIS OF FLOATING PV POWER PLANT IN PT. PJB UP CIRATA*

KRISNA CIPTA RASA
NRP. 02311640000066

Supervisors:
Ir. Sarwono, M.M
Erna Septyaningrum, S.T, M.T

*Department of Engineering Physics*
*Faculty of Industrial Technology and System Engineering*
*Institut Teknologi Sepuluh Nopember*
*Surabaya*
2020

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

| | |
|---|---|
| Nama | : Krisna Cipta Rasa |
| NRP | : 02311640000066 |
| Departemen / Prodi | : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika |
| Fakultas | : Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FTIRS) |
| Perguruan Tinggi | : Institut Teknologi Sepuluh Nopember |

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "**ANALISA KESTABILAN PONTOON PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MATAHARI TERAPUNG (PLTS *FLOATING PV*) DI PT. PJB UP CIRATA**" adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya-benarnya.

Surabaya, 4 Juni 2020

Yang membuat pernyataan,

Krisna Cipta Rasa

NRP. 02311640000066

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# LEMBAR PENGESAHAN

# TUGAS AKHIR

**ANALISA KESTABILAN PONTOON PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MATAHARI TERAPUNG (PLTS *FLOATING PV*) DI PT. PJB UP CIRATA**

**Oleh:**


**Krisna Cipta Rasa**

**NRP. 02311640000066**


**Surabaya, 4 Juni 2020**

| Menyetujui, | Menyetujui, |
|---|---|
| Pembimbing I | Pembimbing II |
| **Ir. Sarwono, M.M** | **Erna Septyaningrum, S.T, M.T** |
| **NIP. 195805301983031002** | **NPP. 1992201912073** |

Mengetahui,
Kepala Departemen
Teknik Fisika FTIRS-ITS

Dr. Suyanto, S.T., M.T.
NIP. 197111131995121002

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA KESTABILAN PONTOON PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MATAHARI TERAPUNG (PLTS *FLOATING PV*) DI PT. PJB UP CIRATA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Progam Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FTIRS)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**KRISNA CIPTA RASA**

**NRP. 02311640000066**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Sarwono, M.M ..... (Pembimbing I)
2. Erna Septyaningrum, S.T., M.T. ..... (Pembimbing II)
3. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T. ..... (Ketua Penguji)
4. Dr. Suyanto, S.T., M.T. ..... (Penguji I)
5. Ir. Roekmono, M.T. (Penguji II)

**SURABAYA**

**2020**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**ANALISA KESTABILAN PONTOON PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MATAHARI TERAPUNG (PLTS *FLOATING PV*) DI PT. PJB UP CIRATA**


| | | |
|---|---|---|
| **Nama** | **:** | **Krisna Cipta Rasa** |
| **NRP** | **:** | **02311640000066** |
| **Departemen** | **:** | **Teknik Fisika FTIRS - ITS** |
| **Dosen Pembimbing** | **:** | **Ir. Sarwono, M.M** |
| | | **Erna Septyaningrum, S.T, M.T.** |


# ABSTRAK


PLTS terapung merupakan sebuah pendekatan yang baru dan inovatif dalam pemasangan panel surya diatas permukaan air. Pada tugas akhir ini akan dilakukan perbandingan performa kestabilan 2 jenis ponton, ponton pertama adalah *basic pontoon floating PV* (ponton A) dan ponton kedua adalah ponton *prototype* PLTS Cirata yang akan digunakan untuk pembangunan PLTS terapung di waduk cirata (ponton B). Analisa performa kestabilan yang dilakukan berdasarkan grafik RAO dan nilai amplitudo maksimum ponton pada gerak *pitching* dan *yawing*. Dari simulasi yang telah dilakukan diketahui bahwa ponton *prototype* PLTS Cirata memiliki performa kestabilan yang lebih baik dan lebih konsisten. Pada gerak *pitching* ponton pertama memiliki performa yang lebih baik dengan selisih yang tidak begitu signifikan yaitu berkisar 1,437 – 0,244839$^{o}$. Namun ponton B memiliki performa kestabilan yang lebih baik pada gerak *yawing*, selisih nilai amplitudo maksimum ponton A dan Ponton B cukup signifikan pada variasi arah datang gelombang 45$^{o}$ dengan selisih nilai sebesar 87,051633. Pada variasi susunan panel surya ponton A dan ponton B memiliki hasil yang berbeda, dimana variasi susunan panel surya tidak begitu mempengaruhi kestabilan ponton B.



**Kata Kunci: PLTS terapung, Respon Amplitudo Operator, *pitching, yawing***

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

***PONTOON STABILITY ANALYSIS OF FLOATING PV POWER PLANT IN PT. PJB UP CIRATA***


| | | |
|---|---|---|
| ***Name*** | **:** | **Krisna Cipta Rasa** |
| ***NRP*** | **:** | **02311640000066** |
| ***Department*** | **:** | **Engineering Physics FTIRS - ITS** |
| ***Supervisors*** | **:** | **Ir. Sarwono, M.M** |
| | | **Erna Septyaningrum, S.T, M.T.** |


# ABSTRACT


A floating solar power plant is a new approach in the installation of solar panels above the water surface. In this final project, the stability performance comparison of 2 types of pontons is carried out, pontoon A and pontoon B. From the simulations, Pontoon B has better and more consistent stability performance. In pitching motion, pontoon A has a better performance with a difference that is not so significant, which is around 1.437 - 0.244839$^{o}$. However, pontoon B has better stability performance in yawing motion, the difference between the maximum amplitude value of pontoon A and Pontoon B is quite significant in the variation in the direction of incident wave 45$^{o}$ with a difference of the value is 87.051633$^{o}$. In the variation of the arrangement of solar panels, the variation of the arrangement of solar panels does not significantly affect the stability of the Pontoon B.



***Keywords: Floating PV, Response Amplitude Operator, Pitching, Yawing***

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis kepada Allah SWT, karena rahmat dan hikmat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir ini dengan judul **"ANALISA KESTABILAN PONTOON PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MATAHARI TERAPUNG (PLTS *FLOATING PV*) DI PT. PJB UP CIRATA"**

Dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Keluarga penulis, Bapak Cecep Slamet Abadi, Ibu Susy Yudhiaty Susany, Mustika Kalimasada, dan Nurani Mutiara Hati. Terima kasih atas doa, dukungan, dan kepercayaan yang selalu diberikan
2. Bapak Dr. Suyanto, S.T., M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Fisika ITS
3. Bapak Ir. Sarwono, M.M dan Ibu Erna Septyaningrum, ST, MT., selaku dosen pembimbing tugas akhir terimakasih atas segala dukungan, bimbingan, motivasi, nasihat, dan segenap pembelajaran selama ini
4. Bapak Totok Ruki Biyanto, S.T, M.T, Ph.D selaku dosen wali yang telah mengayomi penulis
5. Bapak Gunawan Nugroho, S.T, M.T, Ph.D selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan, terimakasih atas fasilitas dan dukungan yang diberikan
6. Penny Andryani yang selalu memberikan semangat dan motivasi
7. Teman-teman TAwan Bidang Minat Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan
8. Teman-teman Teknik Fisika angkatan 2016, Thalassinus Fortis yang telah memberikan banyak cerita
9. Seluruh dosen, karyawan, dan civitas akademika Departemen Teknik Fisika ITS, terimakasih atas kerjasamanya
10. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan tugas akhir ini

Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya. Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam laporan tugas akhir ini, maka dari itu penulis terbuka untuk kritik dan saran yang membangun.

Surabaya, 4 Juni 2020

Penulis

# DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL……i
COVER PAGE..... v
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI ..... vii
LEMBAR PENGESAHAN ..... ix
LEMBAR PENGESAHAN ..... xi
ABSTRAK ..... xiii
ABSTRACT..... xv
KATA PENGANTAR ..... xvii
DAFTAR ISI..... xix
DAFTAR GAMBAR ..... xxi
DAFTAR TABEL..... xxiii
BAB I PENDAHULUAN..... 1
1.1 Latar Belakang .....1
1.2 Rumusan Masalah .....3
1.3 Tujuan.....3
1.4 Batasan Masalah.....3
1.5 Sistematika Laporan .....3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI..... 5
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya .....5
2.2 Gerakan Benda Apung .....9
2.3 Kestabilan Benda Apung.....10
2.4 Respon Amplitudo Operator.....13
2.5 Computational Fluid Dynamic (CFD).....14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... 17

3.1. Studi Literatur ..... 18
3.2. Desain Geometri Ponton ..... 18
3.3. Simulasi CFD ..... 20
3.4. Analisa data ..... 22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN ..... 23
4.1 Verifikasi Simulasi ..... 23
4.2 Pengaruh Geometri Ponton terhadap respon gerakan ponton ..... 26
4.3 Pengaruh arah gangguan terhadap gerakan ponton ..... 33
4.4 Pengaruh susunan panel surya terhadap gerakan ponton ..... 42
4.5 Diskusi ..... 44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN ..... 49
5.1 Kesimpulan ..... 49
5.2 Saran ..... 49
DAFTAR PUSTAKA ..... 51
LAMPIRAN ..... 53
BIODATA PENULIS ..... 91

# DAFTAR GAMBAR

**Gambar 2.1** Sistem PLTS *On Grid* (Ecosoch 2016) ..... 6
**Gambar 2.2** Sistem PLTS *Off Grid* ..... 7
**Gambar 2.3** *Six Degree of Freedom (SDOF) Ship Motion*(Barua 2017) ..... 9
**Gambar 2.4** Tiga keadaan keseimbangan benda apung..... 10
**Gambar 2.5** Titik Berat (*Centre of Gravity*) ..... 12
**Gambar 2.6** Titik Apung (*Centre of Buoyancy*) ..... 12
**Gambar 2.7** Titik Metasentris (*Metacenter*) ..... 13
**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian..... 17
**Gambar 3.2** Desain ponton A ..... 18
**Gambar 3.3** Desain ponton B ..... 19
**Gambar 4.1** Geometri ponton yang sudah terbagi bagian atas dan bawah..... 23
**Gambar 4.2** Setup geometri simulasi..... 24
**Gambar 4.3** Orientasi arah datang gangguan..... 26
**Gambar 4.4** Grafik RAO ponton A arah gelombang $0^o$ ..... 27
**Gambar 4.5** Grafik RAO ponton A arah gelombang $45^o$ ..... 27
**Gambar 4.6** Grafik RAO ponton A arah gelombang $90^o$ ..... 28
**Gambar 4.7** Grafik RAO ponton B arah datang gelombang $0^o$..... 29
**Gambar 4.8** Grafik RAO ponton B arah datang gelombang $45^o$..... 30
**Gambar 4.9** Grafik RAO ponton B arah datang gelombang $90^o$..... 30
**Gambar 4.10** Grafik perbandingan nilai amplitudo maksimum dua ponton..... 32
**Gambar 4.11** Grafik nilai maksimum RAO *pitching* tanpa gangguan hembusan angin..... 33
**Gambar 4.12** Grafik nilai maksimum RAO *yawing* tanpa gangguan hembusan angin pada arah datang gangguan $0^o$..... 34
**Gambar 4.13** Grafik nilai maksimum RAO *yawing* tanpa gangguan hembusan angin pada arah datang gangguan $45^o$..... 35
**Gambar 4.14** Grafik nilai maksimum RAO *yawing* tanpa gangguan hembusan angin pada arah datang gangguan $90^o$..... 35
**Gambar 4.15** Grafik RAO gerak *yawing* ponton A arah datang gelombang $45^o$ 36

**Gambar 4.16** Grafik RAO gerak *yawing* ponton B arah datang gelombang 45$^{o}$ . 37
**Gambar 4.17** Grafik RAO *pitching* arah datang gelombang air 0$^{o}$ dengan variasi arah gangguan angin ..... 37
**Gambar 4.18** Grafik RAO *pitching* arah datang gelombang air 45$^{o}$ dengan variasi arah gangguan angin ..... 38
**Gambar 4.19** Grafik RAO *pitching* arah datang gelombang air 90$^{o}$ dengan variasi arah gangguan angin ..... 38
**Gambar 4.20** Grafik RAO *yawing* arah datang gelombang air 0$^{o}$ dengan variasi arah gangguan angin ..... 39
**Gambar 4.21** Grafik RAO *yawing* arah datang gelombang air 45$^{o}$ dengan variasi arah gangguan angin ..... 39
**Gambar 4.22** Grafik RAO *yawing* arah datang gelombang air 90$^{o}$ dengan variasi arah gangguan angin ..... 40
**Gambar 4.23** Grafik perbandingan nilai amplitudo maksimum *pitching* dua ponton dengan variasi jenis gangguan ..... 41
**Gambar 4.24** Grafik perbandingan amplitudo maksimum gerakan *pitching* ponton A ..... 43
**Gambar 4.25** Grafik perbandingan amplitudo maksimum gerakan *pitching* ponton B ..... 43
**Gambar 4.26** Nilai tinggi metasentris ponton A ..... 45
**Gambar 4.27** Nilai tinggi metasentris ponton B ..... 45

# DAFTAR TABEL

**Tabel 3.1** Data ukuran ponton A ..... 19
**Tabel 3.2** Data ukuran ponton B ..... 19
**Tabel 3.3** Data *mass properties* dan *moment of inertia* ponton..... 20
**Tabel 3.4** Data hasil setup *meshing* ..... 21
**Tabel 3.5** Variasi arah datang gangguan ..... 21

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang terpasang mengalami peningkatan yang sangat pesat dalam beberapa tahun terakhir, dan pada tahun 2015 PV mengalami ekspansi di seluruh dunia dengan total kapasitas terpasang lebih dari 230 GW sedangkan pengembangan besar mulai berpindah dari eropa menuju asia (Cina, Jepang, India) dan Amerika (Cazzaniga et al. 2018). Dalam pengembangannya PLTS ini memiliki kendala yang cukup vital yaitu kebutuhan lahan yang sangat luas untuk menghasilkan listrik yang besar dikarenakan efisiensinya yang masih tergolong kecil jika dibandingkan dengan pembangkit listrik lain sedangkan ketersediaan lahan yang tersedia akan semakin berkurang seiring waktu.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan lahan untuk pengembangan PLTS adalah memanfaatkan permukaan perairan seperti danau, waduk, bendungan PLTA, dan lainnya yang memiliki luas permukaan air cukup luas untuk penghematan biaya lahan dan biaya operasi pembangkitan listrik(Liu et al. 2018). Sehingga dengan memanfaatkan perairan, sistem PLTS dapat menjadi alternatif yang sangat logis untuk memanfaatkan energi matahari yang berlimpah. *Floating PV* merupakan sebuah pendekatan yang baru dan inovatif dalam pemasangan panel surya diatas permukaan air. Dengan pemasangan *floating PV,* penguapan pada permukaan air dapat berkurang hingga 70 % dan listrik yang diproduksi oleh panel surya meningkat sekitar 5,9 % jika dibandingkan dengan panel surya yang dipasang di tanah (Bist and Saaqib 2019).

Pembangkit Listrik Tenaga Surya terapung (*Floating PV Power Plant)* memiliki banyak keunggulan jika dibandingkan dengan PLTS pada umumnya. Beberapa keunggulan diantaranya adalah: i) energi listrik yang dihasilkan lebih besar karena suhu panel yang lebih rendah; ii) mengurangi penguapan pada permukaan air; iii) tidak memerlukan lahan karena sistemnya terapung diatas air; iv) saluran transmisi listrik yang lebih pendek karena umunya daerah perairan lebih

dekat dengan pemukiman. Komponen utaman yang diperlukan dalam pemasangan Pembangkit listrik tenaga surya terapung ini adalah: i) sistem panel surya; ii) struktur pelampung; iii) sistem jangkar; dan iv) kabel bawah tanah (Bist and Saaqib 2019).

Dibalik banyaknya keunggulan yang dimiliki oleh Pembangkit listrik tenaga surya terapung terdapat tantangan besar yang harus dihadapi dalam pengaplikasiannya. Tantangan terbesar dalam instalasi Pembangkit listrik tenaga surya terapung adalah desain sistem harus dirancang untuk tetap mengambang dan mampu menahan gaya eksternal. Beberapa tantangan yang harus diatasi dalam pemasangan pembangkit listrik tenaga surya terapung adalah: i) kekuatan dari struktur penopang mungkin terpengaruh oleh korosi dan kondisi lingkungan yang merugikan; ii) Sistem pengapung panel surya harus bisa mengatasi masalah lingkungan seperti kualitas air, kedalaman air yang bervariasi, variasi temperatur, arus air, penguapan air, oksigen, ikan ,algae, dan organisme lain yang hidup di perairan; iii) kecepatan angin yang dapat memengaruhi efisiensi produksi listrik dari pembangkit listrik tenaga surya terapung; iv) *stress* dan getaran menjadi masalah umum dari pembangkit listrik tenaga surya terapung yang disebabkan oleh angin, gelombang, dan gaya eksternal. Getaran dapat menyebabkan *micro-crack* pada panel surya sehingga menurunkan produksi listrik dari panel surya dan menurunkan daya tahan (Sahu, Yadav, and Sudhakar 2016). Pada penelitian sebelumnya telah dibahas bahwa salah satu bentuk yang paling menguntungkan untuk dijadikan sebagai ponton panel surya adalah lingkaran berongga seperti pipa, kentungan lain bisa didapatkan apabila material yang digunakan memiliki kerapatan yang rendah.(Sharma, Muni, and Sen 2015)

Berdasarkan permasalahan diatas, permasalahan yang paling umum terjadi pada pembangkit listrik tenaga surya terapung adalah *stress* dan getaran yang disebabkan oleh angin, gelombang air, dan gaya ekternal lainnya. Pada tugas akhir ini akan dilakukan simulasi mengenai respon jenis pontoon sebagai *floatong system* serta susunan panel terhadap gangguan angin dan gelombang air.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh jenis pontoon terhadap kestabilan pontoon panel surya yang disebabkan oleh pengaruh gelombang air dan angin?
2. Bagaimana pengaruh susunan panel surya terhadap kestabilan pontoon panel surya yang disebabkan oleh gelombang air dan angin?

## 1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah diatas, memiliki tujuan pembuatan proposal ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh jenis pontoon terhadap kestabilan pontoon panel surya yang disebabkan oleh pengaruh gelombang air dan angin
2. Menganalisa pengaruh susunan panel surya terhadap kestabilan pontoon panel surya yang disebabkan oleh gelombang air dan angin

## 1.4 Batasan Masalah

Dalam pembuatan alat terdapat batasan masalah, hal ini dilakukan agar dapat terfokus atau sesuai dengan kebutuhan. Batasan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Variasi pada penelitian ini adalah jenis pontoon dan susunan panel surya
2. Jenis gangguan pada penelitian ini adalah gelombang air dan angin
3. Variabel terikat pada penelitian ini adalah respon ampitudo dari pontoon

## 1.5 Sistematika Laporan

Laporan penelitian ini disusun secara sistematis dengan perincian sebagai berikut:

**BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi tentang penjelasan latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika laporan.

**BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

Bab ini berisi tentang teori Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), teori gelombang, teori gerak benda apung, teori Respon

Amplitudo Operator (RAO), dan teori *Computational Fluid Dynamic (CFD).*

**BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisi tentang penjelasan alur penelitian yang dilakukan.

**BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi tentang analisa hasil simulasi respon gerak ponton terhadap perubahan-perubahan yang dilakukan pada parameter gelombang dan geometri ponton.

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian dan saran penelitian.

**DAFTAR PUSTAKA**

Berisi tentang semua referensi yang digunakan sebagai penunjang dalam penyusunan penelitian ini.

**LAMPIRAN**

# BAB II
# TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

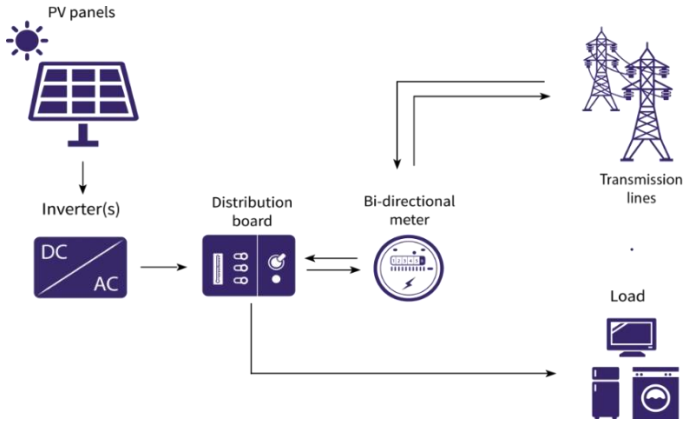
## 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah pembangkit listrik yang mengubah energi matahari atau surya menjadi energi listrik. Pembangkitan listrik tenaga surya bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu secara langsung menggunakan fotovoltaik atau panel surya dan secara tidak langsung dengan pemusatan energi surya. Fotovoltaik mengubah secara langsung energi cahaya menjadi listrik menggunakan efek fotoelektrik. Sedangkan pemusatan energi surya menggunakan sistem lensa atau cermin dikombinasikan dengan sistem pelacak untuk memfokuskan energi matahari ke satu titik untuk menggerakan mesin kalor. PLTS fotovoltaik terbagi menjadi dua yaitu PLTS *on grid* dan PLTS *off grid.*

### 2.1.1 PLTS On Grid

Sistem PLTS *On Grid* adalah sebuah sistem yang bekerja secara langsung di panel surya. Sistem tersebut tidak memakai baterai, dan listrik yang dihasilkan langsung digunakan untuk berbagai keperluan. Listrik yang dihasilkan adalah AC sehingga sistem panel surya *on grid* ini dapat diterapkan bersama-sama dengan jaringan PLN. Pembangkit listrik tenaga surya atau sistem plts *on grid* sangat cocok diterapkan di perumahan dengan memanfaatkan atap sebagai ruang untuk menyerap energi matahari. Sistem panel surya *on grid* ini jika dipasang pada PLN, dan akan mengurangi ongkos pengeluaran biaya listrik.

Penerapan sistem atau prinsip kerja plts *on grid* tersebut dapat dijalankan dengan sistem kelistrikan PLN. Dalam sistem ini, jaringan listrik PLN berperan sebagai penyalur atau penghubung arus listrik yang berasal dari panel surya yang dialirkan pada beban. Dengan begitu pada siang hari, penggunaan listrik dapat memanfaatkan energi listrik dari sinar matahari. Sedangkan pada malam hari karena tidak ada sinar matahari menyebabkan tidak ada produksi listrik dari solar panel, maka dapat tetap menggunakan arus listrik yang berasal dari PLN. Alur sistem dari PLTS *On Grid* ini dapat dilihat pada gambar 2.1.




**Gambar 2.1** Sistem PLTS *On Grid* (Ecosoch 2016)

Sistem panel surya *on grid* yang memakai jaringan listrik dari PLN dapat memberi energi yang tidak hanya dibutuhkan oleh rumah tangga saja. Penerapan sistem panel surya *on grid* ini sangat membantu mengurangi biaya pengeluaran untuk listrik pada gedung perkantoran atau pabrik sudah menggunakan tarip progresif. Sistem panel surya *on grid* ini mulai marak digunakan dan terbukti secara signifikan dapat mengurangi pengeluaran biaya untuk listrik PLN.

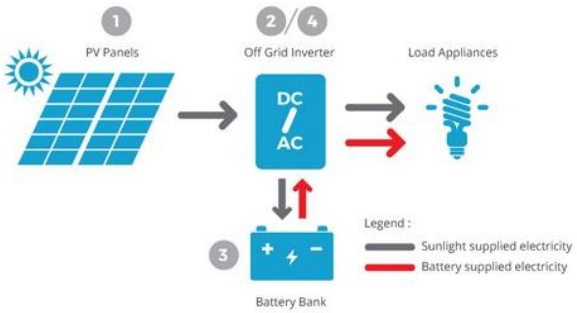
Kelebihan lain dari sistem *on grid* di Indonesia yaitu sudah melalui suatu proses perancangan secara khusus. Sehingga hasil rancangannya bisa disinkronkan terhadap sistem kerja di dalam jaringan listrik PLN.

### 2.1.2 PLTS Off Grid

Sistem panel surya *off grid* adalah suatu sistem pembangkit listrik tenaga surya atau PLTS yang berdiri (*stand alone*), yang tidak dirangkai bersama dengan jaringan listrik PLN. Dalam penerapannya, energi listrik yang dihasilkan plts *off grid* dapat dipakai langsung pada beban. Tetapi apabila ada kelebihan maka kelebihannya tersebut bisa disimpan dalam baterai. Setelah disimpan selanjutnya difungsikan sebagai cadangan energi dan dipakai di malam hari. Karena memerlukan media penyimpanan, maka pada setiap *sistem panel surya off grid* selalu dilengkapi dengan baterai.

*Sistem panel surya off grid* ini mengandalkan sinar matahari sebagai sumber utama sekaligus satu-satunya untuk memperoleh arus atau aliran listrik. Inilah perbedaan paling utama dalam sistem PLTS *on grid* dan *off grid* adalah terletak

pada penggunaan baterai. Sebab dalam operasinya PLTS *on grid* adalah tidak butuh baterai. Energi listrik yang dihasilkan dari sistem tersebut langsung dipakai dan tidak perlu disimpan. Lalu untuk malam hari, sumber energi listriknya tetap mengandalkan pasokan dari PLN. Alur sistem dari PLTS *Off Grid* ini dapat dilihat pada gambar 2.2.




**Gambar 2.2** Sistem PLTS *Off Grid*

Cara merakit sistem panel surya *off grid* membutuhkan komponen lebih banyak. Selain baterai, komponen penting lainnya yang dibutuhkan dalam penerapan sistem *off grid* adalah inverter. Secara ringkas, cara kerja *off grid* inverter ini bertujuan merubah arus listrik DC atau *Direct Curent* agar bisa menjadi arus *Alternating Current* atau AC yang banyak digunakan oleh peralatan elektronik di tempat kita seperti lampu, TV, kipas angin, kulkas, setrika, dan sebagainya selalu memerlukan arus listrik AC. Tanpa arus listrik AC perabot elektronik tersebut tidak bisa diaktifkan atau dioperasikan.

### 2.1.3 Sudut Kemiringan Panel Surya

Intensitas matahari yang diterima oleh panel surya sangat mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh sistem fotovoltaik. Semakin besar intensitas radiasi yang diterima maka daya yang dapat dihasilkan oleh sistem juga semakin besar. Intensitas matahari bisa didapatkan secara maksimum ketika sinar matahari tepat tegak lurus dengan area penangkap dalam hal ini adalah panel surya. Posisi kemiringan panel surya yang tepat akan sangat menentukan pemaksimalan penerimaan energi matahari. Untuk sudut kemiringan ideal untuk panel surya sendiri sebetulnya relatif bergantung dengan musim dan daerah penempatan panel

surya. Sudut kemiringan antara 10-30° dianggap sudah sangat membantu efisiensi panel surya untuk wilayah di Indonesia, sudut ini akan membantu penyerapan cahaya selama sehari penuh.

### 2.1.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terapung (PLTS terapung)

PLTS terapung merupakan sebuah ide baru untuk membangun sistem pembangkit listrik tenaga surya diatas permukaan air dengan menggunakan teknologi terapung. Teknologi ini menggantikan pembangunan PLTS diatas tanah. PLTS terapung ini terdiri dari beberapa komponen yaitu ponton atau pelampung, sistem tambat (*mooring system*), panel surya, dan sistem perkabelan.(Sahu, Yadav, and Sudhakar 2016)

a. Ponton

   Ponton adalah perangkat pengapungan dengan daya apung yang cukup untuk mengapung dengan sendirinya dan juga dengan beban yang berat. Platform dirancang untuk menampung jumlah modul yang sesuai dalam kombinasi paralel seri sesuai dengan kebutuhan dan ketersediaan ruang. Ponton biasanya terbuat dari HDPE (polietilen densitas tinggi), yang dikenal karena kekuatan tariknya, bebas perawatan, tahan UV dan korosi. Glass fiber reinforced plastic (GRP) juga dapat digunakan untuk konstruksi platform mengambang.(Santafé et al. 2014)

b. Sistem tambat

   Dalam kasus PLTS terapung, sistem tambat menjaga panel di posisi yang sama dan mencegah panel berputar atau berpindah posisi. Pemasangan sistem tambat bisa menjadi tantangan dan mahal di perairan yang dalam. Sistem tambat untuk platform terapung dapat dilakukan dengan sling tali kawat nilon yang dapat diikat bagian sisi perairan dan diikat di setiap sudut.(Sharma, Muni, and Sen 2015)

Geometri ponton dirancang dengan mempertimbangkan dua masalah utama. Pertama, dimensi ponton harus menyesuaikan dengan panel surya komersial. Kedua, ponton harus mencakup permukaan air semaksimal mungkin untuk mencegah penguapan air dan menjaga pergerakannya yang disebabkan gelombang air sehingga stabilitas panel surya terjaga.

## 2.2 Gerakan Benda Apung

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:

a. Mode Gerakan Translasional

*Surge*, gerakan transversal arah sumbu x

*Sway*, gerakan transversal arah sumbu y

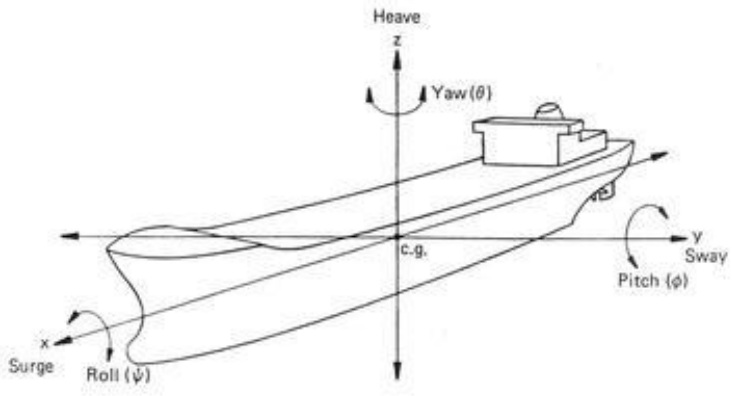
*Heave*, gerakan transversal arah sumbu z

b. Mode Gerakan Rotasional

*Roll*, gerakan rotasional arah sumbu x

*Pitch*, gerakan rotasional arah sumbu y

*Yaw*, gerakan rotasional arah sumbu z

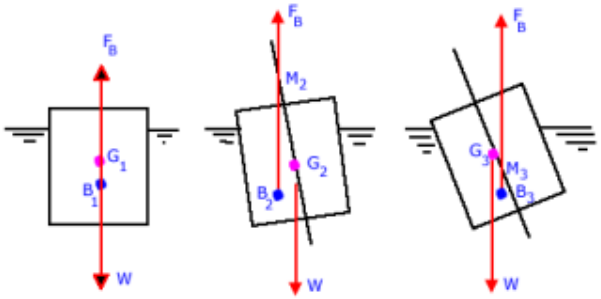



**Gambar 2.3** *Six Degree of Freedom (SDOF) Ship Motion*(Barua 2017)

Definisi gerakan bangunan laut dalam enam derajat kebebasan seperti pada Gambar 2.3. Dengan memakai konversi sumbu 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 sumbu adalah *roll, pitch, dan yaw*. Sehingga domain gerakan yang mempengaruhi kapal dan ponton adalah gerakan rotasi dan translasi.

## 2.3 Keseimbangan Benda Apung

Keseimbangan sebuah benda apung berkaitan dengan perilakunya ketika mengapung di air, baik di air yang tenang maupun air yang bergelombang. Keseimbangan dari sebuah benda apung bergantung pada letak metasentrisnya. Letak metasentris akan berada pada titik yang sama ketika sudut simpangan benda apung kecil atau berada dibawah 15$^{o}$(Barrass and Derrett 2006). Sebuah benda apung dapat dikatakan stabil atau berada dalam keadaan seimbang ketika jumlah dari gaya yang bekerja pada benda dan jumlah dari momen yang bekerja pada benda terhadap suatu titik sama dengan nol. Ketika suatu benda di air mengalami kemiringan maka titik B akan bergeser ke titik B' dan titik G akan menjadi metasentris (M), jarak antara metasentris (M) dengan titik G dapat disebut ketinggian metasentris (GM). Keadaan setimbang suatu benda dibagi menjadi tiga kondisi yaitu keseimbangan stabil (*stable equilibrium*), keseimbangan netral (*neutral equilibrium*) dan keseimbangan labil (*unstable equilibrium*).




**Gambar 2.4** Tiga keadaan keseimbangan benda apung

a. Keseimbangan stabil

Keseimbangan stabil terjadi ketika metasentris (M) berada diatas titik pusat gravitasi (G). Ketika sebuah benda apung diberikan gangguan maka benda apung akan bergerak menuju posisi yang baru, namun ketika gangguan tersebut dihilangkan maka benda apung tersebut akan kembali ke posisi awalnya.

GM > 0

b. Keseimbangan netral

Keseimbangan netral terjadi ketika metasentris (M) bertepatan dengan titik pusat gravitasi (G). Ketika sebuah benda apung diberikan gangguan maka benda apung akan bergerak menuju posisi yang baru, ketika gangguan

tersebut dihilangkan maka benda apung tersebut tidak akan kembali ke posisi awal dan tetap berada pada posisi barunya.

GM = 0

c. Keseimbangan labil

Keseimbangan labil terjadi ketika metasentris (M) berada dibawah titik pusat gravitasi (G). Ketika sebuah benda apung diberikan gangguan maka benda apung akan bergerak menuju posisi yang baru, ketika gangguan tersebut dihilangkan maka benda apung tersebut akan terus bergerak menjauhi posisi awalnya.

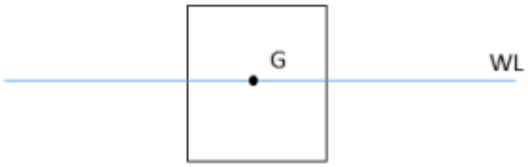
GM < 0

Ketika sebuah benda apung memiliki nilai tinggi metasentris (GM) yang relatif besar, misalnya 2 m atau 3 m, *righting momment* pada sudut kemiringan yang kecil juga akan relatif besar. Oleh karena itu semakin besar nilai tinggi metasentris (GM) maka akan membutuhkan momen yang lebih besar untuk memiringkan benda apung. Ketika dalam keadaan miring maka benda apung akan cenderung untuk kembali ke posisi awal lebih cepat. Hasilnya adalah bahwa benda apung akan memiliki periode yang lebih pendek, dan akan berosilasi dengan cepat. Benda apung yang berada dalam kondisi ini dikatakan "*stiff*".

Ketika benda apung memiliki nilai tinggi metasentris (GM) yang kecil, misalnya 0,16 m hingga 0,2 m, *righting momment* pada sudut kemiringan yang kecil juga akan bernilai kecil. Dengan begitu benda apung akan jauh lebih mudah untuk miring dan akan cenderung lebih lambat untuk kembali ke posisi awal. Ketika benda apung berada pada kondisi ini maka dikatakan "*tender*".

Titik Berat (*Centre of Gravity*)

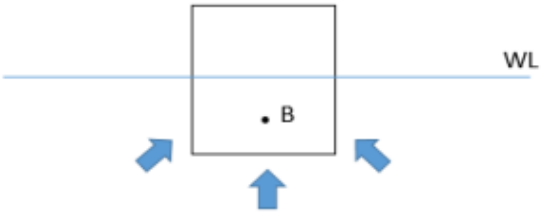
Titik berat (G) dapat diartikan sebagai titik tangkap dari semua gaya yang bekerja pada suatu benda dan mengarah ke bawah. Letak titik berat (G) pada benda tanpa muatan ditentukan oleh hasil percobaan stabilitas. Perlu diketahui bahwa letak titik berat (G) bergantung dari pembagian berat yang bekerja pada benda. Jadi, selama tidak ada berat yang digeser maka titik berat (G) tidak akan berubah walaupun benda mengalami oleng atau mengangguk/trim.




**Gambar 2.5** Titik Berat (*Centre of Gravity*)

Titik Apung (*Centre of Buoyancy*)

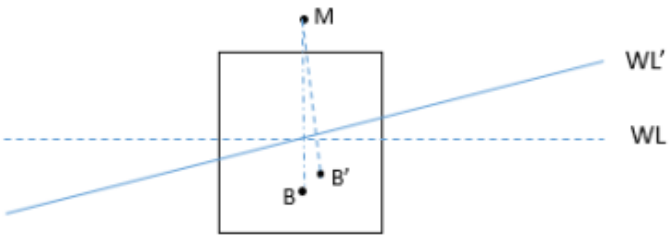
Titik apung atau biasa dikenal dengan titik B dari sebuah benda yang mengapung, titik apung merupakan titik tangkap dari semua gaya yang menekan kearah atas dari bagian benda yang tercelup di dalam air. Titik apung (B) akan berubah-ubah seiring dengan perubahan sarat air kapal (*draft*), jadi titik apung (B) tidak merupakan suatu titik yang tetap. Dalam teori stabilitas benda di air, titik apung (B) yang menyebabkan suatu benda mampu untuk kembali ke posisi awal setelah mengalami oleng atau mengangguk/trim. Letak dari titik apung (B) juga bergantung pada besarnya kemiringan dari benda (bila kemiringan berubah maka letak titik apung (B) akan berubah).




**Gambar 2.6** Titik Apung (*Centre of Buoyancy*)

Titik Metasentris (*Metacenter*)

Titik metasentris atau sering disebut dengan titik M ialah sebuah titik semu dari batas dimana titik berat (G) tidak boleh melewati dan berada di atasnya agar benda tetap pada kondisi keseimbangan stabil. Meta memiliki arti berubah, jadi letak titik metasentris tidak tetap atau berubah-berubah bergantung dari besarnya sudut senget/kemiringan. Apabila benda mengalami senget, maka titik apung (B) bergerak di sepanjang busur dengan titik M poros atau titik pusat pada bidang tengah benda (*center of line)*.(Selvaraj 2019)




**Gambar 2.7** Titik Metasentris (*Metacenter*)

## 2.4 Respon Amplitudo Operator

*Response Amplitude Operator* (RAO) disebut sebagai informasi tentang karakteristik gerakan bangunan laut atau fungsi respon struktur akibat beban gelombang yang mengenai struktur lepas pantai pada frekuensi tertentu. RAO dapat dinyatakan dengan bentuk matematis yaitu (respon struktur / ζgelombang). Amplitudo respon bisa berupa gerakan, tegangan, maupun getaran. Respon gerakan RAO untuk gerakan translasi merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakannya dibandingkan dengan amplitude gelombang insiden (keduanya dalam satuan panjang).

$$RAO = \frac{\zeta k_0\,(m)}{\zeta_0\,(m)} \qquad (2.1)$$

Sedangkan respon non-dimensi atau RAO untuk gerakan rotasi yaitu perbandingan antara gerakan rotasi struktur dengan kemiringan gelombang dalam (radian/ radian atau derajat/derajat)

$$RAO = \frac{\zeta k_0\,(0)}{kw\zeta\,(0)} \qquad (2.2)$$

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

a. 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 ekivalen dengan amplitudo gelombang, atau disebut sebagai conturing.
b. 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

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.

## 2.5 Computational Fluid Dynamic (CFD)

CFD adalah suatu cara untuk menganalisa aliran fluida pada suatu sistem, sistem tersebut dapat berupa sistem aliran fluida cair seperti menganalisa hidrodinamika, tekanan dari fluida, atau aliran darah pada pembuluh darah. Selain itu CFD juga dapat digunakan untuk mensimulasikan aliran panas seperti pada mesin pembakar dan pada sistem HVAC pada suatu bangunan, dan masih banyak *tools* lainnya dari CFD. Kode CFD adalah suatu algoritma numerikal yang terstruktur untuk menyelesaikan fenomena aliran fluida. Proses dari kerja CFD secara umum dapat dibagi menjadi tiga bagian.

Bagian pertama adalah *pre processing*. Pada bagian ini penggunaan numerikal input pada CFD untuk diproses dan diselesaikan kemudian. Input yang harus dimasukkan adalah geometri dari fenomena fluida yang akan diselesaikan, geometri ini juga dapat didefinisikan sebagai domain komputasi yang selanjutnya akan dibagi menjadi bagian yang lebih kecil dalam bentuk elemen-elemen kontrol volume atau *cell*. Hal lain yang perlu didefinisikan antara lain adalah properti fluida dan *boundary condition*. Setelah itu domain tadi melalui tahap *meshing*. Salah satu parameter yang dapat menentukan akurasi CFD adalah jumlah *cell* pada *grid*, tetapi perlu dicatat juga bahwa semakin banyak jumlah *cell*, maka beban komputasi juga akan semakin berat.

Setelah melalui tahapan *preprocessing*, lalu masuk pada bagian *solver*. Pada tahap ini fenomena aliran fluida akan diselesaikan dengan teknik solusi numerikal yang dipilih oleh pengguna. Teknik tersebut antara lain adalah *finite difference*,

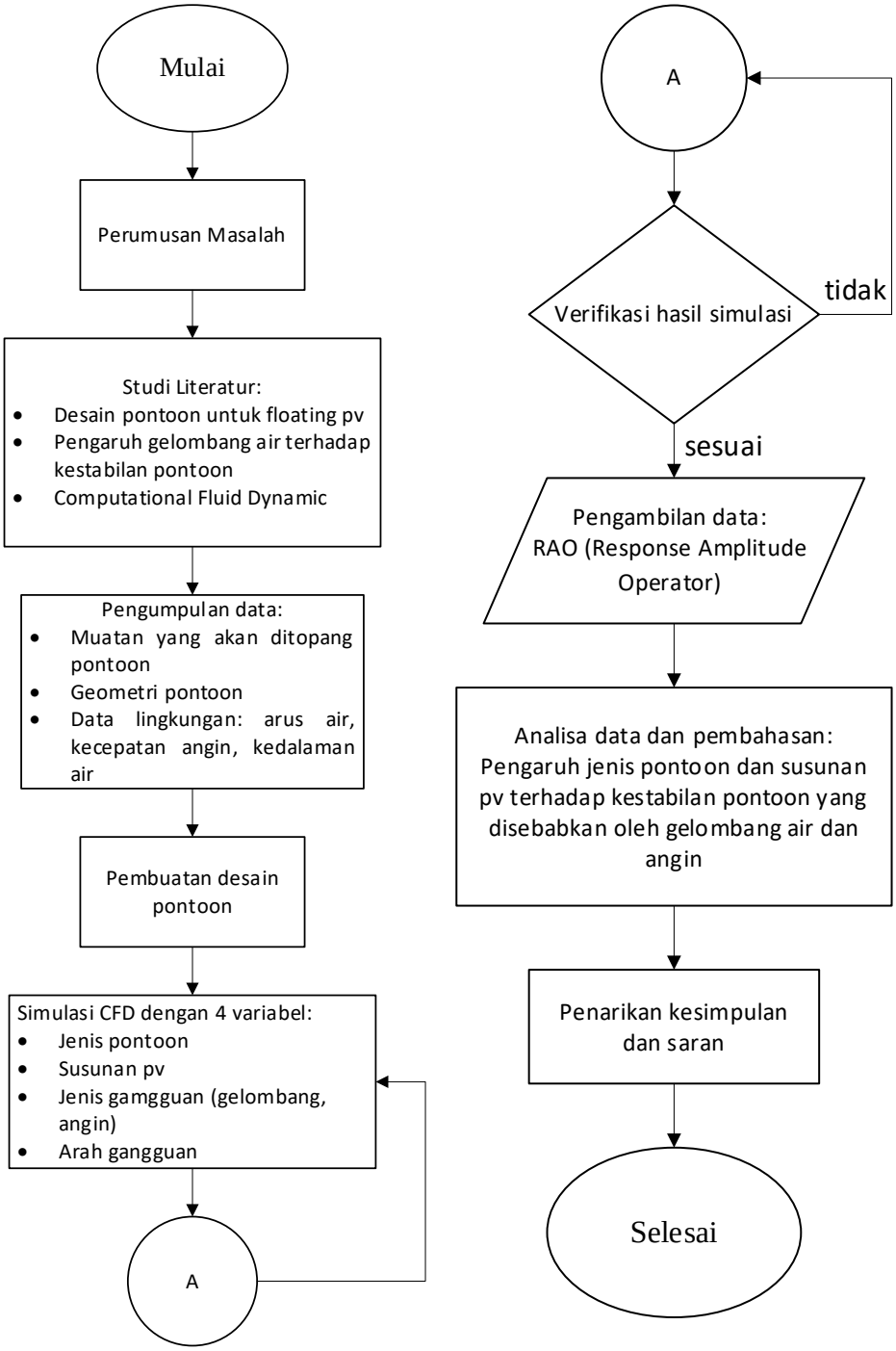
*finite element*, dan *spectral method*. Langkah-langkah dari algoritma solusi numerikal ini antara lain adalah integrasi dari persamaan aliran fluida, deskritisasi, dan metode iterasi. Iterasi dibutuhkan karena fenomena fisis yang disimulasikan bersifat kompleks dan tidak linear, prosedur iterasi yang sering digunakan adalah TDMA (*tri diagonal matrix algorithm*) dan algoritme SIMPLE.

Tahapan terakhir adalah *post processing* yang lebih terfokus pada visualisasi dari data yang akan dianalisa.(Malalasekera 1996)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB III
# METODOLOGI PENELITIAN

Urutan langkah-langkah yang dilakukan dalam pelaksanaan penelitian ini terdapat pada diagram alir pelaksanaan penelitian pada Gambar 3.1.



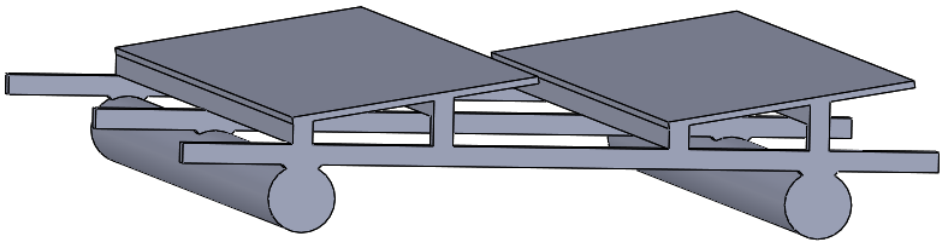

**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

## 3.1. Studi Literatur

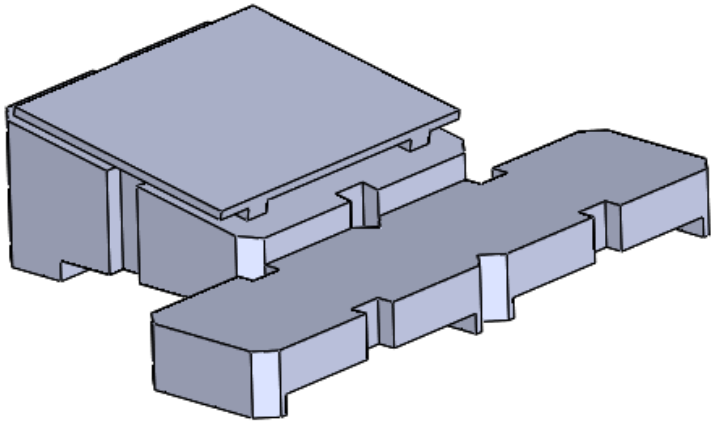
Studi literatur dilakukan untuk memahami konsep-konsep yang terkait dan berhubungan dengan penelitian ini. Studi literatur dilakukan dengan membaca buku dan me-*review* jurnal dari topik-topik yang terkait seperti desain-desain pontoon untuk *floating pv*, pengaruh gelombang air terhadap kestabilan pontoon *floating pv*, respon hidrodinamika, dan *computational fluid dynamic*. Pematangan konsep terkait topik tersebut sangat diperlukan untuk dapat memahami fenomena yang akan disimulasikan dan menganalisa hasil simulasi dengan baik.

## 3.2. Desain Geometri Ponton

Pada penelitian ini digunakan dua jenis ponton yang berbeda desainnya, desain ponton pertama yang akan disimulasikan berasal dari jurnal referensi (ponton A) dan desain ponton kedua yang akan disimulasikan berasal dari *prototype* ponton PLTS Cirata (ponton B) seperti ditunjukan pada gambar 3.2 dan gambar 3.3 dibawah ini. Ponton A dipilih sebagai pembanding merujuk pada penelitian sebelumnnya yang menyebutkan bahwa dengan menggunakan sistem pelampung berbentuk silinder berongga akan memberikan performa kestabilan yang lebih baik. Spesifikasi dari masing masing ponton yang akan disimulasikan dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.



**Gambar 3.2** Desain ponton A



**Gambar 3.3** Desain ponton B

**Tabel 3.1** Data ukuran ponton A

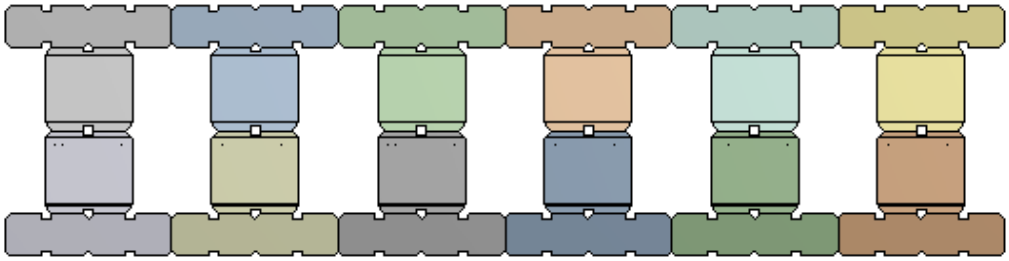
| | |
|---|---|
| Panjang struktur ponton | 5,862 m |
| Lebar struktur ponton | 2,382 m |
| Jari-jari silinder | 0,169 m |
| Panjang panel surya | 1,257 m |
| Lebar panel surya | 6 x 0,977 m |
| Jumlah panel surya | 12 buah |
| Massa panel surya | 6 x 20 kg |

**Tabel 3.2** Data ukuran ponton B

| | |
|---|---|
| Panjang ponton utama | 1,2 m |
| Lebar ponton utama | 1,2 m |
| Panjang ponton pendukung | 2 x 1,2 m |
| Lebar ponton pendukung | 0,6 m |
| Jumlah ponton utama | 12 buah |
| Panjang panel surya | 1,257 m |
| Lebar panel surya | 0,977 m |
| Jumlah panel surya | 1 buah per ponton |
| Massa panel surya | 20 kg |

Ponton B yang merupakan ponton prototype PLTS Cirata hanya mampu menampung satu panel pada satu pontonnya, sehingga untuk menyamakan jumlah

panel surya pada ponton A maka ponton B dibuat menjadi array ponton yang berjumlah 12 ponton dan menampung 12 panel surya. Susunan array ponton B dapat dilihat pada gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Susunan array ponton B

### 3.3. Simulasi CFD

Simulasi CFD ini dilakukan untuk melihat respon gerakan ponton ketika gelombang yang datang mengenai ponton. Langkah-langkah dari simulasi CFD ini adalah sebagai berikut:

*Pre-processing*

*Pre-processing* merupakan tahapan awal dari simulasi CFD. Pada tahapan ini hal yang perlu dilakukan yaitu menentukan sarat air, pada ponton A tinggi sarat air adalah 16,9 cm atau ½ diameter ponton, sedangkan pada ponton B tinggi sarat air adalah 6 cm. Selanjutnya adalah menginputkan koordinat pusat massa ponton, massa ponton, dan *moment of inertia* ponton, nilainya seperti pada tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Data *mass properties* dan *moment of inertia* ponton

| Parameter | Ponton A 1 sisi | Ponton A 2 sisi | Ponton B 1 sisi | Ponton B 2 sisi |
|---|---|---|---|---|
| X | 0,69 | 0,82 | 0,6 | 1,2 |
| Y | -2,83 | -2,83 | -0,88 | -0,92 |
| Z | -0,34 | -0,34 | 0,19 | 0,19 |
| Massa | 488,51 | 488,51 | 35,345 | 35,345 |
| $I_{xx}$ | 5525,78 | 5504,51 | 39,16 | 41,16 |
| $I_{yy}$ | 910,61 | 839,54 | 24,50 | 61,06 |
| $I_{zz}$ | 6275,14 | 6237,93 | 58,68 | 97,25 |

Setelah geometri dan setup selesai disesuaikan, dilanjutkan tahap *meshing*, *meshing* merupakan proses pembagian geometri menjadi elemen-elemen kecil. Pada tahap meshing ini nilai yang diinputkan adalah nilai *defeaturing tolerance* dan nilai *maximum element size*. Hasil meshing yang sudah dilakukan dapat dilihat pada tabel 3.4.

**Tabel 3.4** Data hasil setup *meshing*

| | Ponton A | Ponton B |
|---|---|---|
| *Defeaturing tolerance* | 0,032 m | 0,07 m |
| *Maximum Element Size* | 0,064 m | 0,14 m |
| *Total Nodes* | 39036 | 38402 |
| *Total Element* | 39114 | 39128 |

*Processing*

Tahap *processing* dilakukan simulasi gelombang dengan menginputkan data lingkungan berupa setup gelombang dan angin. Nilai amplitudo gelombang sebesar 0,05 m dan periodenya 2,3 detik, sedangkan kecepatan angin sebesar 2,4 m/s. Setelah data lingkungan dimasukan, selanjutnya menginputkan waktu analisis sebesar 90 detik. Pada tahapan ini juga variasi arah datang gangguan diinputkan seperti pada tabel 3.5.

**Tabel 3.5** Variasi arah datang gangguan

| Jenis gangguan | Arah datang gangguan | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Gelombang air | $0^o$ | $45^o$ | $90^o$ | - | - |
| Hembusan angin | $0^o$ | $45^o$ | $90^o$ | $135^o$ | $180^o$ |

Variasi arah datang gangguan ini perlu untuk dilakukan karena pada kondisi lingkungan yang sebenarnya hembusan angin akan akan berhembus dari arah yang berbeda beda setiap waktunya, dengan perubahan arah hembusan angin maka arah

gelombang air pun dapat berubah arah penjalarannya, seperti yang dikatakan pada penelitian (Li and Zhang 2020).

*Post-Processing*

Tahapan terakhir dari simulasi ini adalah *solution* atau hasil simulasi CFD. Pada bagian ini dapat ditentukan hasil simulasi yang ingin dimunculkan, pada simulasi ini hasil yang ingin dikeluarkan adalah respon gerakan ponton akibat adanya gangguan berupa gelombang air dan hembusan angin maka grafik RAO (*Response Amplitude Operator*) yang harus ditampilkan pada bagian solution.

### 3.4. Analisa data

Setelah simulasi selesai dilakukan dan data yang dibutuhkan telah didapatkan maka tahapan selanjutnya adalah menganalisa data RAO dari ponton terhadap variasi-variasi yang diginakan.

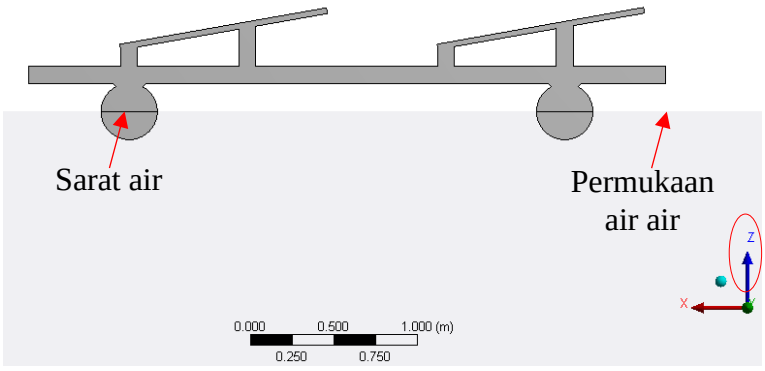
# BAB IV
# HASIL DAN PEMBAHASAN

## 4.1 Verifikasi Hasil Simulasi

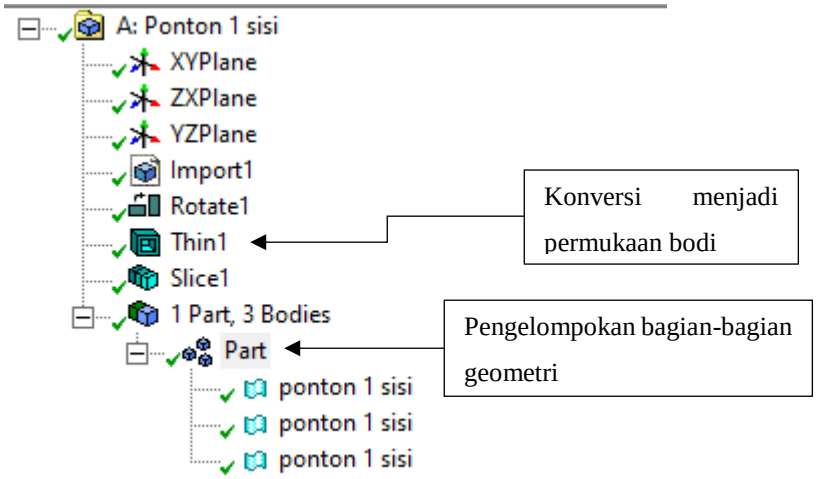
Verifikasi simulasi merupakan tahapan untuk menilai apakah simulasi yang sudah dilakukan dapat dianggap benar atau belum. Metode yang digunakan adalah dengan menyesuaikan langkah-langkah simulasi yang sudah dilakukan dengan prosedur simulasi CFD berdasarkan *user manual*-nya. Verifikasi simulasi dibagi menjadi dua bagian verifikasi, pertama verifikasi pada bagian *geometry* dan verifikasi pada bagian *hydrodynamic response* dan *diffraction*.

Pada bagian geometri menurut *user manual* CFD terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan agar desain geometri yang akan disimulasikan dapat dianalisa oleh CFD dengan benar, aspek yang perlu diperhatikan itu adalah:

a. Model geometri harus dipastikan sudah terbagi sehingga pada geometri terlihat batas air atau sarat air
b. Setiap struktur bagian dari model geometri harus menjadi satu *part* sehingga geometri yang sebelumnya sudah dibagi harus dikelompokan
c. Model geometri harus diorientasikan dengan sumbu z vertikal keatas
d. Analisa CFD hanya akan memproses bagian garis bodi atau permukaan bodi
e. Ketinggian air harus disesuaikan sehingga ketinggiannya bertepatan dengan titik dimana geometri terbelah untuk menunjukan bagian yang berada diatas air dan dibawah air.




**Gambar 4.1** Geometri ponton yang sudah terbagi bagian atas dan bawah




**Gambar 4.2** Setup geometri simulasi

Pada gambar 4.1 terlihat bahwa geometri pada simulasi ini sudah dibagi sehingga terdapat garis yang membagi bagian atas dan bagian bawah geometri yang kemudian menjadi sarat air, kemudian geometri sudah diorientasikan dengan sumbu z vertikal keatas, sehingga poin aspek a dan poin c sudah terpenuhi. Pada gambar 4.2 dapat terlihat bahwa geometri yang sebelumya sudah terbagi sudah dikelompokan menjadi satu kesatuan dan terlihat pula bahwa geometri sudah dikonversikan menjadi bagian permukaan bodinya saja, dengan begitu maka aspek poin b dan poin d sudah dipenuhi. Pada gambar 4.1 terlihat garis pemisah antara bagian bawah dan bagian atas geometri telah disesuaikan dengan garis ketinggian air sehingga terlihat bagian geometri yang tercelup air dan yang berada diatas air, dengan telah disesuaikannya sarat air dengan batas ketinggian air maka aspek poin e pada bagian geometri telah dipenuhi. Setelah semua aspek pada bagian geometri telah dipenuhi pada simulasi ini maka verifikasi geometri dapat dianggap sudah valid.

Pada bagian *hydrodynamic response* dan *hydrodynamic diffraction* terdapat beberapa setup yang perlu diinputkan dan disesuaikan agar simulasi sesuai dengan kondisi yang seharusnya sehingga simulasi dapat dinyatakan valid atau benar. Pertama yang perlu disesuaikan adalah *point mass*, pada *point mass* ini terdapat beberapa parameter yang harus diinputkan, parameter tersebut adalah *point mass properties* dan *moment of inertia*. Nilai-nilai yang harus diinputkan pada bagian

*point mass properties* adalah nilai koordinat pusat massa (X, Y, Z) dan massa geometri yang akan disimulasikan, sedangkan pada bagian *moment of inertia* nilai yang harus diinputkan adalah nilai *intertia* geometri ($I_{xx}$, $I_{yy}$, $I_{zz}$). Semua nilai yang perlu diinputkan bisa didapatkan pada saat pembuatan geometri, nilai tersebut dapat dilihat pada tabel 3.3.

Untuk mensimulasikan ponton B terdapat satu parameter tambahan yang perlu diinputkan, parameter itu adalah *connection point*, parameter tersebut perlu diinputkan karena pada simulasi ponton B akan digunakan 12 buah ponton yang disusun menjadi satu *array*. Nilai yang harus diinputkan adalah koordinat *connection point* (X, Y, Z). Nilai tersebut disesuaikan dengan titik-titik sambungan antar ponton. Setelah *connection point* ditentukan kemudian pemilihan jenis *connection*, *connection* yang dipilih adalah *joint*, dan tipe *joint* yang dipilih adalah *rigid*, tipe tersebut dipilih karena pada sambungan susunan *array* ponton ini tidak memungkinkan adanya gerakan translasi ataupun gerakan rotasi antar ponton.

Selanjutnya parameter yang harus disesuaikan adalah *meshing*, pada simulasi CFD ini kualitas *meshing* dinilai dari jumlah elemennya dimana jumlah elemen maksimum pada simulasi CFD dibatasi maksimal 40.000 elemen, semakin mendekati nilai maksimum jumlah elemen maka semakin akurat perhitungan CFD nya. Hasil *meshing* dari ponton yang akan disimulasikan dapat dilihat pada tabel 3.4.

Parameter selanjutnya yang perlu penyesuaian adalah pada bagian *analysis setting* dimana pada bagian ini terdapat beberapa setup yang harus disesuaikan diantanya adalah sebagai berikut:

a. Mengaktifkan *ignore modelling rule violation*

   *Ignore modelling rule violation* berfungsi untuk mengizinkan analisis tetap berjalan meskipun terdapat kesalahan pemodelan yang kemudian kesalahan tersebut diubah menjadi peringatan, opsi ini dapat diaktifkan jika hanya terjadi error-error yang ringan dan sulit untuk diperbaiki

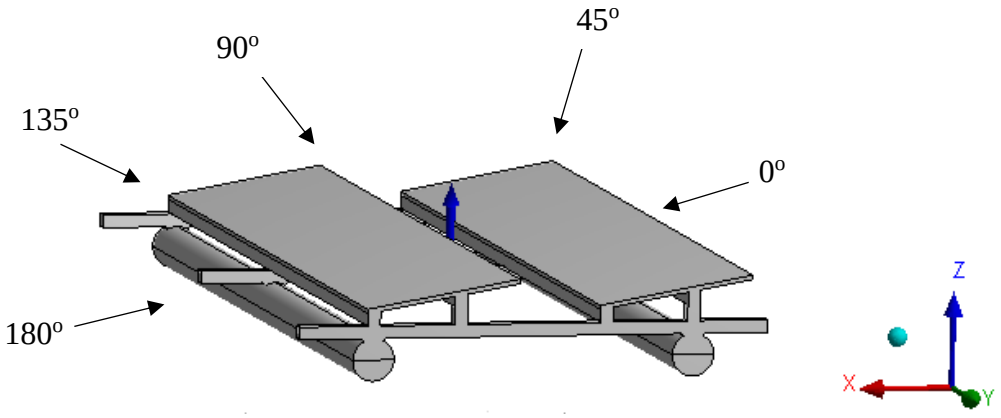
b. Menonaktifkan *include multi-directional wave interaction*

   Opsi ini dinonaktifkan karena pada simulasi yang akan dilakukan tidak dibutuhkannya interkasi gelombang dari beberapa arah sekaligus,

analisa pada simulasi ini hanya menggunakan satu gelombang dengan variasi arah datang gelombangnya.

## 4.2 Pengaruh Geometri Ponton terhadap respon gerakan ponton

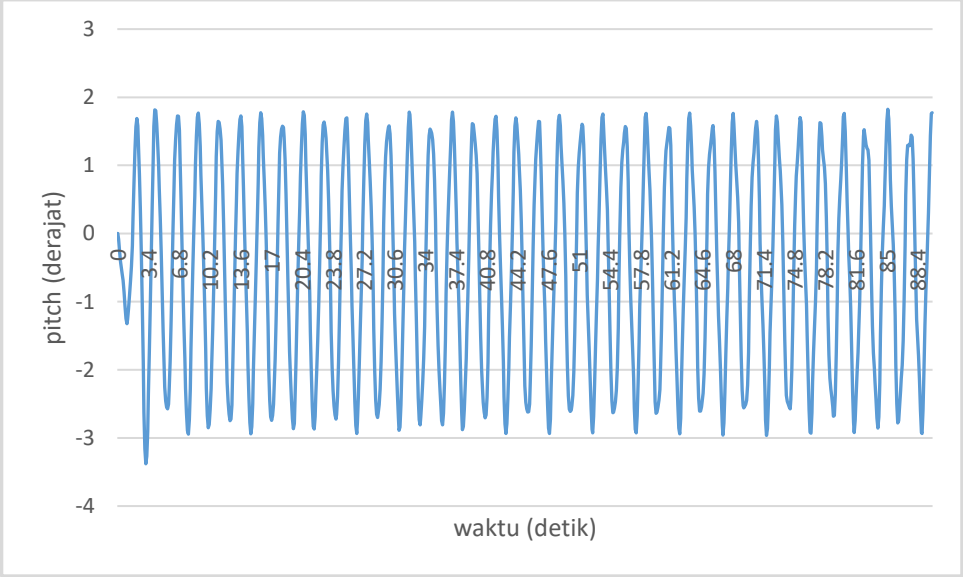
Respon gerakan ponton didapatkan dari simulasi gelombang air yang mengenai ponton, hasil data yang didapat dari simulasi berupa grafik RAO. Amplitudo gelombang pada simulasi ini sebesar 0,05 m dan periode gelombang sebesar 2,3 detik. Variasi yang dilakukan adalah jenis ponton yang digunakan yaitu ponton A dan ponton B serta arah datangnya gelombang yaitu 0º, 45º, dan 90º seperti pada gambar 4.3.



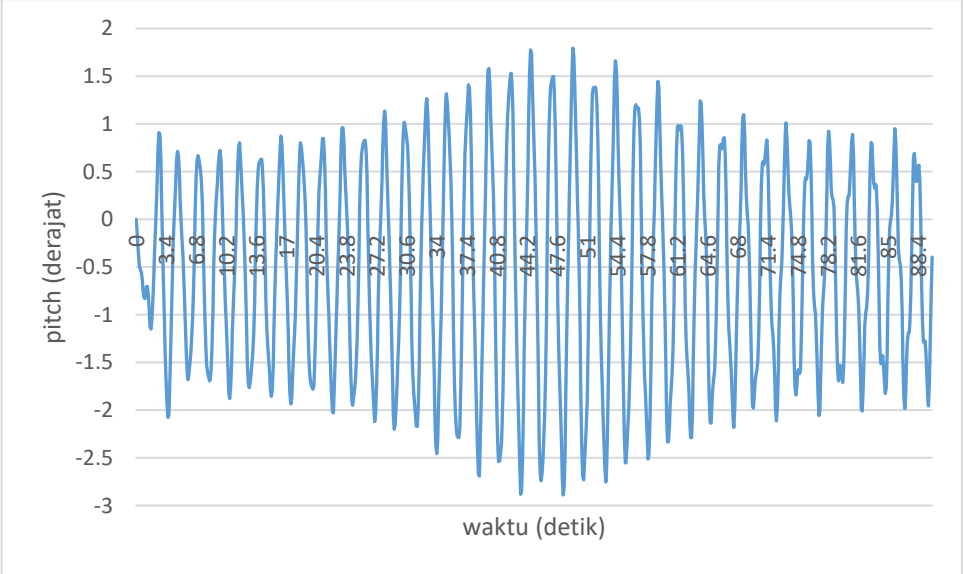

**Gambar 4.3** Orientasi arah datang gangguan

### 4.2.1 Respon Gerakan Ponton A

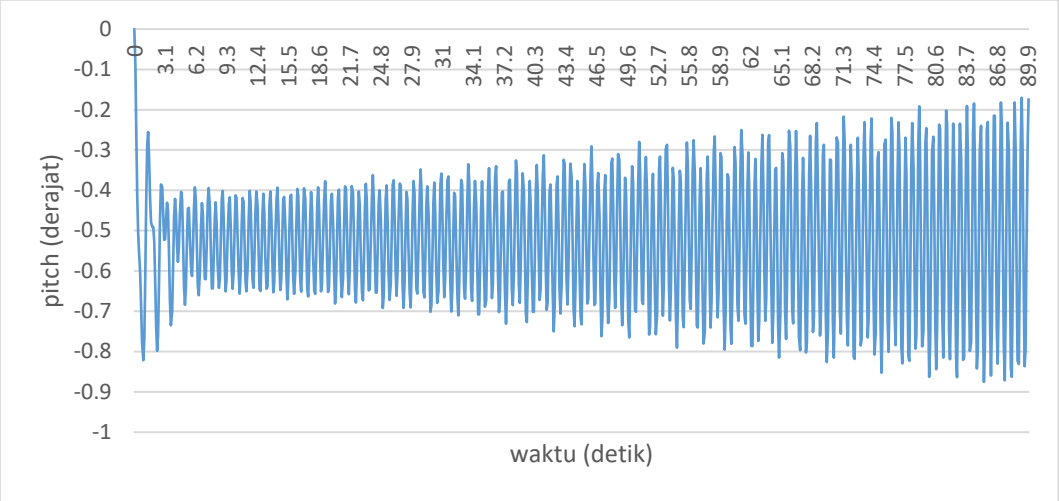
Hasil respon gerakan ponton A dengan setup amplitudo gelombang sebesar 0,05 m dan periode gelombang sebesar 2,3 detik. Variasi pada simulasi ini adalah arah datangnya gelombang yaitu 0º, 45º, dan 90º. Grafik RAO yang digunakan adalah grafik *pitching*.




**Gambar 4.4** Grafik RAO ponton A arah gelombang 0$^{o}$




**Gambar 4.5** Grafik RAO ponton A arah gelombang 45$^{o}$




**Gambar 4.6** Grafik RAO ponton A arah gelombang 90$^{o}$

Gambar 4.4 merupakan hasil simulasi dari respon gerakan ponton ketika diberikan gangguan gelombang dengan arah datang gelombang 0$^{o}$. Grafik RAO yang dihasilkan relatif konstan sepanjang waktu 90 detik dengan nilai maksimum yang dihasilkan sebesar 1,824$^{o}$. Grafik RAO yang konstan juga menunjukan bahwa ketika gelombang air datang menuju ponton dengan arah datang gelombang 0$^{o}$ maka ponton A akan terus bergetar dengan konstan.

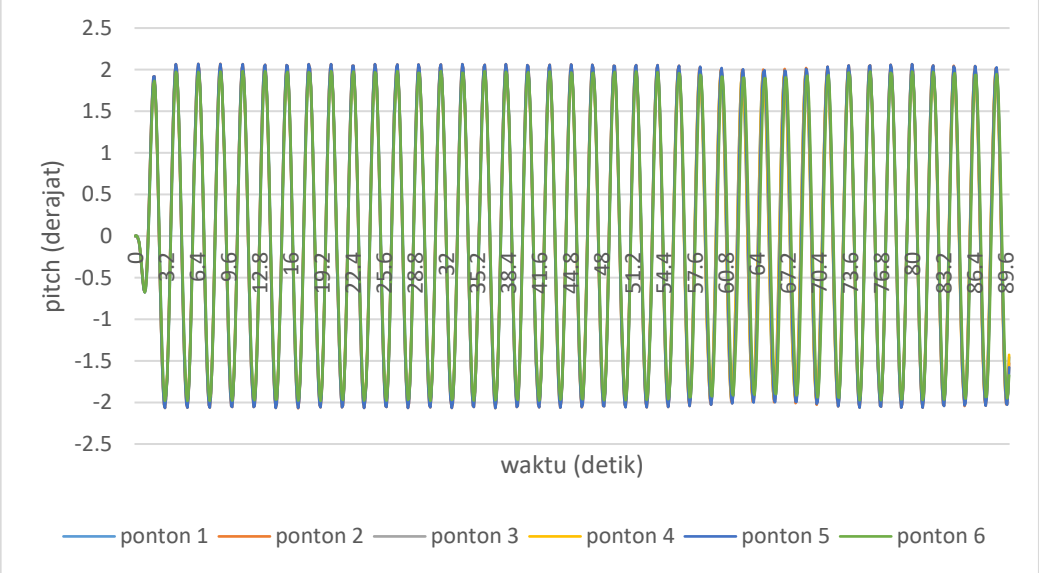
Gambar 4.5 merupakan hasil simulasi dengan respon gerakan ponton ketika diberikan gangguan gelombang dengan arah datang gelombang 45$^{o}$. Grafik RAO yang dihasilkan terlihat mengalami fluktuatif, pada awal simulasi amplitudo terlihat relatif stabil kemudian amplitudo mulai naik pada detik ke-23,8 hingga mencapai puncaknya pada detik ke-44,2 – 47,6 kemudian kembali turun hingga detik ke-71,4 kemudian amplitudo kembali stabil hingga akhir simulasi. Grafik tersebut menunjukan bahwa ketika gelombang datang dengan arah datang gelombang 45$^{o}$ gerakan ponton A akan beresonansi dengan gelombang air pada rentang waktu tertentu sehingga menyebabkan amplitudonya naik dan kembali turun menuju keadaan stabilnya, resonansi antara gelombang air dan gerakan ponton ini sangat mungkin terjadi secara periodik dengan rentang waktu tertentu. Nilai maksimum yang dihasilkan yaitu sebesar 1,795$^{o}$.

Gambar 4.6 merupakan hasil simulasi dengan respon gerakan ponton ketika diberikan gangguan gelombang dengan arah datang gelombang 90$^{o}$. Grafik RAO

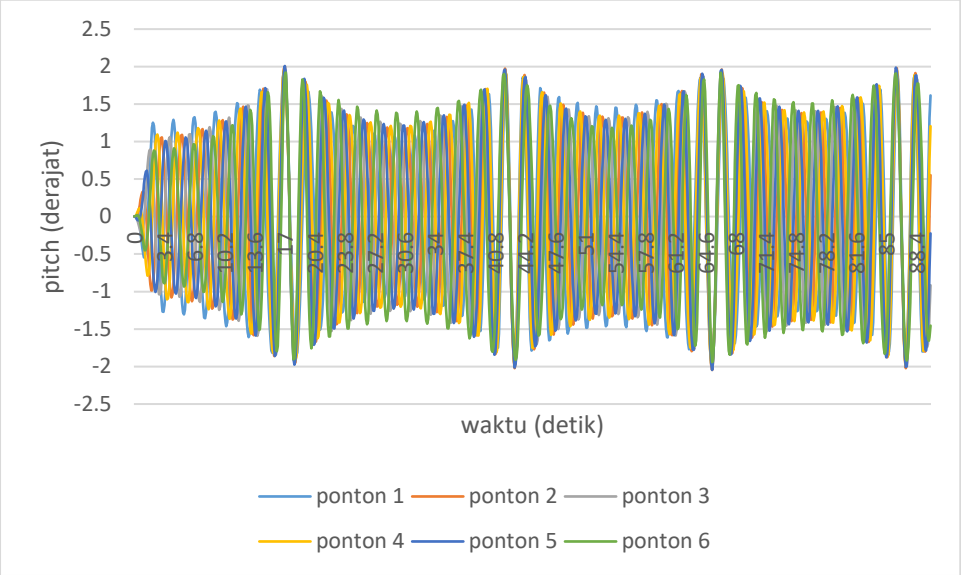
yang dihasilkan dari simulasi terlihat terus mengalami kenaikan hingga akhir waktu simulasi. Nilai maksimum yang dihasilkan yaitu sebesar -0,0825$^{o}$. Nilai amplitudo yang dihasilkan pada variasi arah datang gelombang 90$^{o}$ ini terlihat kecil jika dibandingkan dengan variasi sebelumnya, hal ini terjadi karena arah datang gelombang tegak lurus dengan arah gerakan pitching ponton yang diamati sehingga nilai yang dihasilkan tidak begitu signifikan. Nilai amplitudo tersebut masih mungkin terus mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya waktu simulasi.

### 4.2.2 Respon Gerakan Ponton B

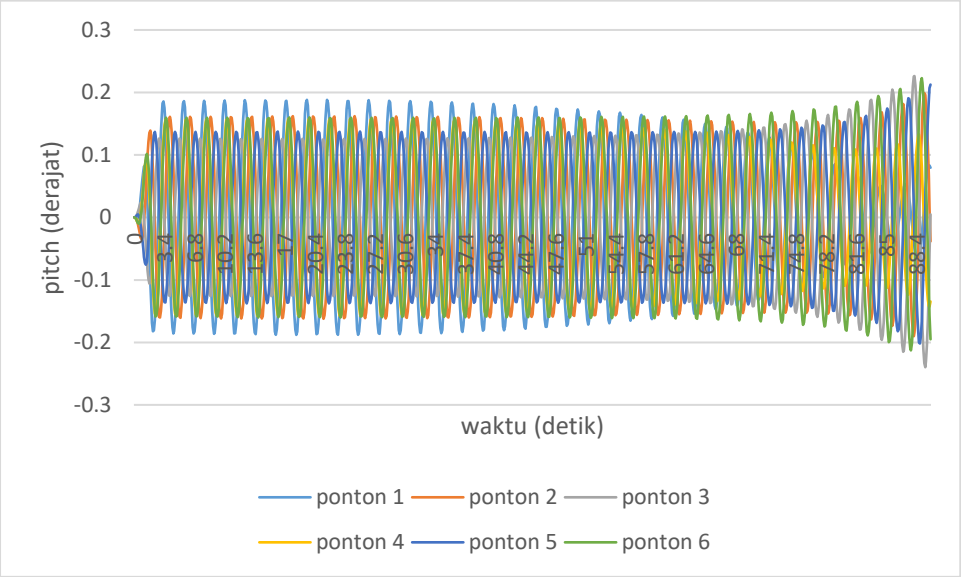
Hasil respon gerakan ponton B dengan setup amplitudo gelombang sebesar 0,05 m dan periode gelombang sebesar 2,3 detik. Variasi pada simulasi ini adalah arah datangnya gelombang yaitu 0$^{o}$, 45$^{o}$, dan 90$^{o}$ seperti pada gambar 4.3. Grafik RAO yang digunakan adalah grafik *pitching*.




**Gambar 4.7** Grafik RAO ponton B arah datang gelombang 0$^{o}$




**Gambar 4.8** Grafik RAO ponton B arah datang gelombang 45º




**Gambar 4.9** Grafik RAO ponton B arah datang gelombang 90º

Gambar 4.7 merupakan hasil simulasi dengan respon gerakan ponton ketika diberikan gangguan gelombang dengan arah datang gelombang 0º. Secara keseluruhan grafik RAO yang dihasilkan relatif stabil sepanjang waktu 90 detik dengan nilai maksimum yang dihasilkan sebesar 2,0684º. Nilai maksimum yang dihasilkan dari ponton B terdapat perbedaan berdasarkan posisi dari ponton itu sendiri pada *array* pontonnya, selisih nilai amplitudo terbesarnya sebesar 0,0869º. Grafik RAO yang secara keseluruhan terlihat stabil menunjukan bahwa ketika

gelombang air datang menuju ponton dengan arah datang gelombang 0$^{o}$ maka ponton B akan terus bergetar dengan konstan seiring bertambahnya waktu.

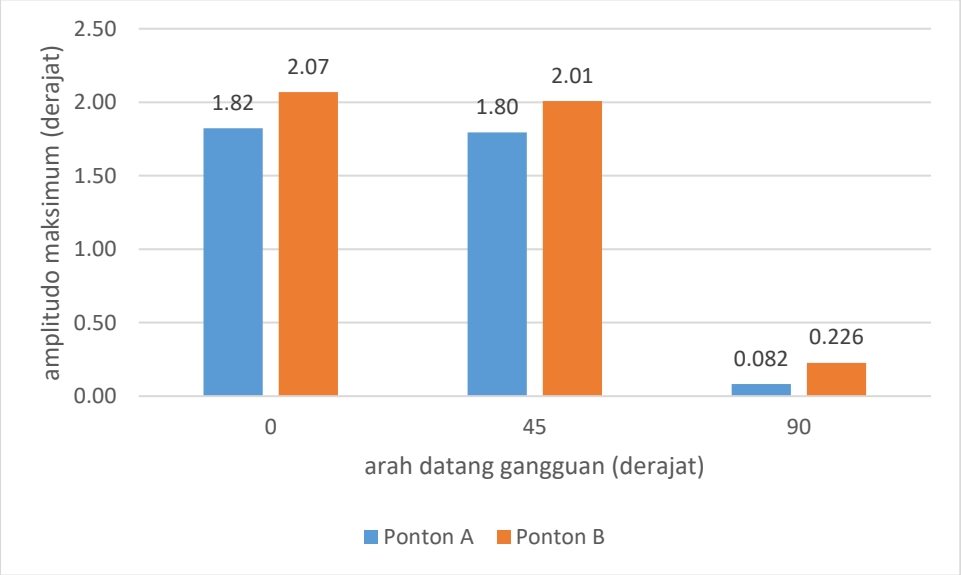
Gambar 4.8 merupakan hasil simulasi dengan respon gerakan ponton ketika diberikan gangguan gelombang dengan arah datang gelombang 45$^{o}$. Grafik RAO yang dihasilkan terlihat mengalami fluktuatif pada amplitudo gelombangnya. Grafik tersebut menunjukan bahwa ketika gelombang datang dengan arah datang gelombang 45$^{o}$ gerakan ponton B akan beresonansi dengan gelombang air pada rentang waktu tertentu sehingga menyebabkan amplitudonya naik pada rentang waktu tertentu, resonansi antara gelombang air dan gerakan ponton ini terjadi secara periodik dengan rentang waktu tertentu. Nilai amplitudo maksimum yang dihasilkan sebesar 2,008$^{o}$. Perubahan frekuensi yang terlihat pada grafik RAO terjadi karena pada saat gelombang datang menuju ponton dengan arah datang gelombang 45$^{o}$, ponton berputar hingga sudut tertentu lalu kembali ke keadaan semulanya, gerakan ini terjadi secara periodik pada rentang waktu tertentu. Perbedaan fasa gelombang juga terlihat pada grafik RAO, perbedaan fasa tersebut terjadi pada ponton karena perbedaan posisi susunan pada *array* pontonnya, semakin jauh posisi ponton dari arah datanya gelombang makan perubahan fasanya semakin besar.

Gambar 4.9 merupakan hasil simulasi dengan respon gerakan ponton ketika diberikan gangguan gelombang dengan arah datang gelombang 90$^{o}$. Grafil RAO yang dihasilkan terlihat stabil pada rentang waktu 0 – 75 detik kemudian amplitudonya mengalami kenaikan hingga akhir waktu simulasi. Nilai amplitudo maksimum yang dihasilkan sebesar 0,2262$^{o}$. Nilai amplitudo yang dihasilkan pada variasi arah datang gelombang 90$^{o}$ ini terlihat kecil jika dibandingkan dengan variasi sebelumnya, hal ini terjadi karena arah datang gelombang tegak lurus dengan arah gerakan pitching ponton yang diamati sehingga nilai yang dihasilkan tidak begitu signifikan. Nilai amplitudo tersebut masih mungkin terus mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya waktu simulasi.

### 4.2.3 Perbandingan respon gerakan ponton A dan ponton B

Respon gerakan ponton A dan ponton B yang sudah dihasilkan dari simulasi tadi kemudian dibandingkan untuk mencari ponton mana yang memiliki performa lebih baik. Perbandingan yang dilakukan adalah membandingkan nilai amplitudo

maksimal yang dihasilkan oleh masing-masing ponton, ponton yang memiliki nilai amplitudo lebih kecil dianggap memiliki performa yang lebih baik karena dengan setup gelombang yang sama mampu mempertahankan kestabilannya.




**Gambar 4.10** Grafik perbandingan nilai amplitudo maksimum dua ponton

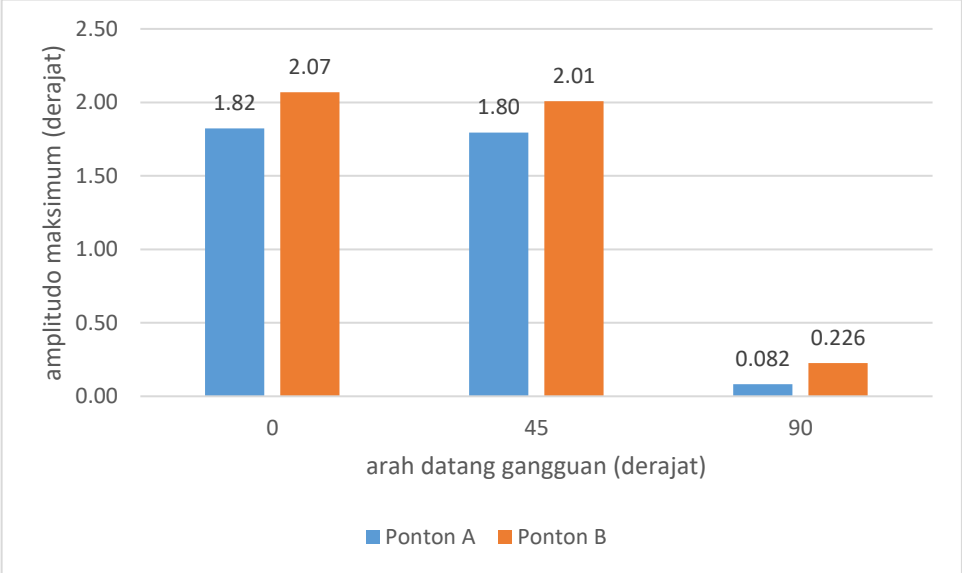
Gambar 4.10 menunjukan grafik perbandingan nilai amplitudo maksimum dari ponton A dan ponton B, dari grafik tersebut terlihat bahwa ponton A memiliki nilai amplitudo yang lebih kecil jika dibandingkan dengan ponton B yang berarti bawha ponton A memiliki performa yang lebih baik jika dibandingkan dengan ponton B. Selisih nilai amplitudo antara ponton A dan ponton B pada arah datang gelombang $0^o$, $45^o$, dan $90^o$ berturut-turut: 0,25, 0,21, dan 0,144. Ponton A memiliki amplitudo respon yang lebih kecil ini dapat terjadi karena struktur ponton A memiliki dimensi yang lebih lebar dibandingkan dengan ponton B sehingga dengan setup gelombang yang sama akan lebih sulit untuk menggerakan ponton A dibandingkan dengan ponton B. Pernyataan ini diperkuat oleh hasil penelitian (Diamantoulaki, Loukogeorgaki, and Angelides 2007) yang mengatakan bahwa respon RAO ponton akan menurun seiring dengan penambahan lebar ponton karena ada peningkatan simultan dari *moment of inertia*.

## 4.3 Pengaruh arah gangguan terhadap gerakan ponton

Simulasi respon gerakan ponton dilakukan untuk mengetahui seberapa stabil ponton dapat mempertahankan posisinya ketika diberi gangguan gelombang air dan hembusan angin. Hasil data yang didapat dari simulasi ini berupa grafik RAO. Amplitudo gelombang pada simulasi ini sebesar 0,05 m dan periode gelombang sebesar 2,3 detik. Kecepatan hembusan angin pada simulasi ini sebesar 2,4 m/s. Variasi yang dilakukan pada simulasi ini adalah adalah jenis ponton yang digunakan yaitu ponton A dan ponton B, arah datangnya gelombang yaitu 0º, 45º, dan 90º, dan arah hembusan angin yaitu 0º, 45º, 90º, 135º, dan 180º seperti pada gambar 4.3.

### 4.3.1 Pengaruh Arah Datang Gelombang Air

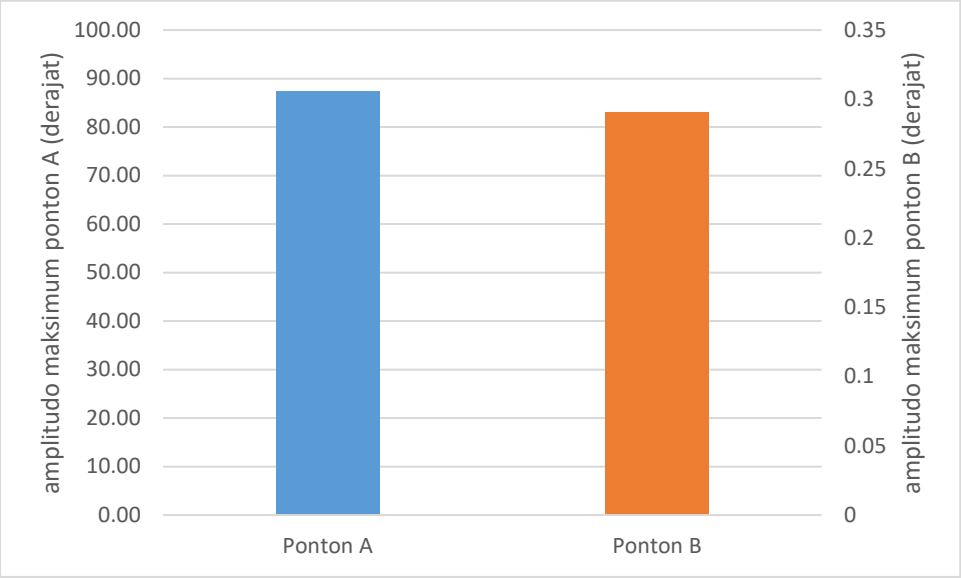
Simulasi respon gerakan ponton ini dilakukan dengan menggunakan setup amplitudo gelombang sebesar 0,05 m dan periode gelombang 2,3 detik, dan tanpa diberikan gangguan tambahan hembusan angin. Grafik RAO yang dihasilkan simulasi ini adalah *pitching* dan *yawing*.



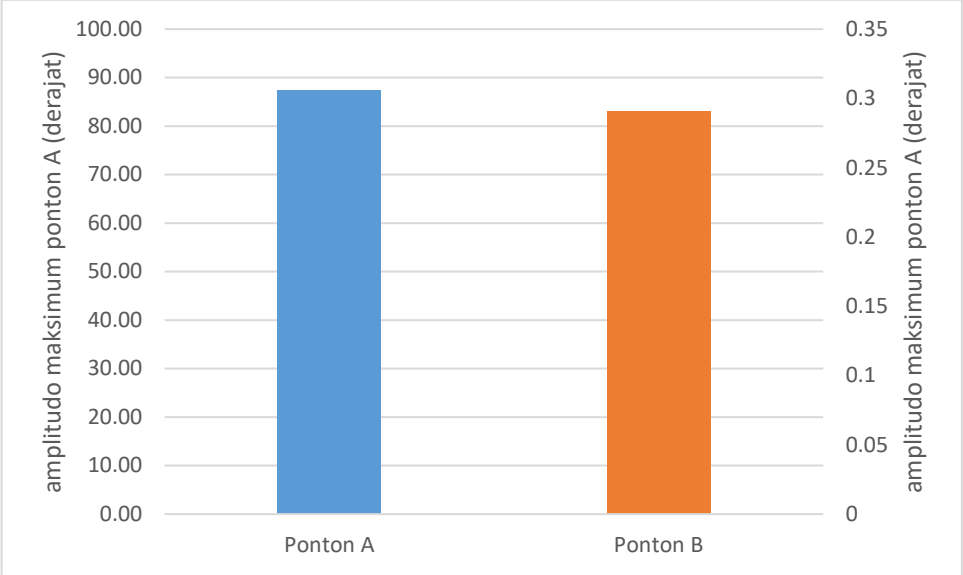

**Gambar 4.11** Grafik nilai maksimum RAO *pitching* tanpa gangguan hembusan angin

Gambar 4.11 menunjukan nilai amplitudo maksimum pada gerakan *pitching* dari kedua ponton saat diberikan gangguan gelombang air dengan variasi arah

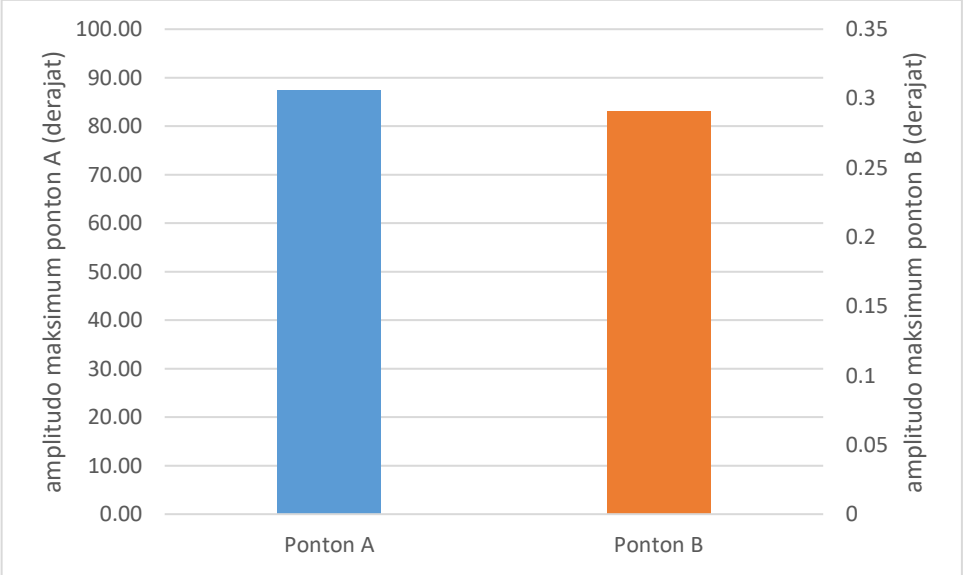
datang gelombang 0$^{o}$, 45$^{o}$, dan 90$^{o}$. Dilihat dari grafik tersebut terlihat bahwa arah datangnya gelombang akan mempengaruhi gerakan pontonnya, nilai amplitudo *pitching* terbesar terjadi ketika arah datang gelombang 0$^{o}$ sebesar 2,07, hal ini terjadi karena arah datangnya gelombang sejajar dengan gerakan *pitching* ponton sehingga energi yang berasal dari gelombang air terkonversi langsung menjadi gerakan *pitching* ponton. Jika membandingkan gerakan kedua ponton maka ponton yang memiliki performa kestabilan lebih baik adalah ponton A dimana nilai amplitudo maksimum gerakan *pitching*-nya lebih kecil dibandingkan dengan ponton B di semua variasi sudut datang gelombang air.




**Gambar 4.12** Grafik nilai maksimum RAO *yawing* tanpa gangguan hembusan angin pada arah datang gangguan 0$^{o}$



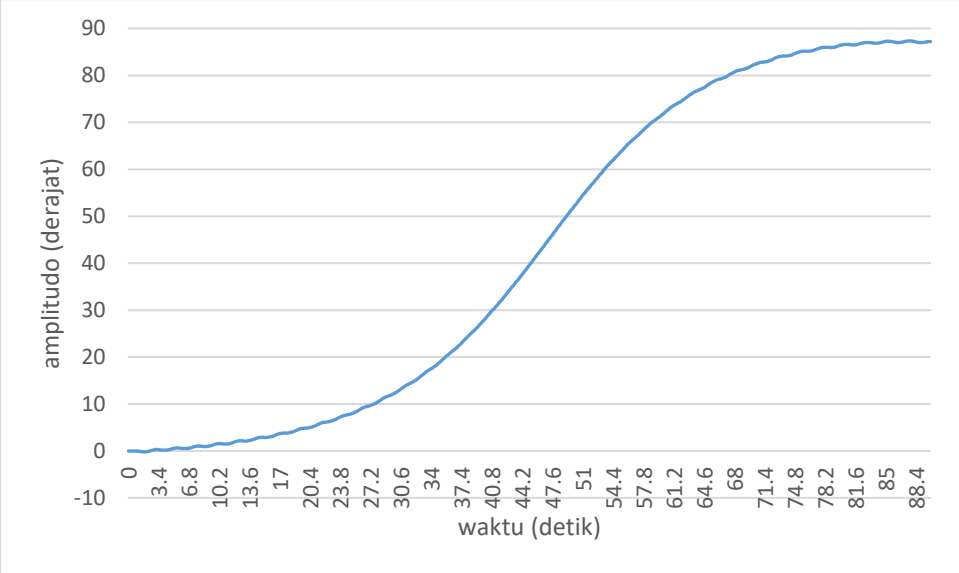

**Gambar 4.13** Grafik nilai maksimum RAO *yawing* tanpa gangguan hembusan angin pada arah datang gangguan 45º



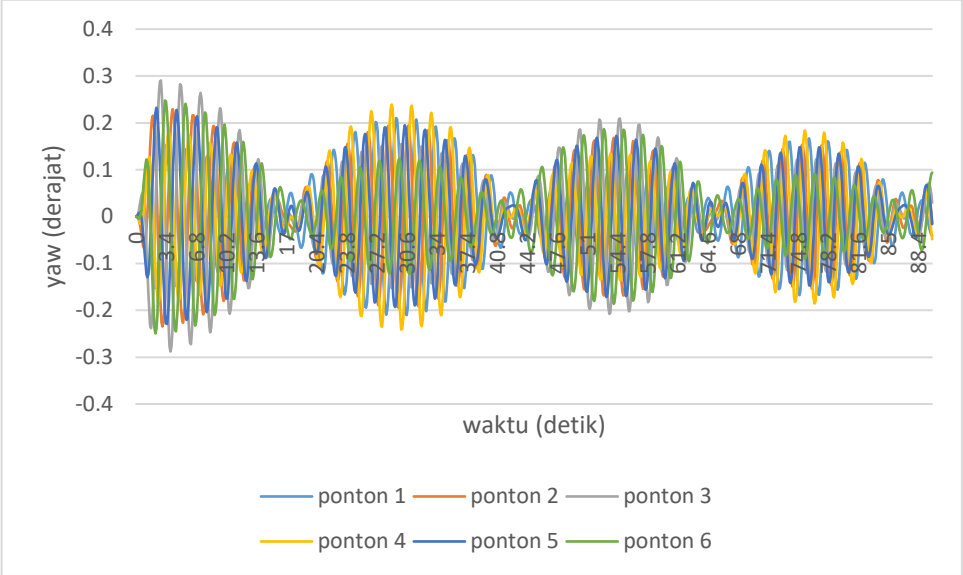

**Gambar 4.14** Grafik nilai maksimum RAO *yawing* tanpa gangguan hembusan angin pada arah datang gangguan 90º

Grafik pada gambar 4.12 sampai gambar 4.14 menunjukan nilai amplitudo maksimum pada gerakan *yawing* dari kedua ponton saat diberikan gangguan gelombang air dengan variasi arah datang gelombang 0º, 45º, dan 90º. Grafik tersebut menunjukan bahwa pada variasi arah gangguan gelombang 45º ini memiliki efek yang cukup besar pada gerakan *yawing* ponton, nilai *yawing* terbesar

terdapat pada ponton A dengan nilai sebesar 87,34$^{o}$. Jika dibandingkan dengan ponton B terlihat bahwa nilai *yawing* ponton A ini sangat besar, perbedaan yang besar ini dapat terjadi karena saat gelombang datang dari arah 45$^{o}$ ponton A mengalami rotasi dari posisi awal sejauh 87,34$^{o}$ dan tidak kembali ke posisi awal hingga akhir simulasi terlihat pula dari grafik responnya pada gambar 4.15 yang tidak membentuk pola sinusoidal, pada ponton B ketika gelombang datang dari arah 45$^{o}$ ponton mengalami rotasi juga namun yang membedakan dengan ponton A yaitu ponton B akan berotasi hingga sudut tertentu lalu kemudian akan berotasi ke arah sebaliknya hingga ke posisi awalnya, gerakan ini terjadi secara berulang dalam rentang waktu tertentu hingga akhir waktu simulasi berakhir seperti terlihat pada gambar 4.16.



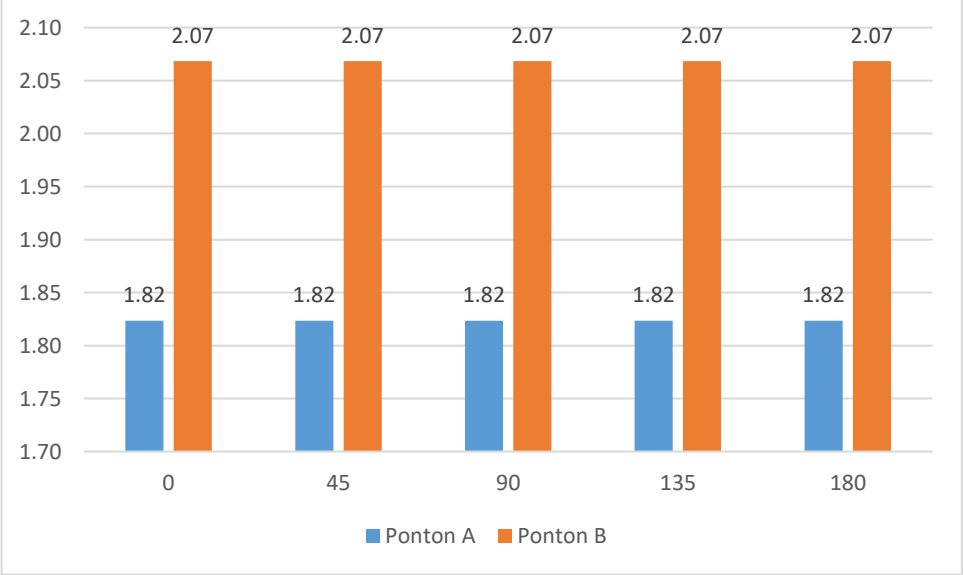

**Gambar 4.15** Grafik RAO gerak *yawing* ponton A arah datang gelombang 45$^{o}$



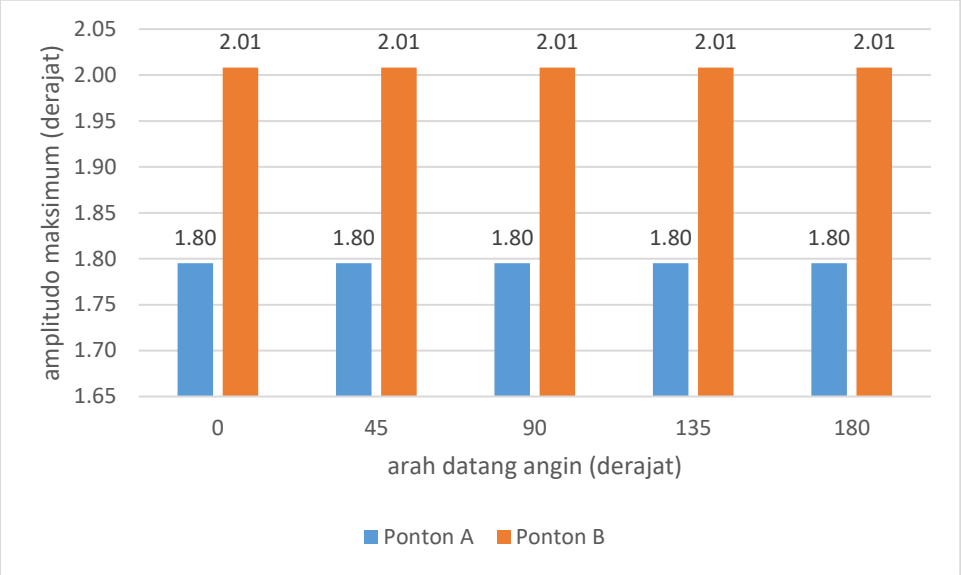

**Gambar 4.16** Grafik RAO gerak *yawing* ponton B arah datang gelombang 45º

### 4.3.2 Pengaruh arah datang gelombang air dan hembusan angin

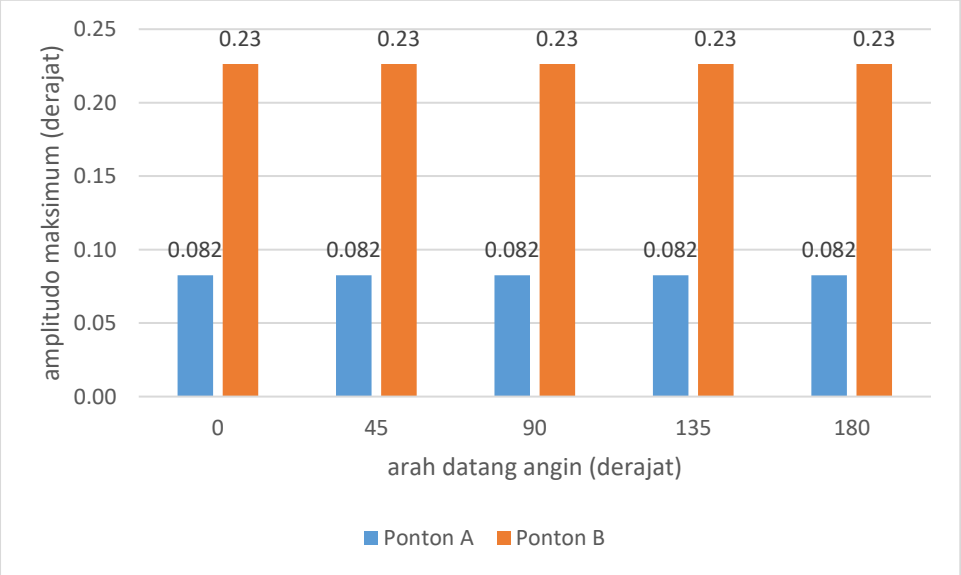
Simulasi respon gerakan ponton ini dilakukan dengan menggunakan setup amplitudo gelombang sebesar 0,05 m dan periode gelombang 2,3 detik, dengan diberikan gangguan tambahan hembusan angin dengan kecepatan 2,4 m/s. Grafik RAO yang dihasilkan simulasi ini adalah *pitching* dan *yawing*.




**Gambar 4.17** Grafik RAO *pitching* arah datang gelombang air 0º dengan variasi arah gangguan angin



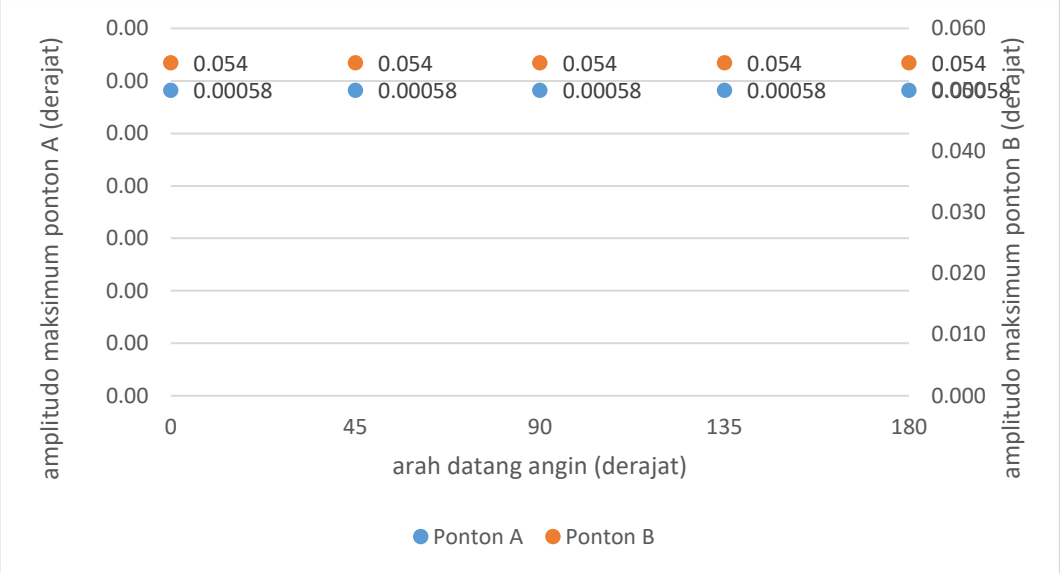

**Gambar 4.18** Grafik RAO *pitching* arah datang gelombang air 45$^{o}$ dengan variasi arah gangguan angin



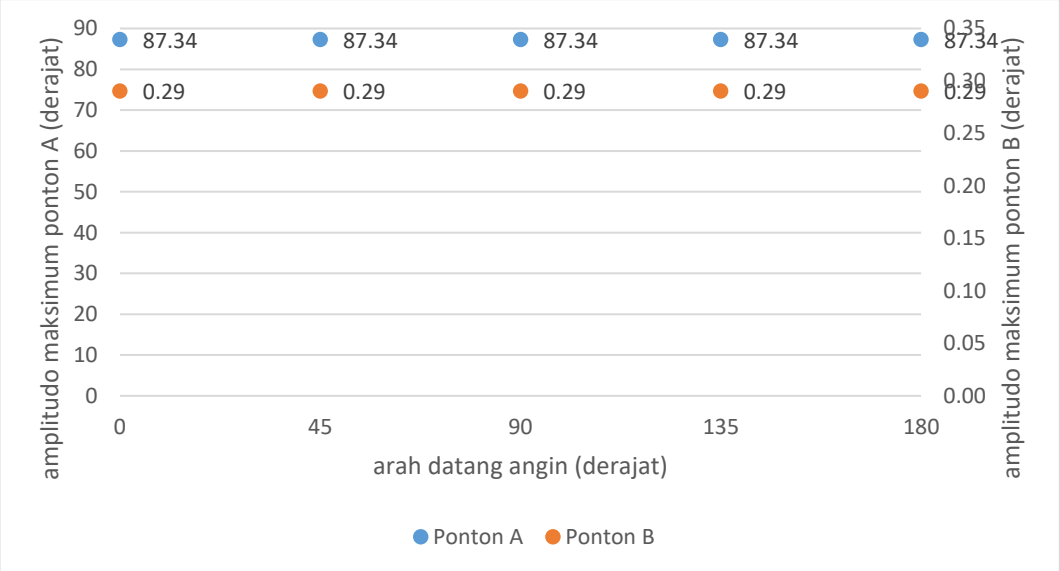

**Gambar 4.19** Grafik RAO *pitching* arah datang gelombang air 90$^{o}$ dengan variasi arah gangguan angin

Gambar 4.17 sampai dengan gambar 4.19 menunjukan grafik nilai maksimum RAO *pitching* dengan gangguan gelombang air dan hembusan angin. Nilai maksimum RAO yang dihasilkan menunjukan bahwa arah datang hembusan angin tidak berpengaruh secara signifikan terhadap nilai amplitudo pitching ponton A maupun ponton B dimana nilainya tetap disemua variasi arah datang hembusan

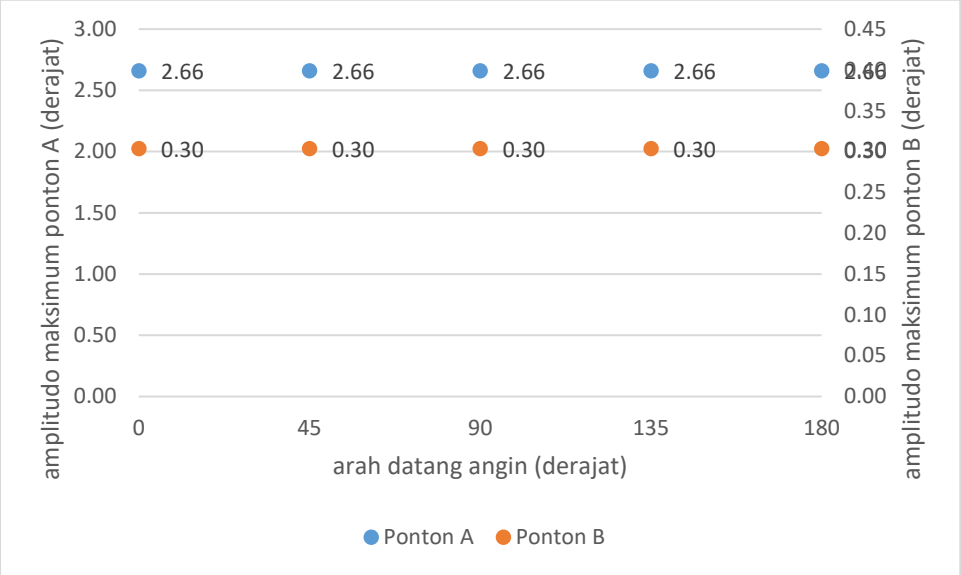
angin, hal ini dapat terjadi karena kecepatan hembusan angis masih terlalu kecil untuk memengaruhi nilai RAO. Jika membandingkan gerakan kedua ponton maka ponton yang memiliki performa kestabilan lebih baik adalah ponton A dimana nilai amplitudo maksimum gerakan *pitching*-nya lebih kecil dibandingkan dengan ponton B di semua variasi sudut datang gelombang air dan variasi arah datang hembusan angin.




**Gambar 4.20** Grafik RAO *yawing* arah datang gelombang air 0$^{o}$ dengan variasi arah gangguan angin




**Gambar 4.21** Grafik RAO *yawing* arah datang gelombang air 45$^{o}$ dengan variasi arah gangguan angin




**Gambar 4.22** Grafik RAO *yawing* arah datang gelombang air 90$^{o}$ dengan variasi arah gangguan angin

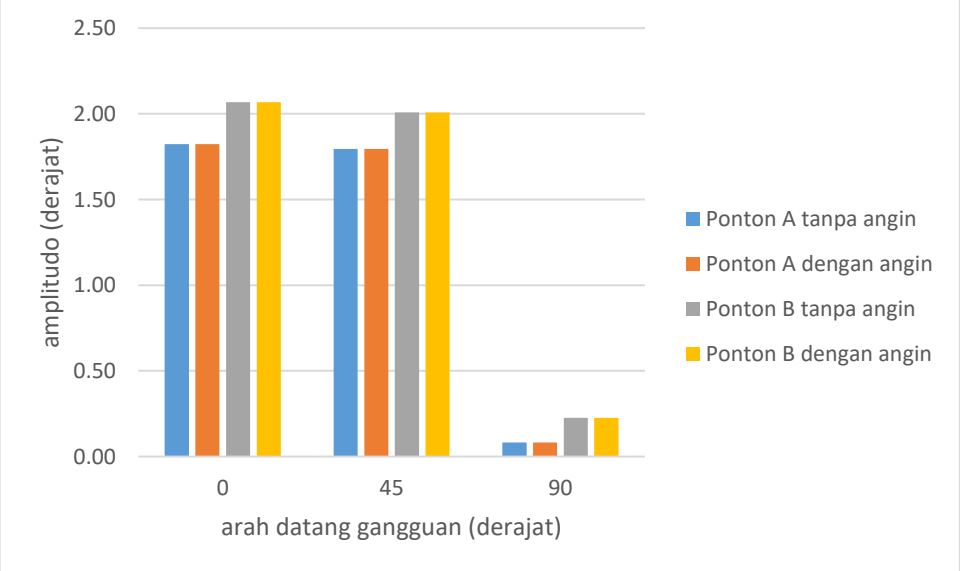
Gambar 4.20 sampai dengan gambar 4.22 menunjukan grafik nilai maksimum RAO *yawing* dengan gangguan gelombang air dan hembusan angin. Melihat semua nilai maksimum RAO yang dihasilkan terlihat bahwa arah datang hembusan angin tidak berpengaruh secara signifikan terhadap nilai amplitudo *pitching* ponton A maupun ponton B dimana nilainya tetap disemua variasi arah datang hembusan angin, hal ini menunjukan bahwa kecepatan hembusan angis sebesar 2,4 m/s masih terlalu kecil untuk bisa memengaruhi nilai RAO kedua ponton.

Jika membandingkan gerakan kedua ponton terlihat bahwa pada arah datang gelombang air 0$^{o}$ ponton A memiliki kestabilan yang lebih baik meskipun nilai amplitudo kedua pontonnya tergolong sangat kecil. Nilai amplitudo maksimum gerakan *yawing* ponton A sebesar 0,00058 sedangkan nilai amplitudo maksimum gerakan *yawing* ponton B sebesar 0,054. Hasil berbeda terlihat pada gambar 4.18 dan gambar 4.19 dimana pada grafik tersebut terlihat bahwa pada sudut datang gelombang 45$^{o}$ dan 90$^{o}$ ponton B memiliki kestabilan yang lebih baik hal tersebut terlihat dari nilai maksimum amplitudo ponton B lebih kecil dibandingkan dengan ponton A dengan selisih yang sangat signifikan pada variasi arah datang gelombang 45$^{o}$. Pada variasi arah datang gelombang 45$^{o}$ nilai amplitudo maksimum ponton A

memiliki nilai yang sangat besar, perbedaan yang besar dengan ponton B ini dapat terjadi karena saat gelombang datang dari arah 45$^o$ ponton A mengalami rotasi dari posisi awal sejauh 87,34$^o$ dan tidak kembali ke posisi awal hingga akhir simulasi, pada ponton B ketika gelombang datang dari arah 45$^o$ ponton mengalami rotasi juga namun yang membedakan dengan ponton A yaitu ponton B akan berotasi hingga sudut tertentu lalu kemudian akan berotasi ke arah sebaliknya hingga ke posisi awalnya, gerakan ini terjadi secara berulang dalam rentang waktu tertentu hingga akhir waktu simulasi berakhir.

### 4.3.3 Perbandingan pengaruh variasi gangguan terhadap respon gerakan ponton

Respon gerakan ponton A dan ponton B yang sudah dihasilkan dari simulasi dengan variasi jenis dan arah gangguan tadi kemudian dibandingkan untuk mencari ponton mana yang memiliki performa lebih baik. Perbandingan yang dilakukan adalah membandingkan nilai amplitudo maksimal yang dihasilkan oleh masing-masing ponton, ponton yang memiliki nilai amplitudo lebih kecil dianggap memiliki performa yang lebih baik karena dengan setup gelombang yang sama mampu mempertahankan kestabilannya.

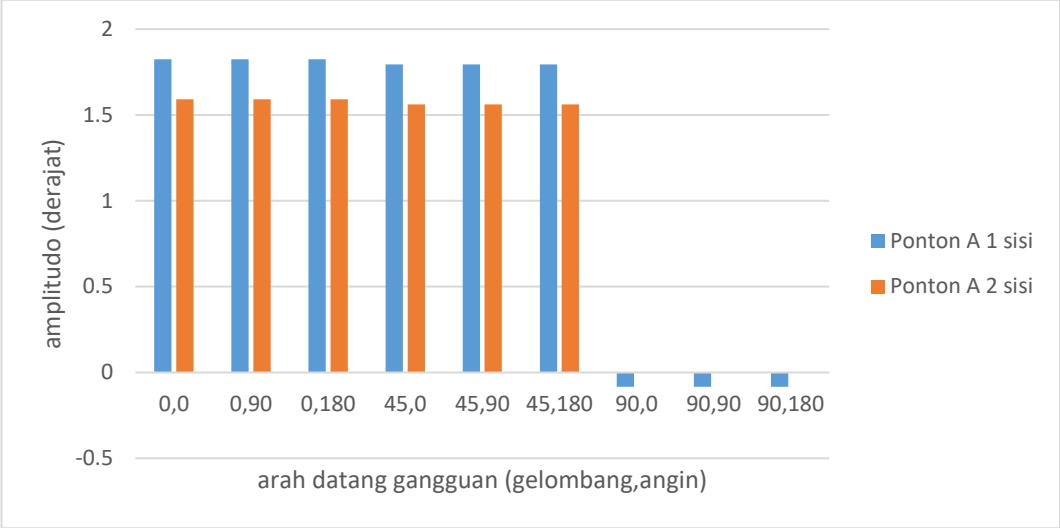



**Gambar 4.23** Grafik perbandingan nilai amplitudo maksimum *pitching* dua ponton dengan variasi jenis gangguan

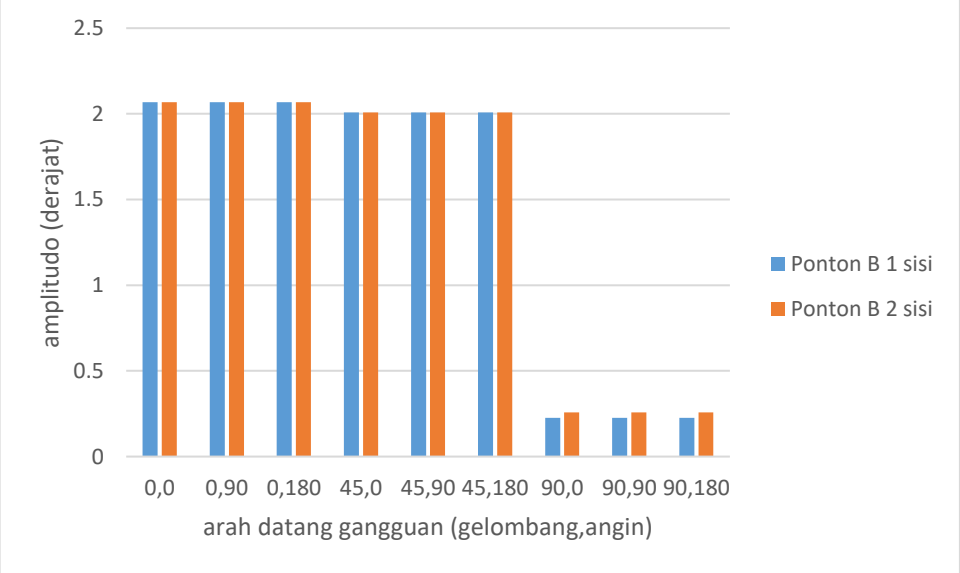
Gambar 4.23 menunjukan grafik perbandingan nilai amplitudo maksimum gerakan *pitching* dari ponton A dan ponton B dengan variasi jenis gangguan, dari grafik tersebut terlihat bahwa nilai amplitudo saat kedua ponton hanya diberi gangguan gelombang air dan ketika kedua ponton diberikan gangguan gelombang air dan hembusan angin memiliki nilai amplitudo maksimum yang sama disetiap arah datang gelombang, hal ini menunjukan bahwa adanya gangguan tambahan berupa hembusan angin dengan kecepatan 2,4 m/s tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap respon gerakan ponton, dapat dilihat dari nilai amplitudo yang sama antara kedua variasi jenis gangguan. Hembusan angin dengan kecepatan 2,4 m/s dianggap masih terlalu kecil untuk memberikan interfensi tambahan untuk menggerakan kedua ponton.

## 4.4 Pengaruh susunan panel surya terhadap gerakan ponton

Simulasi respon gerakan ponton ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penyusunan panel terhadap gerakan respon ponton. Hasil data yang didapat dari simulasi ini berupa grafik RAO. Amplitudo gelombang pada simulasi ini sebesar 0,05 m dan periode gelombang sebesar 2,3 detik. Kecepatan hembusan angin pada simulasi ini sebesar 2,4 m/s. Variasi yang dilakukan pada simulasi ini adalah adalah jenis ponton yang digunakan yaitu ponton A dan ponton B, arah datangnya gelombang yaitu $0^o$, $45^o$, dan $90^o$, susunan panel yaitu satu sisi dan dua sisi, dan arah hembusan angin yaitu $0^o$, $90^o$, dan $180^o$ seperti pada gambar 4.3. Grafik yang dihasilkan adalah nilai amplitudo maksimum gerakan *pitching* pada kedua jenis ponton.




**Gambar 4.24** Grafik perbandingan amplitudo maksimum gerakan *pitching* ponton A




**Gambar 4.25** Grafik perbandingan amplitudo maksimum gerakan *pitching* ponton B

Gambar 4.24 menunjukan perbandingan nilai amplitudo maksimum gerakan *pitching* dari respon gerakan ponton A dengan variasi susunan panel surya satu sisi dan dua sisi. Dari grafik dapat terlihat bahwa ponton dengan variasi susunan panel surya dua sisi memiliki performa kestabilan yang lebih baik terlihat dari nilai amplitudo maksimumnya yang lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai amplitudo maksimum ponton dengan variasi susunan panel surya dua sisi.

Gambar 4.25 menunjukan perbandingan nilai amplitudo maksimum gerakan *pitching* dari respon gerakan ponton B dengan variasi susunan panel surya satu sisi dan dua sisi. Dari grafik dapat terlihat bahwa ponton dengan variasi susunan panel surya dua sisi memiliki performa kestabilan yang seimbang antara variasi susunan panel surya satu sisi dan dua sisi pada arah datang gelombang $0^o$ dan $45^o$, sedangkan pada arah datang gelombang $90^o$ terlihat bahwa ponton dengan variasi susunan panel surya satu sisi memiliki performa yang sedikit lebih baik dibandingkan dengan variasi susunan panel surya dua sisi terlihat dari nilai amplitudo maksimumnya yang lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai amplitudo maksimum ponton dengan variasi susunan panel surya dua sisi.

## 4.5 Diskusi

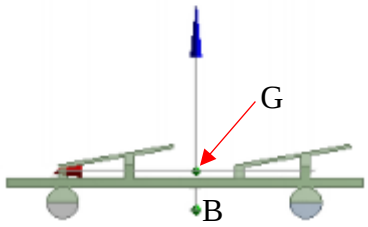
Pembangkit listrik tenaga surya terapung merupakan sebuah pendekatan yang baru dan inovatif dalam pemasangan panel surya diatas permukaan air untuk melakukan penghematan biaya pembangunan PLTS karena tidak diperlukannya biaya pembelian atau penyewaan tanah. Dalam tugas akhir ini digunakan dua jenis ponton yang berguna sebagai struktur pelampung panel surya, kedua jenis ponton tersebut kemudian dibandingkan performa kestabilannya terhadap gangguan berupa gelombang air dan hembusan angin. Metode yang digunakan pada tugas akhir ini adalah menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD) untuk mengsimulasikan gerakan ponton, hasil dari simulasi CFD yang didapatkan berupa grafik respon amplitudo operator. Variasi-variasi yang digunakan pada tugas akhir ini adalah jenis ponton, jenis gangguan, arah datang gangguan, dan jenis susunan ponton.

Setelah semua hasil simulasi dianalisa dan dibandingkan performanya pada setiap variasi yang digunakan, maka perlu untuk menentukan jenis ponton mana yang secara keseluruhan memiliki performa lebih baik. Pertama, analisa kestabilan ponton ditinjau menggunakan teori kestabilan benda apung, pada teori tersebut disebutkan bahwa apabila sebuah benda apung memiliki tinggi metasentris (GM) > 0 atau titik metasentris (M) berada diatas titik berat (G) benda apung maka benda apung tersebut dikategorikan dalam keseimbangan stabil, nilai GM dari ponton

yang digunakan didapatkan dari hasil simulasi dimana nilainya dapat dilihat pada gambar 4.26 sampai gambar 4.27.

| **Small Angle Stability Parameters** | *with respect to Principal Axes* | |
|---|---|---|
| CoG to CoB (BG): | 0.4114357 m | |
| Metacentric Heights (GMX/GMY): | 12.593216 m | 21.334095 m |
| CoB to Metacentre (BMX/BMY): | 13.004652 m | 21.745531 m |

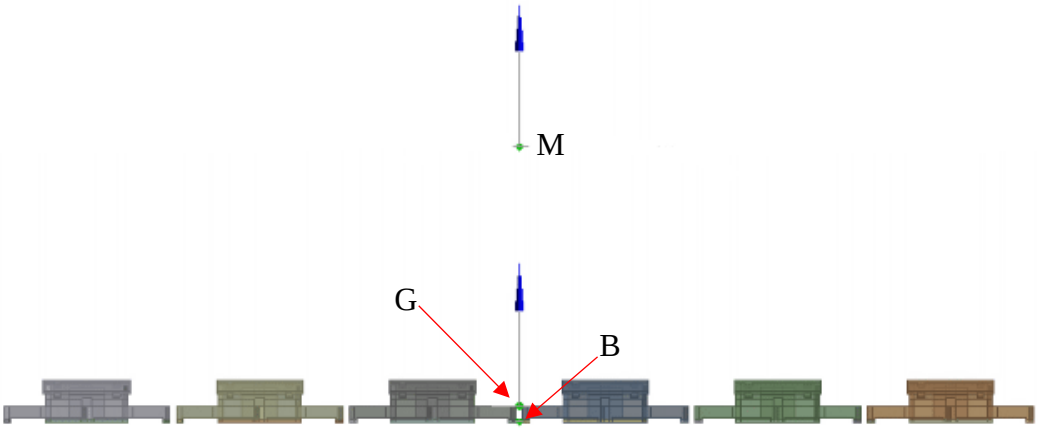
**Gambar 4.26** Nilai tinggi metasentris ponton A




**Gambar 4.27** Letak titik metasentris, pusat gravitasi, dan pusat *buoyancy* ponton A

| **Small Angle Stability Parameters** | *with respect to Principal Axes* | |
|---|---|---|
| CoG to CoB (BG): | 0.2199993 m | |
| Metacentric Heights (GMX/GMY): | 3.9555898 m | 4.9453201 m |
| CoB to Metacentre (BMX/BMY): | 4.1755891 m | 5.1653194 m |

**Gambar 4.28** Nilai tinggi metasentris ponton B




**Gambar 4.29** Letak titik metasentris, pusat gravitasi, dan pusat *buoyancy* ponton B

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa ponton A dan ponton B memiliki nilai tinggi metasentris (GM) > 0 atau bernilai positif, dimana hal tersebut menunjukan bahwa ponton A dan ponton B memiliki keseimbangan stabil.

Kedua, analisa performa ponton berdasarkan gerakan ponton. Pada variasi simulasi pertama yaitu jenis ponton, terlihat pada gambar 4.10 bahwa ponton A memiliki nilai amplitudo maksimum yang lebih kecil dibandingkan dengan ponton B dengan selisih nilai antara 0,144 – 0,25. Pada variasi kedua yaitu jenis gangguan dan arah datang gngguan, terlihat pada gambar 4.11 bahwa ponton A memiliki nilai amplitudo maksimum gerak *pitching* yang lebih kecil dibandingkan dengan ponton B. Pada gambar 4.12 terlihat hasil yang berbeda dimana ponton B memiliki nilai maksimum amplitudo yang lebih kecil dibandingkan dengan ponton A pada gerak *yawing* dengan selish nilai yang sangat signifikan terjadi pada arah datang gelombang $45^{o}$. Pada simulasi variasi ini pula dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan jenis gangguan berupa hembusan angin dengan kecepatan angin sebesar 2,4 m/s tidak mempengaruhi performa kestabilan ponton terlihat pada gambar 4.23 bahwa nilai amplitudo maksimumnnya menunjukan nilai yang sama. Pada variasi simulasi ketiga yaitu susunan panel surya, terlihat pada gambar 4.24 bahwa susunan dua sisi panel surya pada ponton A memiliki nilai maksimum amplitudonya lebih kecil dibandingkan dengan susunan satu sisi panel surya. Hasil yang berbeda ditunjukan oleh gambar 4.25 terlihat bahwa variasi susunan panel surya tidak begitu berpengaruh terhadap performa kestabilannya terlihat dari nilai

amplitudo yang sama pada variasi arah datang gelombang $0^o$ dan $45^o$, sedangkan pada arah datang gelombang $90^o$ terlihat sedikit perbedaan nilai amplitudonya dimana susunan satu sisi panel surya memiliki nilai yang lebih kecil.

Setelah melihat perbandingan performa dari kedua ponton dengan semua variasi yang diberikan, dalam menentukan ponton mana yang memiliki performa lebih baik mengacu pada salah satu tantangan yang harus dihadapi dalam pengaplikasian PLTS terapung yaitu sistem PLTS terapung harus mampu menahan gaya-gaya yang berasal dari lingkungan diantaranya adalah gelombang air dan hembusan angin(Sahu, Yadav, and Sudhakar 2016), maka penulis menyimpulkan bahwa ponton B memiliki performa yang lebih baik, meskipun dalam beberapa variasi ponton B terlihat memiliki performa yang lebih buruk namun nilai amplitudonya tidak begitu signifikan dibandingkan dengan ponton A, tetapi jika melihat pada grafik nilai amplitudo gerak *yawing* yang ditunjukan pada gambar 4.12 maupun gambar 4.21 terlihat bahwa ponton B memiliki performa yang lebih baik dibandingkan dengan ponton A terlebih lagi pada variasi arah datang gelombang $45^o$ selisih nilai amplitudonya sangat signifikan dimana ponton A memiliki nilai yang sangat besar. Dapat disimpulkan pula bahwa ponton B memiliki performa yang lebih konsisten baik pada gerak *pitching* maupun *yawing* pada segala arah datang gelombang dan nilainya pun relatif kecil, hal ini dapat terlihat dari nilai respon amplitudonya yang memiliki selisih tidak begitu besar antara variasi yang diberikan.

Meninjau dari hasil respon gerak ponton, dapat dilihat bahwa baik ponton A maupun ponton B memiliki nilai amplitudo maksumum pada arah gerak pitching yang tergolong sangat kecil dengan nilai respon terbesarnya $2{,}07^o$ sehingga mengacu pada penelitian (Timotius et al. 2018) intensitas matahari yang diterima oleh panel surya akan tetap optimal karena pada daerah bandung kemiringan panel surya yang optimal untuk menerima intensitas cahaya matahari dengan sudut kemiringan maksimal $14{,}85^o$.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB V
# KESIMPULAN DAN SARAN

## 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi dan analisa data yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang dapat diambil dari tugas akhir ini adalah:

a. Berdasarkan hasil simulasi diketahui bahwa ponton A dan ponton B berada dalam keseimbangan stabil. Ponton A memiliki performa kestabilan yang lebih baik pada gerak *pitching* dengan selisih nilai amplitudo maksimum berkisar antara 0,144 – 0,25$^{o}$, sedangkan ponton B memiliki performa kestabilan yang lebih baik pada gerak *yawing*, selisih nilai amplitudo maksimum pada variasi arah datang gelombang 45$^{o}$ sebesar 87,05. Sehingga dapat disimpulakan bahwa ponton B memiliki performa kestabilan yang lebih baik dan lebih konsisten dibandingkan dengan ponton A.
b. Hasil simulasi menunjukan bahwa variasi susunan panel 1 sisi dan susunan panel 2 sisi dapat mempengaruhi performa kestabilan ponton A dimana dengan variasi susunan panel 2 sisi ponton A memiliki performa kestabilan yang lebih baik. Sedangkan pada ponton B variasi susunan panel 1 sisi dan 2 sisi tidak begitu mempengaruhi performa kestabilan pontonnya.

## 5.2 Saran

Penelitian ini masih butuh untuk dikembangkan lebih lanjut, maka saran yang dapat diberikan pada penelitian ini antara lain:

a. Perlu dilakukan simulasi dan analisa mengenai stress dan strength ponton untuk mengetahui ketahanan ponton
b. Perlu dilakukan analisa mengenai respon gerak ponton saat simulasi dilakukan menggunakan *mooring*
c. Perlu dilakukan analisa mengenai daya listrik yang didapatkan pada saat panel surya disusun 1 sisi dan 2 sisi untuk mengetahui pengaruh susunan panel surya.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR PUSTAKA


Barrass, Bryan, and Captain R. Derrett. 2006. Ship Stability for Masters and Mates *Ship Stability for Masters and Mates*.

Barua, Dr. Dilip K. 2017. "Ship Motion and Mooring Restraints." *Wide Canvas*. https://widecanvas.weebly.com/science--technology/ship-motion-and-mooring-restraints (June 3, 2020).

Bist, Ritu Raj, and Mohd Saaqib. 2019. "Comparison between Floating Solar PV Plant and Grounded PV Plant at Bhimtal." (1): 453–56.

Cazzaniga, R. et al. 2018. "Floating Photovoltaic Plants: Performance Analysis and Design Solutions." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 81(May): 1730–41. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.269.

Diamantoulaki, Ioanna, Eva Loukogeorgaki, and Demos C. Angelides. 2007. "3D Analysis of Free and Moored Twin-Pontoon Floating Breakwaters." *Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference*: 2515–22.

Ecosoch. 2016. "On Grid Solar PV System." https://www.ecosoch.com/grid-solar-pv-system/#tab-4963a15d4acaab89cef (June 3, 2020).

Li, Xuan, and Wei Zhang. 2020. "Long-Term Fatigue Damage Assessment for a Floating Offshore Wind Turbine under Realistic Environmental Conditions." *Renewable Energy* 159: 570–84. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.043.

Liu, Haohui et al. 2018. "Field Experience and Performance Analysis of Floating PV Technologies in the Tropics." *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 26(12): 957–67.

Malalasekera, H. K. Versteeg dan W. 1996. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method Approach*. Prentice Hall.

Sahu, Alok, Neha Yadav, and K. Sudhakar. 2016. "Floating Photovoltaic Power Plant: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 66: 815–24.

Santafé, Miguel Redón et al. 2014. "Implementation of a Photovoltaic Floating Cover for Irrigation Reservoirs." *Journal of Cleaner Production* 66: 568–70.

http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.006.

Selvaraj, Kavitha. 2019. “A STUDY ON MATHEMATICAL MODELLING OF SHIP.” 02(February).

Sharma, Paritosh, Bharat Muni, and Debojyoti Sen. 2015. “DESIGN PARAMETERS OF 10KW FLOATING SOLAR POWER PLANT.” *IARJSET* 2(Renewable Energy and Environment): 85.

Timotius, Eric, Abit Duka, Nyoman Setiawan, and Antonius Ibi Weking. 2018. “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid Pada Area Parkir Gedung Dinas Cipta Karya, Dinas Bina Marga Dan Pengairan Kabupaten Badung.” *Antonius Ibi Weking* 5(2): 67.

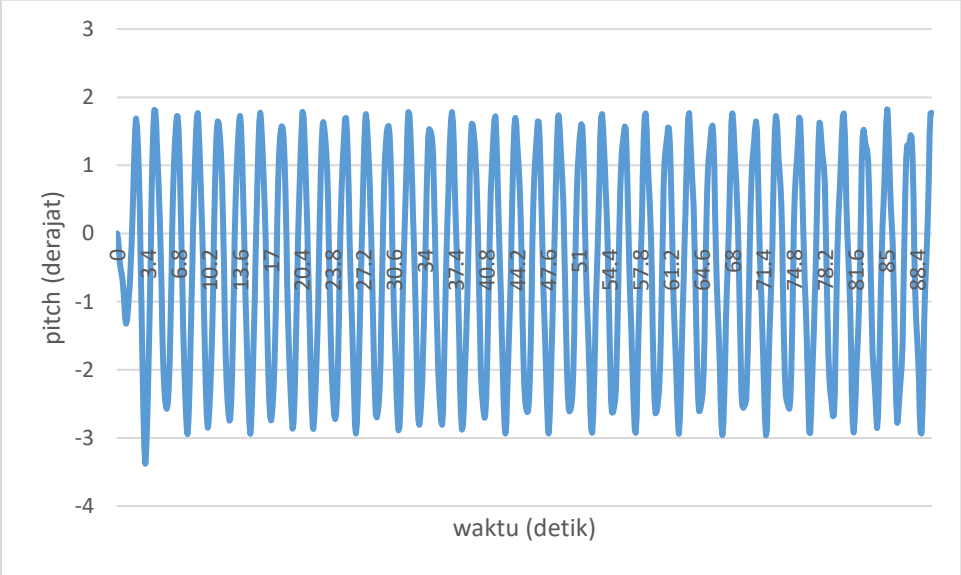
# LAMPIRAN

## A. Variasi Simulasi

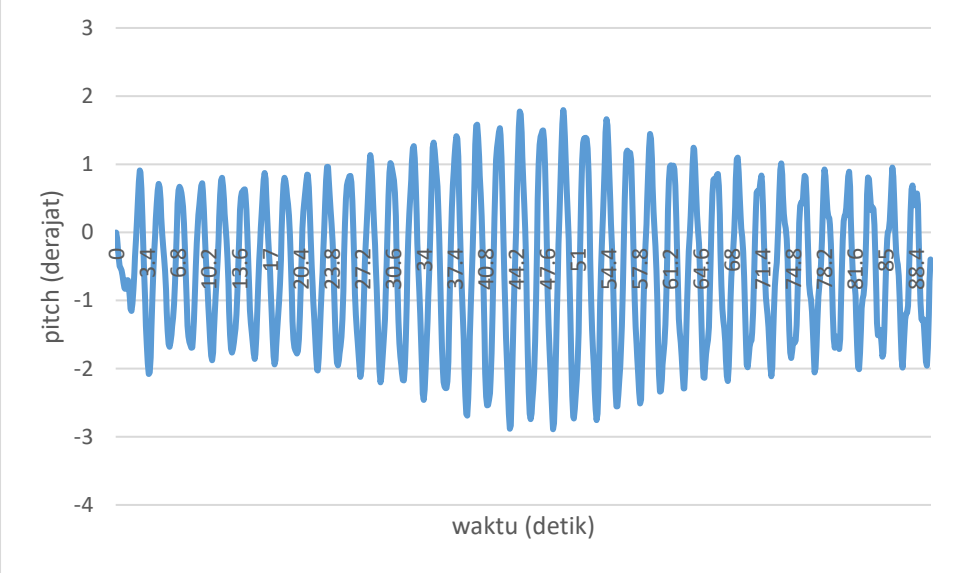
| Jenis Ponton | Susunan panel surya | Jenis gangguan | Arah datang | Jenis gangguan | Arah datang |
|---|---|---|---|---|---|
| Basic Pontoon (Ponton A) | 1 sisi | Gelombang Air | 0 | - | - |
| | | | | | - |
| | | | 45 | | - |
| | 2 sisi | | 90 | | - |
| | | | | | - |
| | 1 sisi | Gelombang Air | 0 | Hembusan Angin | 0 |
| | | | | | 45 |
| | | | 45 | | 90 |
| | 2 sisi | | 90 | | 135 |
| | | | | | 180 |
| Prototype Pontoon PLTS (Ponton B) | 1 sisi | Gelombang Air | 0 | - | - |
| | | | | | - |
| | | | 45 | | - |
| | 2 sisi | | 90 | | - |
| | | | | | - |
| | 1 sisi | Gelombang Air | 0 | Hembusan Angin | 0 |
| | | | | | 45 |
| | | | 45 | | 90 |
| | 2 sisi | | 90 | | 135 |
| | | | | | 180 |

## B. Grafik RAO Hasil Simulasi

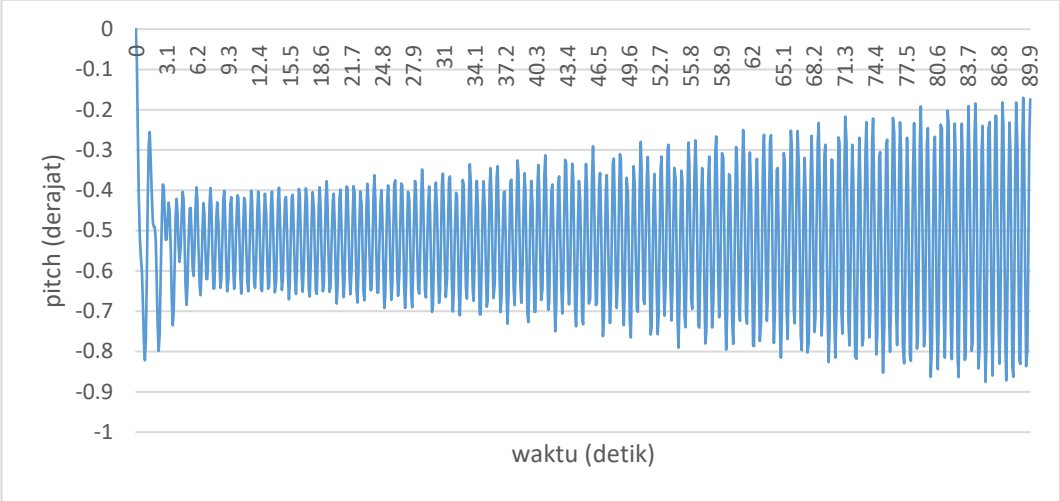
Ponton A dengan variasi panel surya 1 sisi dan gangguan gelombang air




Gambar B1 Grafik RAO gerak pitching 0$^{o}$

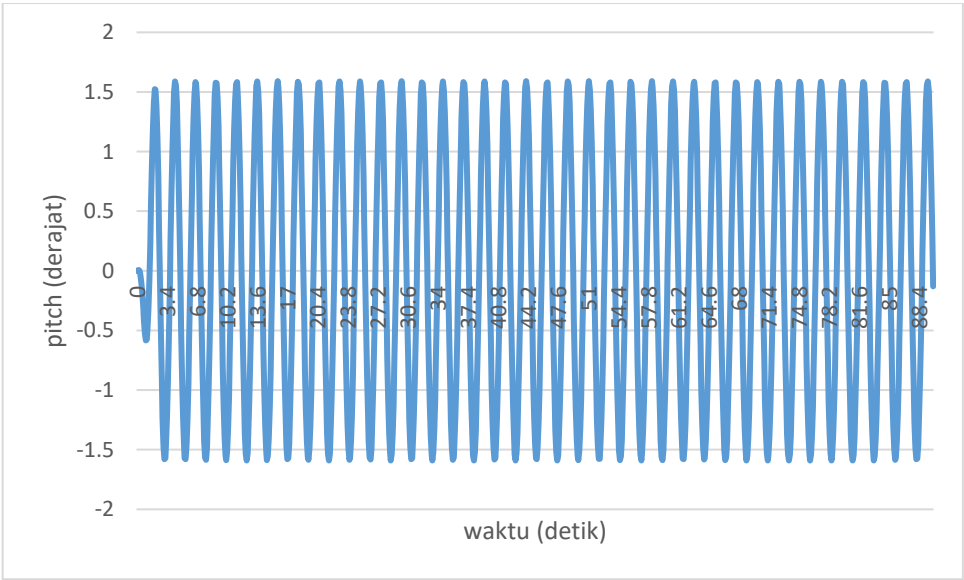



Gambar B2 Grafik RAO gerak pitching 45$^{o}$

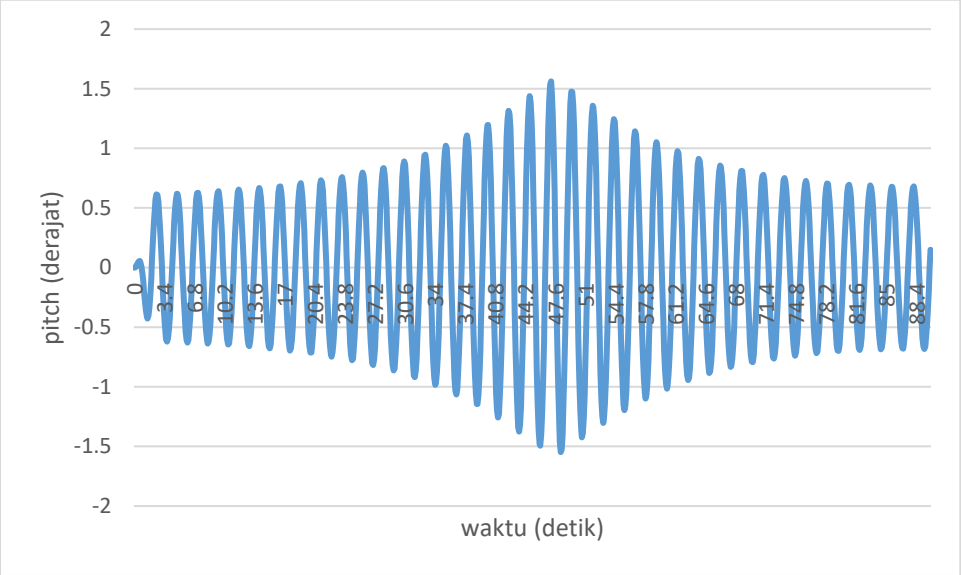



Gambar B3 Grafik RAO gerak pitching 90$^{o}$

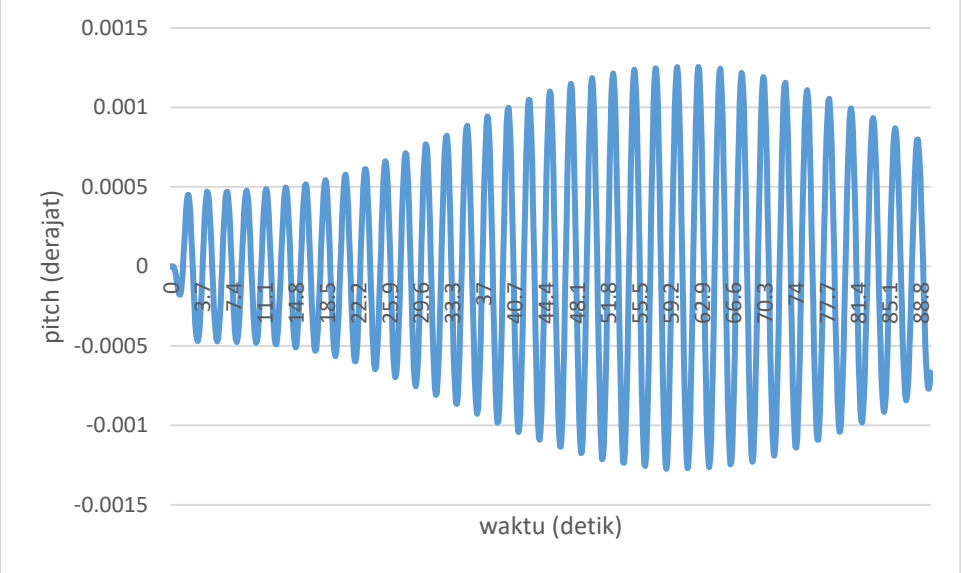
Ponton A dengan variasi panel surya 2 sisi dan gangguan gelombang air




Gambar B4 Grafik RAO gerak pitching 0$^{o}$

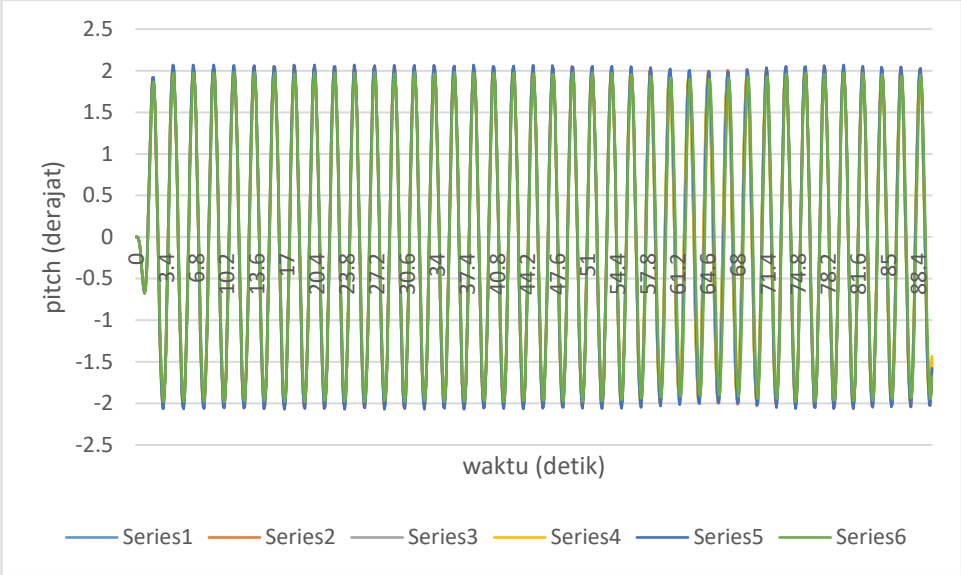



Gambar B5 Grafik RAO gerak pitching 45$^{o}$

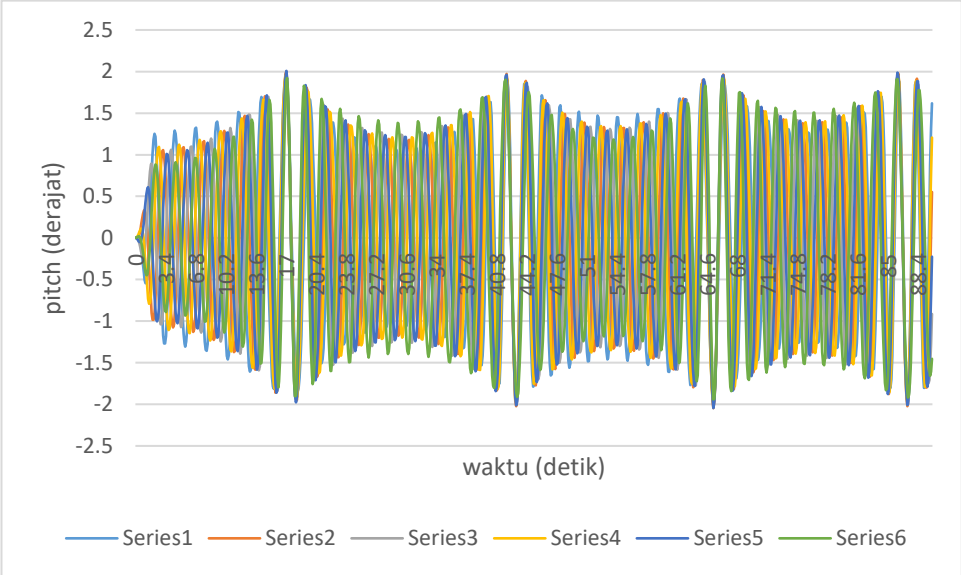



Gambar B6 Grafik RAO gerak pitching 90$^{o}$

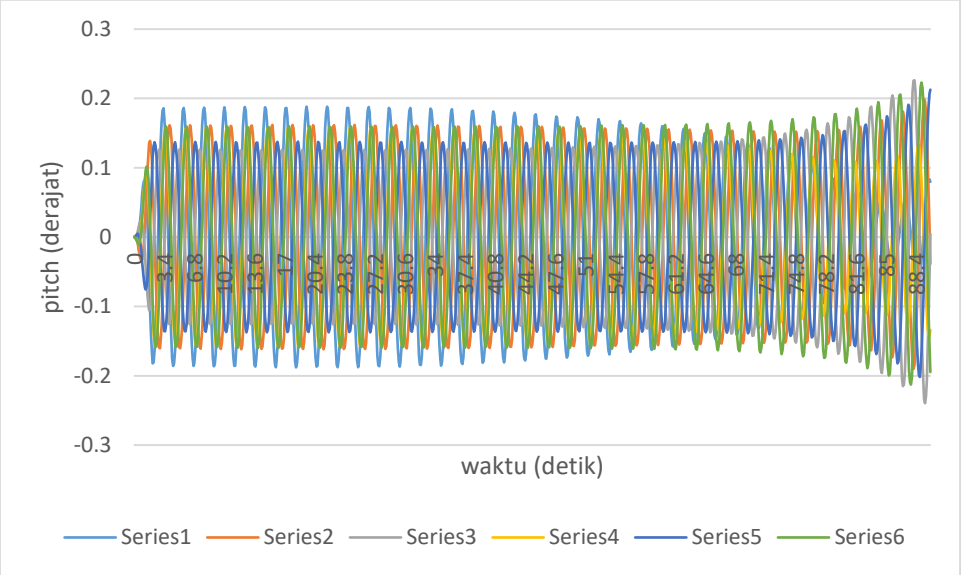
Ponton B dengan variasi panel surya 1 sisi dan gangguan gelombang air




Gambar B7 Grafik RAO gerak pitching 0$^{o}$

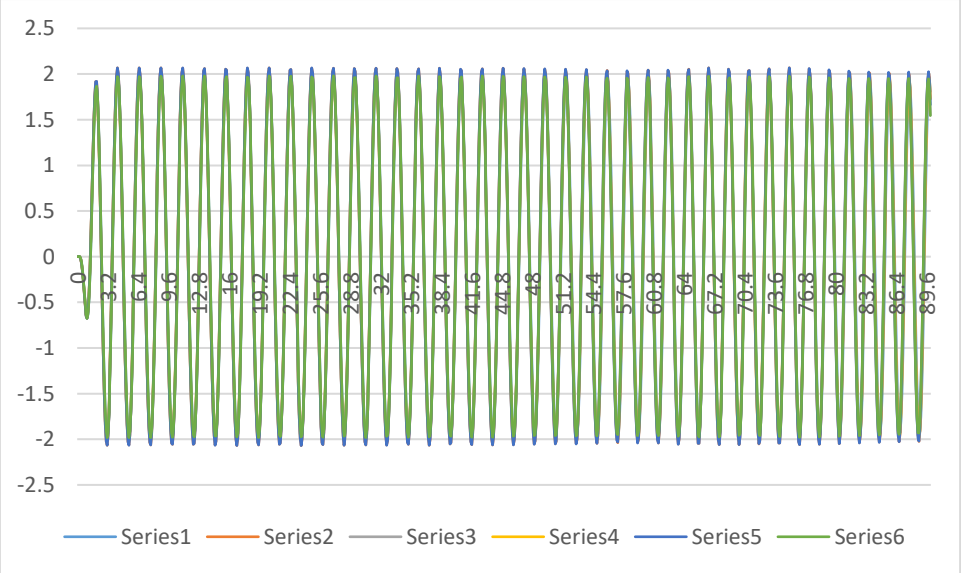



Gambar B8 Grafik RAO gerak pitching 45$^{o}$

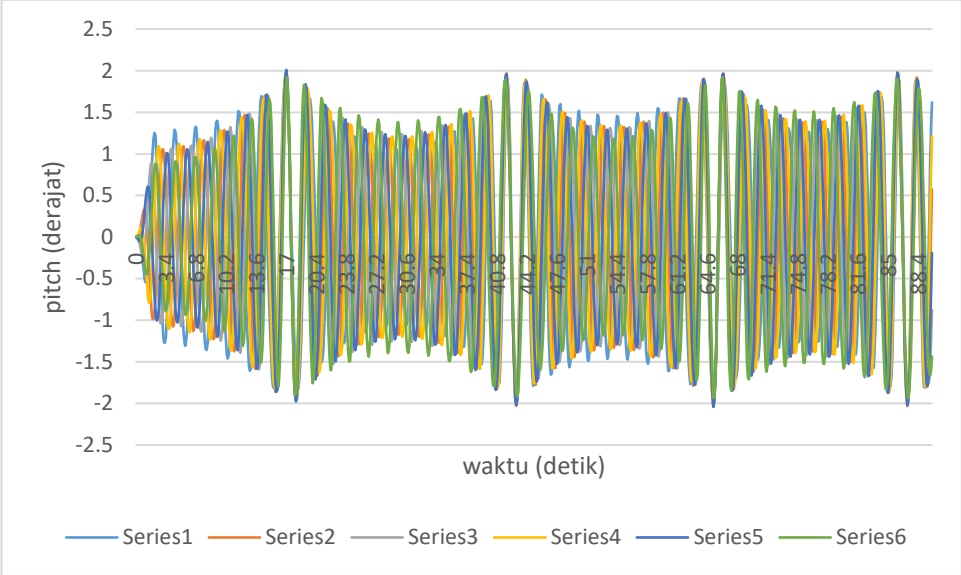



Gambar B9 Grafik RAO gerak pitching 90$^{o}$

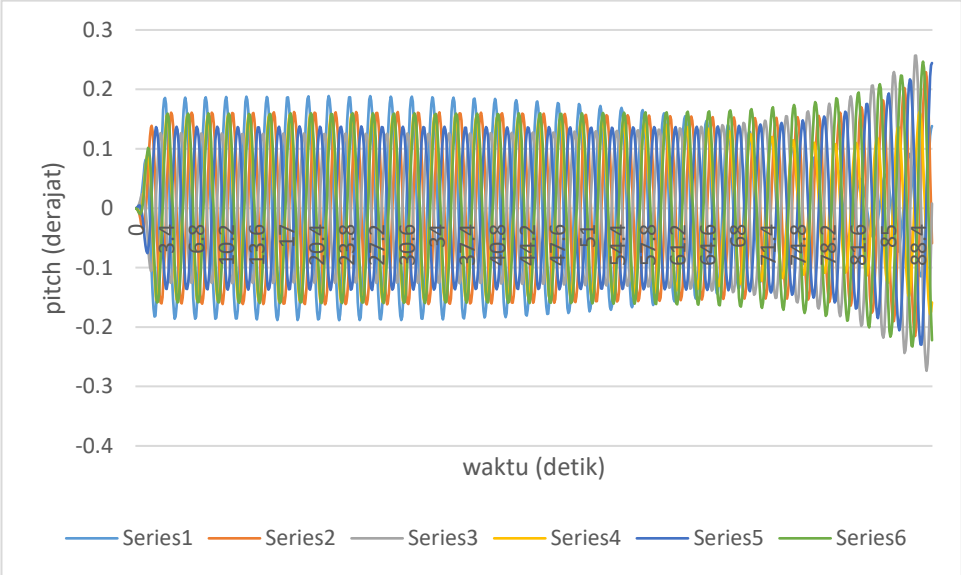
Ponton B dengan variasi panel surya 2 sisi dan gangguan gelombang air




Gambar B10 Grafik RAO gerak pitching 0$^{o}$

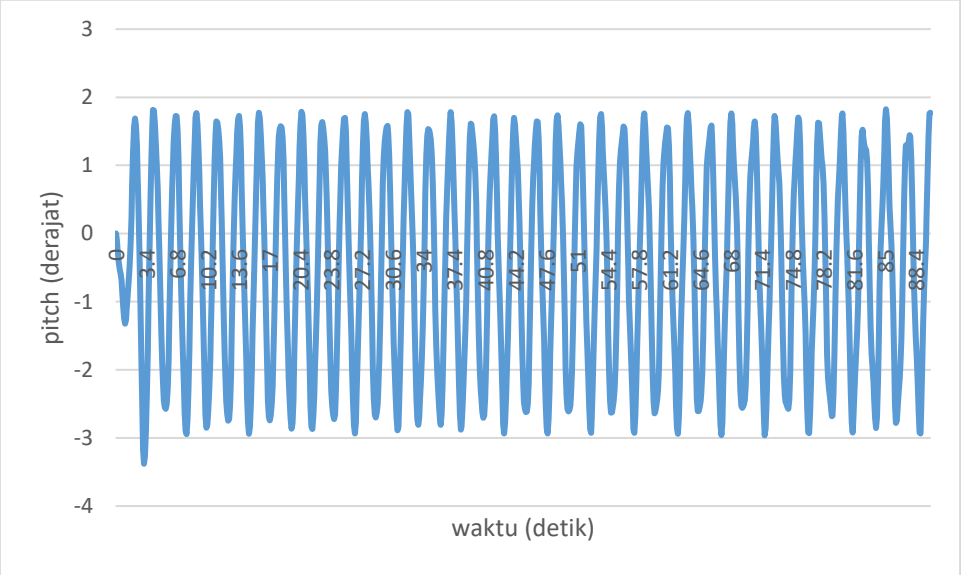



Gambar B11 Grafik RAO gerak pitching 45º

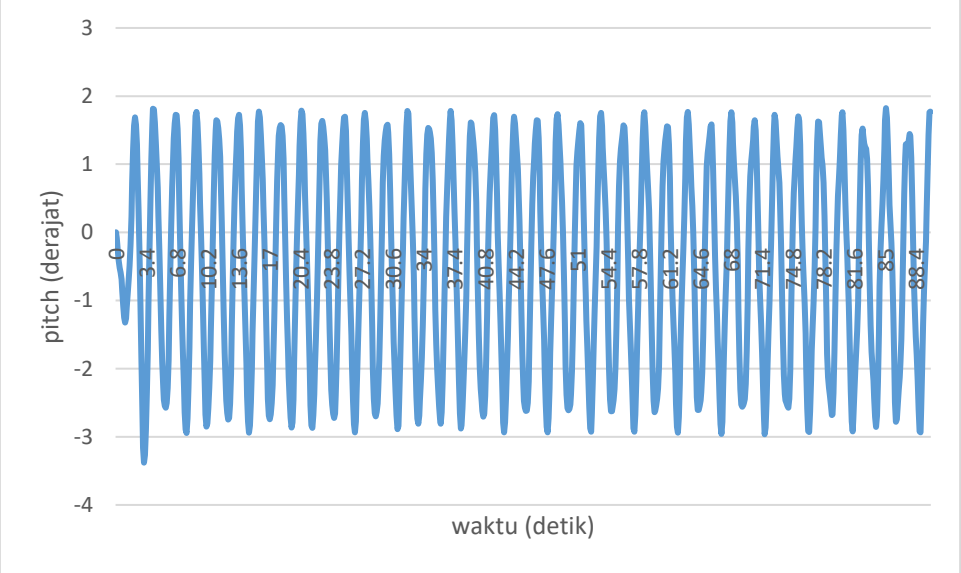



Gambar B12 Grafik RAO gerak pitching 90º

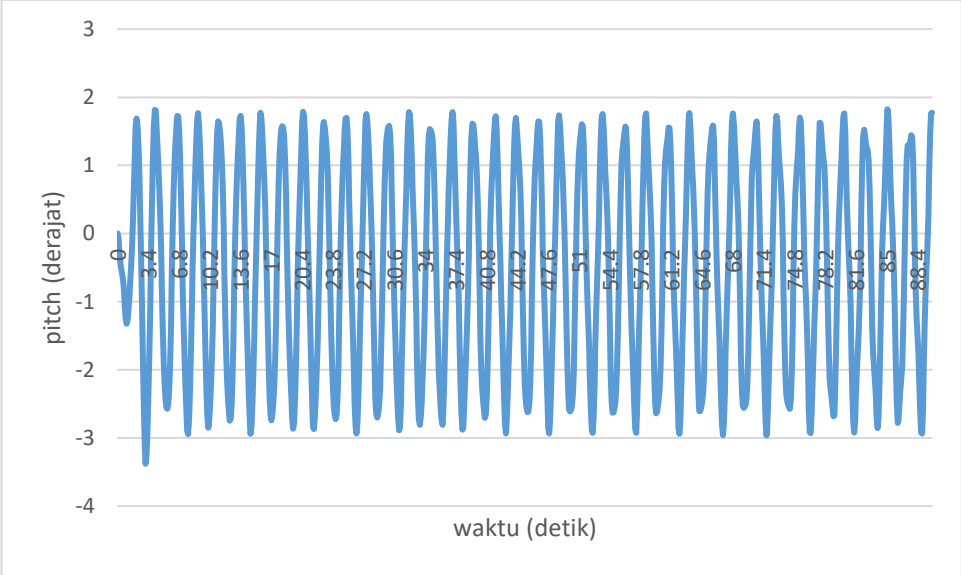
Ponton A dengan variasi panel surya 1 sisi dan gangguan gelombang air dan hembusan angin pada arah datang 0º, 45 º, 90 º, 135 º, 180 º



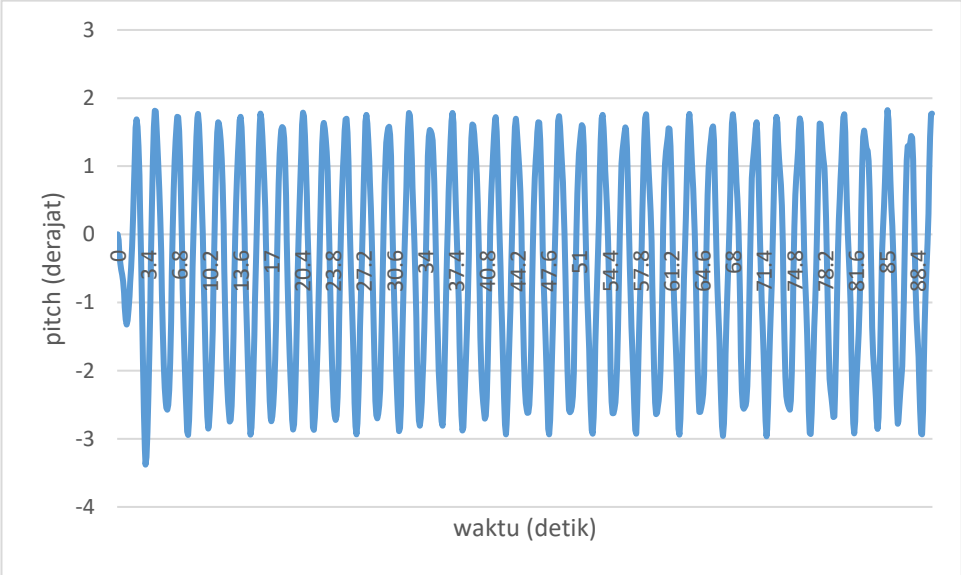

Gambar B13 Grafik RAO gerak pitching (0 º;0 º)



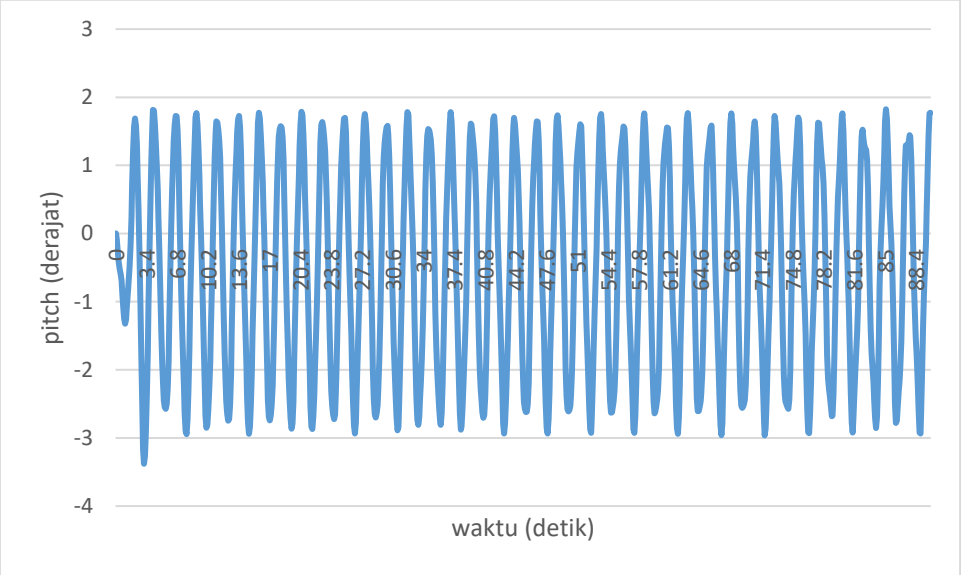

Gambar B14 Grafik RAO gerak pitching (0 º;45 º)



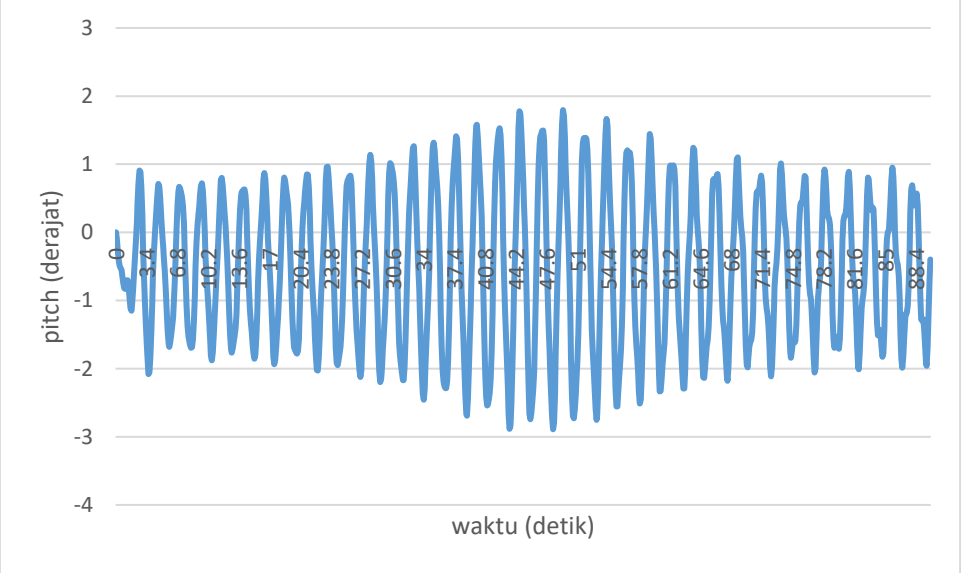

Gambar B15 Grafik RAO gerak pitching (0 º;90 º)



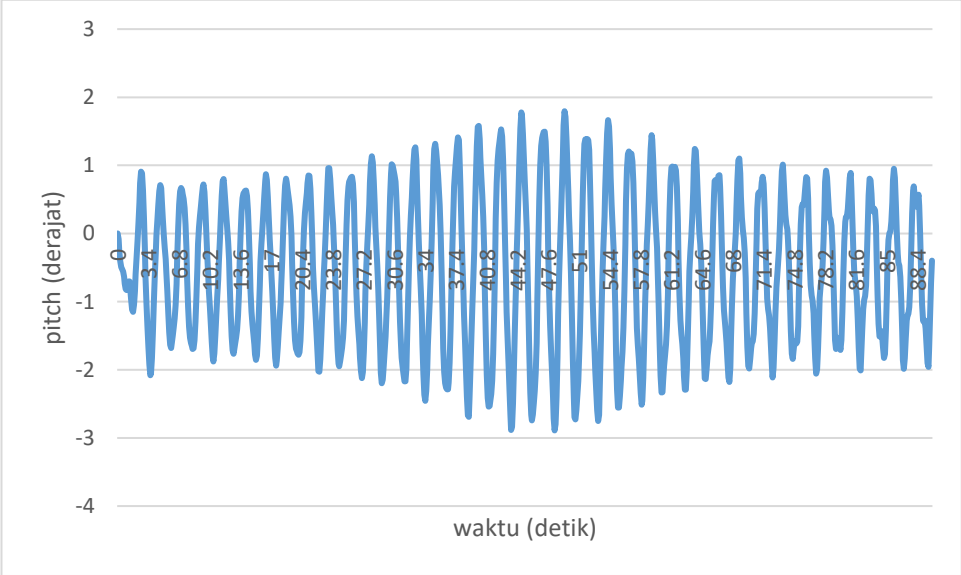

Gambar B16 Grafik RAO gerak pitching (0 º;135º)



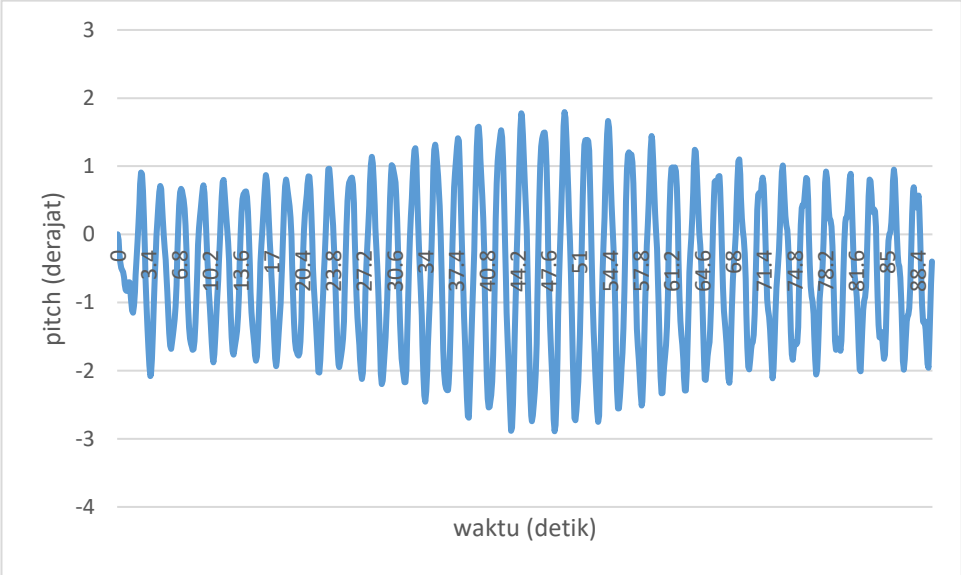

Gambar B17 Grafik RAO gerak pitching (0 º;90 º)



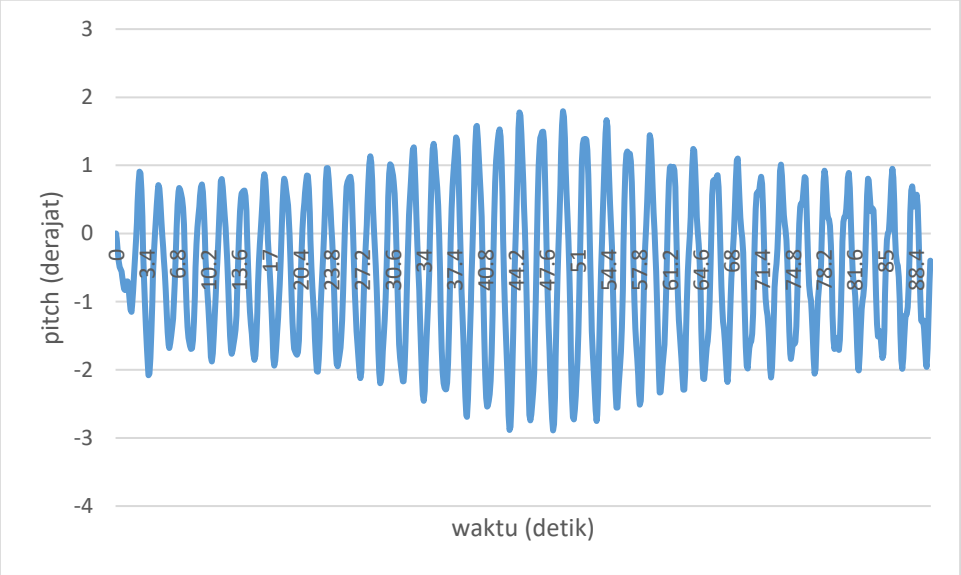

Gambar B18 Grafik RAO gerak pitching (45 º;0 º)



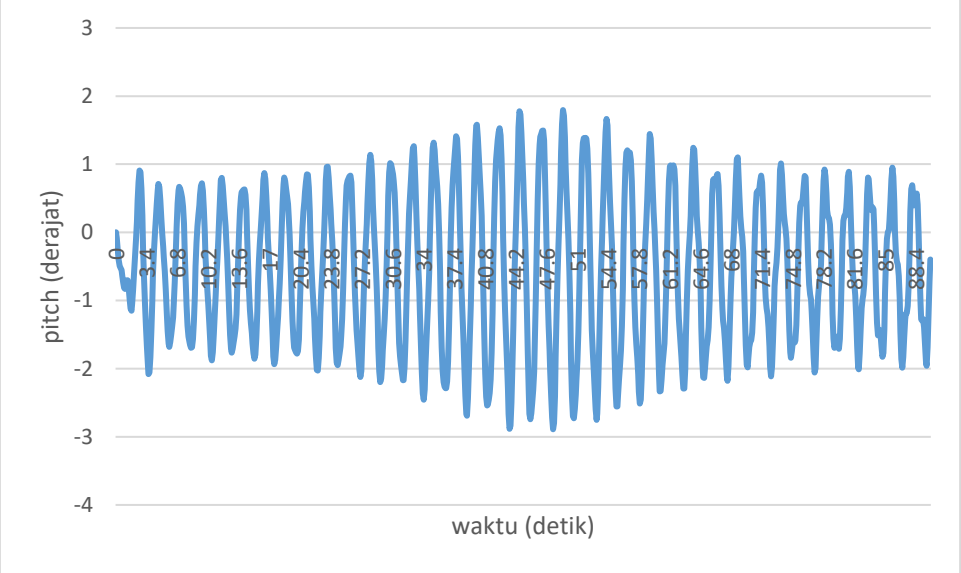

Gambar B19 Grafik RAO gerak pitching (45 $^{o}$;45 $^{o}$)



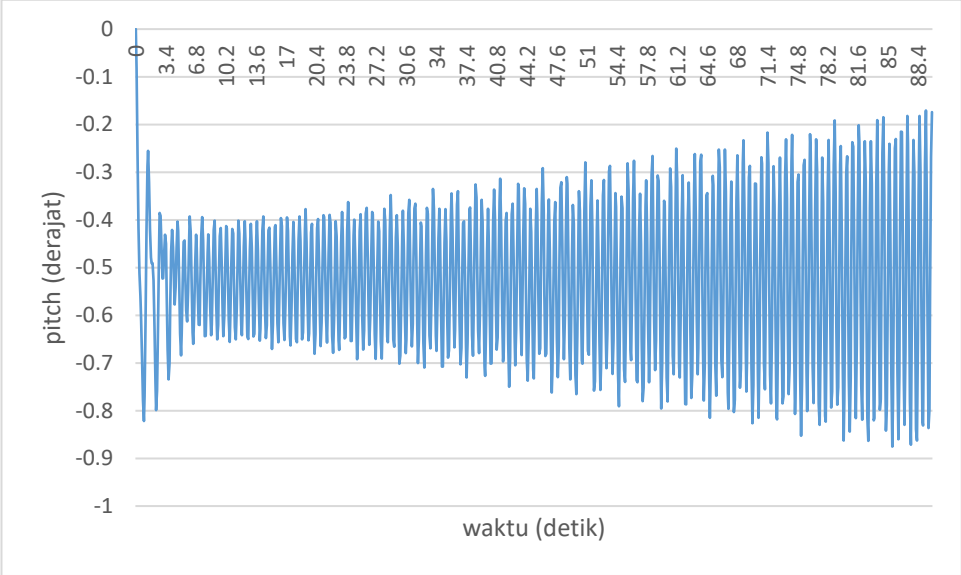

Gambar B20 Grafik RAO gerak pitching (45 $^{o}$;90 $^{o}$)



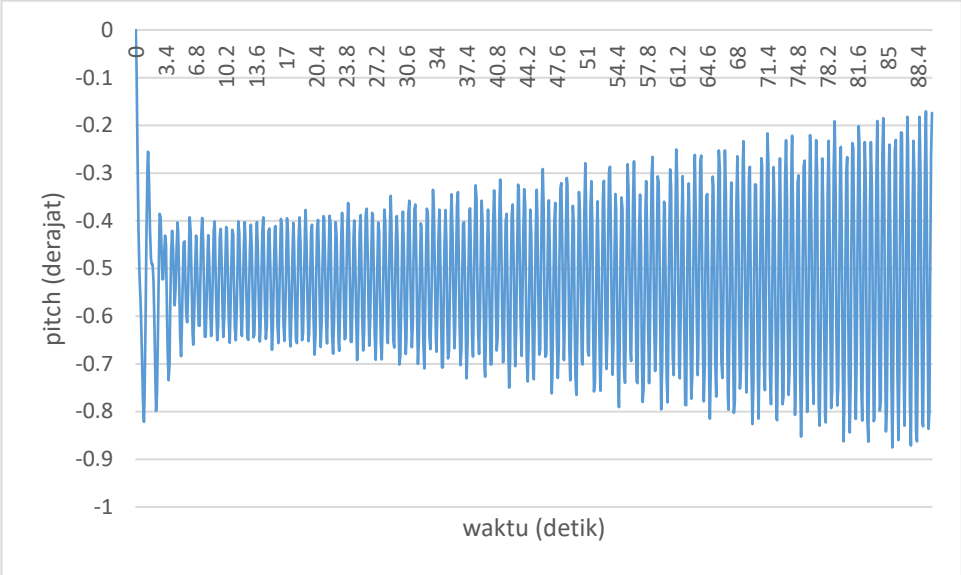

Gambar B21 Grafik RAO gerak pitching (45 º;135 º)



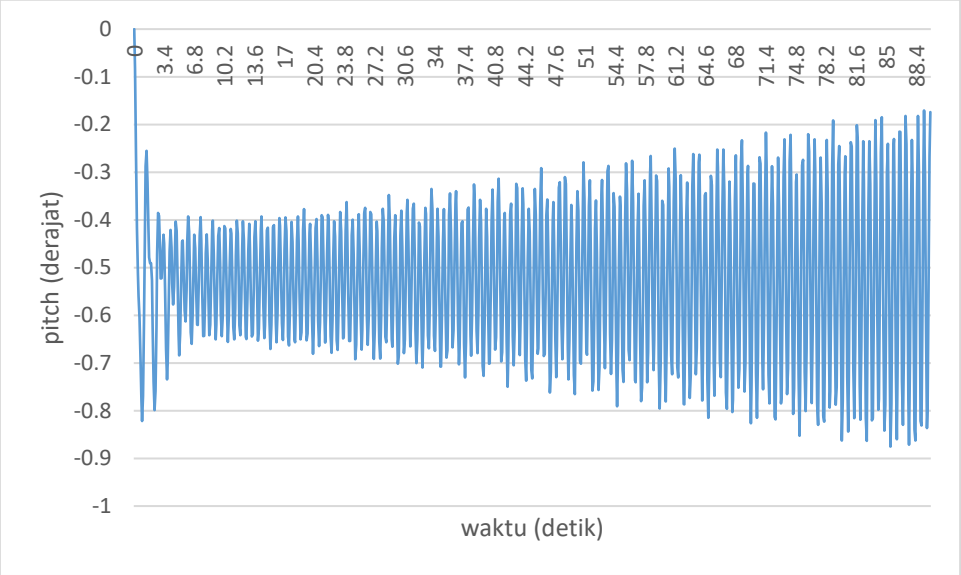

Gambar B22 Grafik RAO gerak pitching (45 º;180 º)



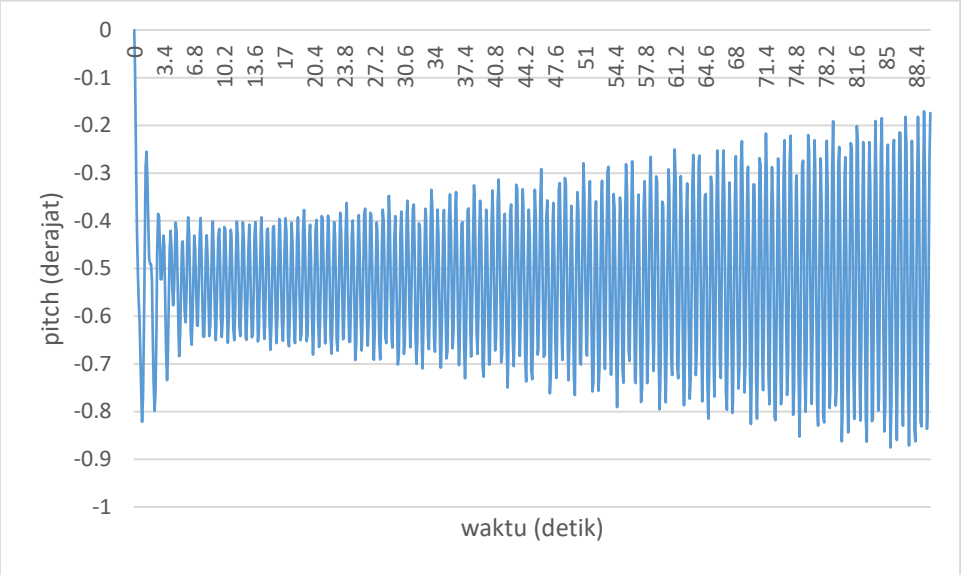

Gambar B23 Grafik RAO gerak pitching (90 º;0 º)



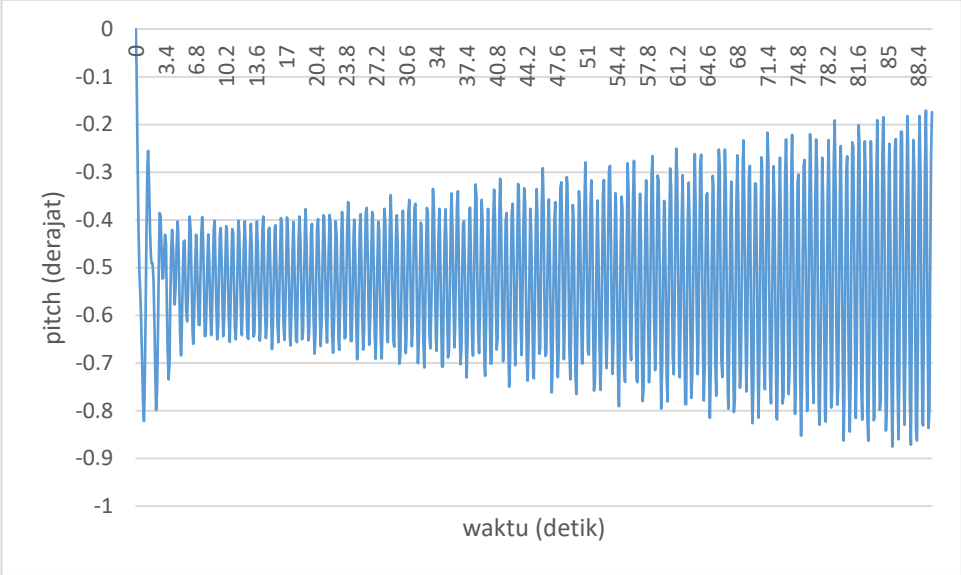

Gambar B24 Grafik RAO gerak pitching (90 º;45 º)



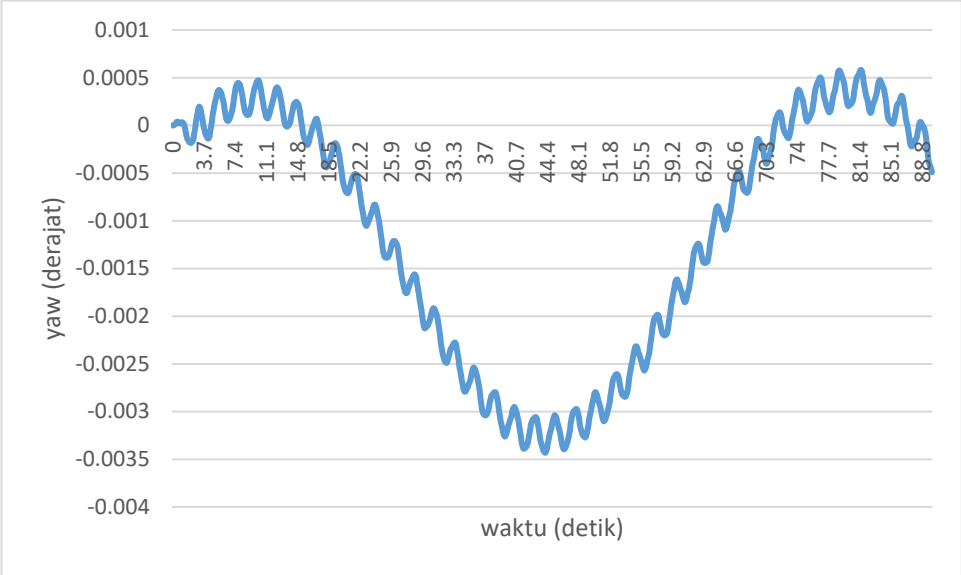

Gambar B25 Grafik RAO gerak pitching (90 º;90 º)



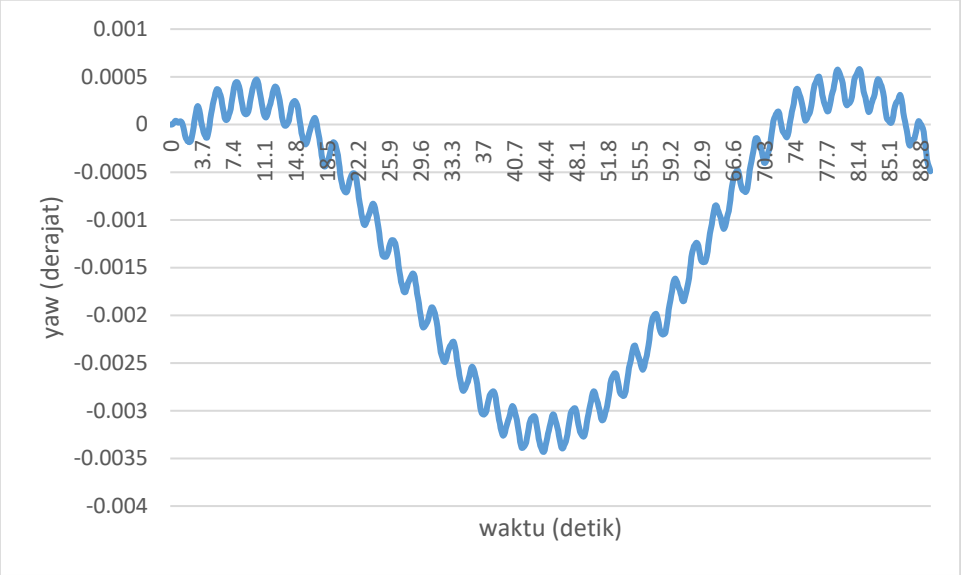

Gambar B26 Grafik RAO gerak pitching (90 º;135 º)



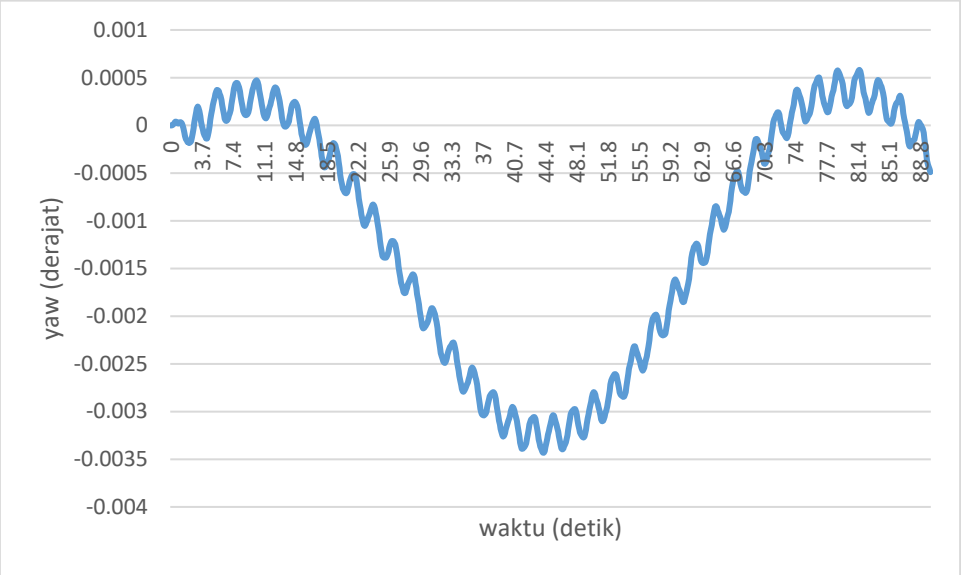

Gambar B27 Grafik RAO gerak pitching (90 º;180 º)



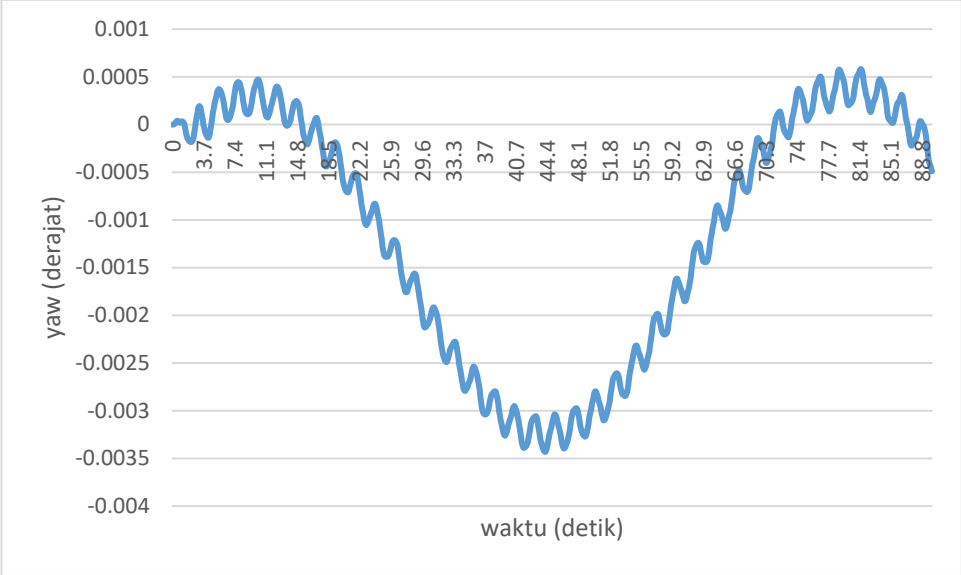

Gambar B28 Grafik RAO gerak yawing (0 º;0 º)



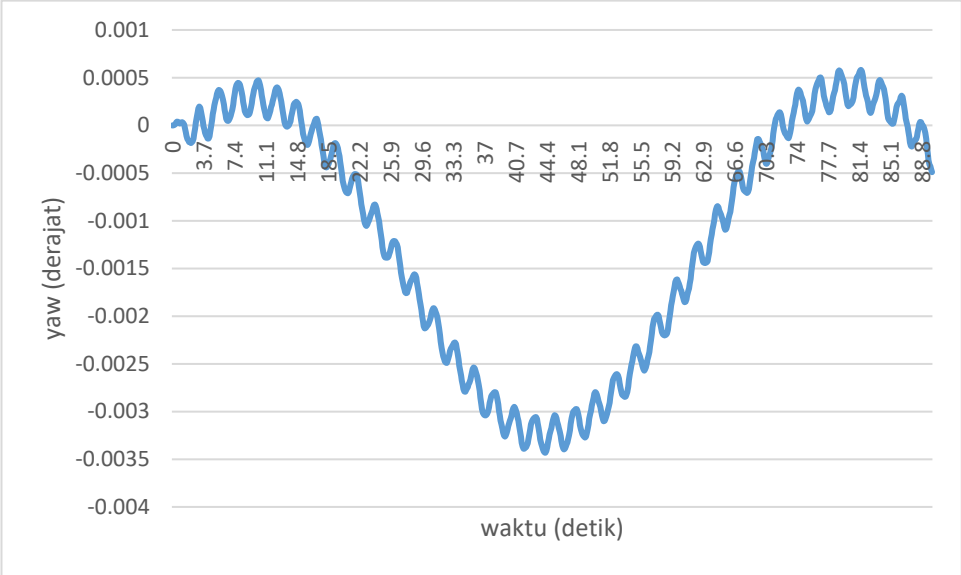

Gambar B29 Grafik RAO gerak yawing (0 º;45 º)



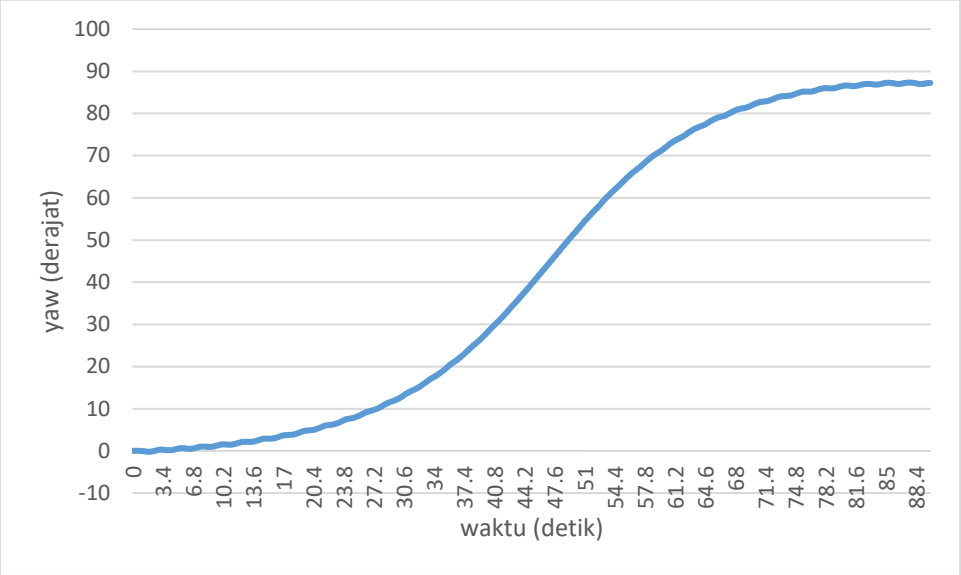

Gambar B30 Grafik RAO gerak yawing (0 º;90 º)



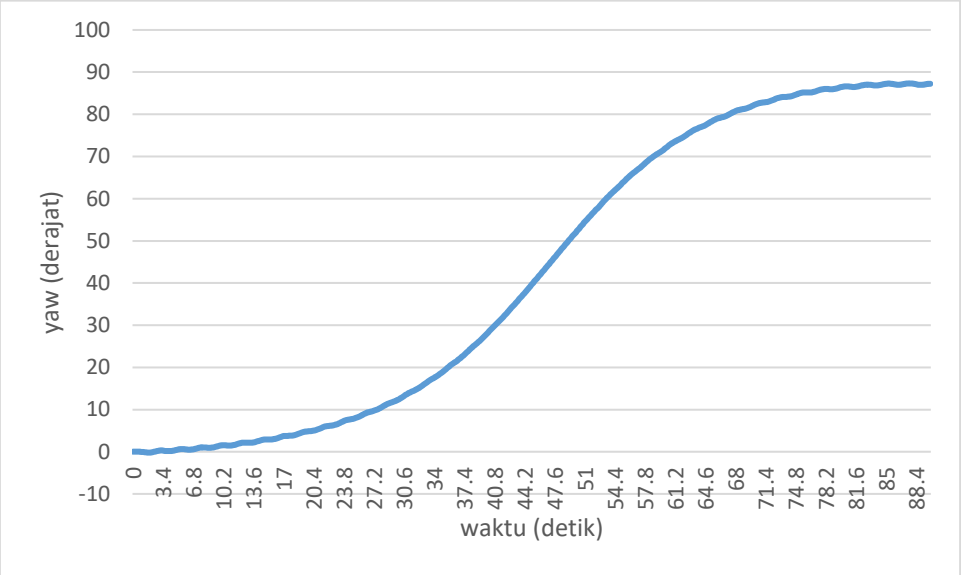

Gambar B31 Grafik RAO gerak yawing (0 º;135 º)



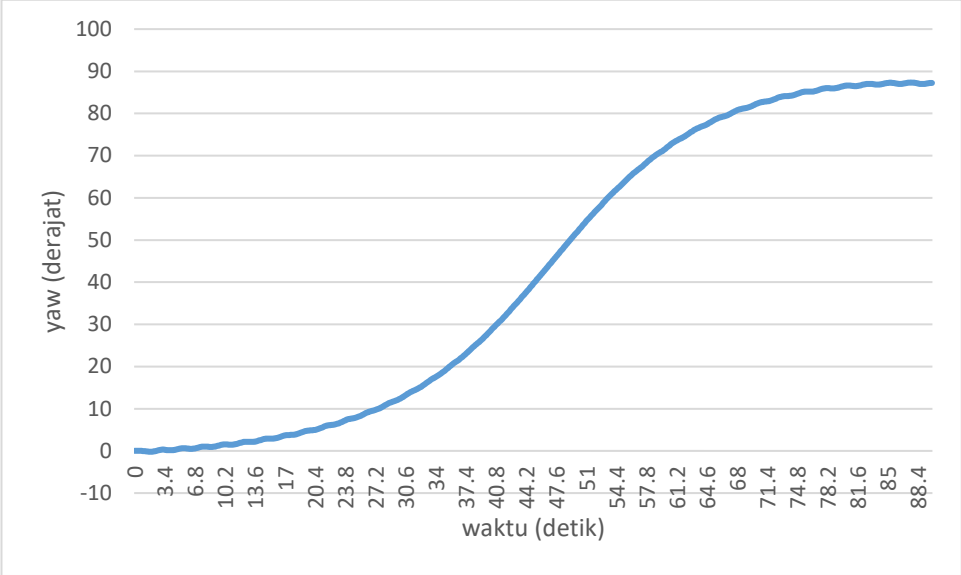

Gambar B32 Grafik RAO gerak yawing (0 º;180 º)



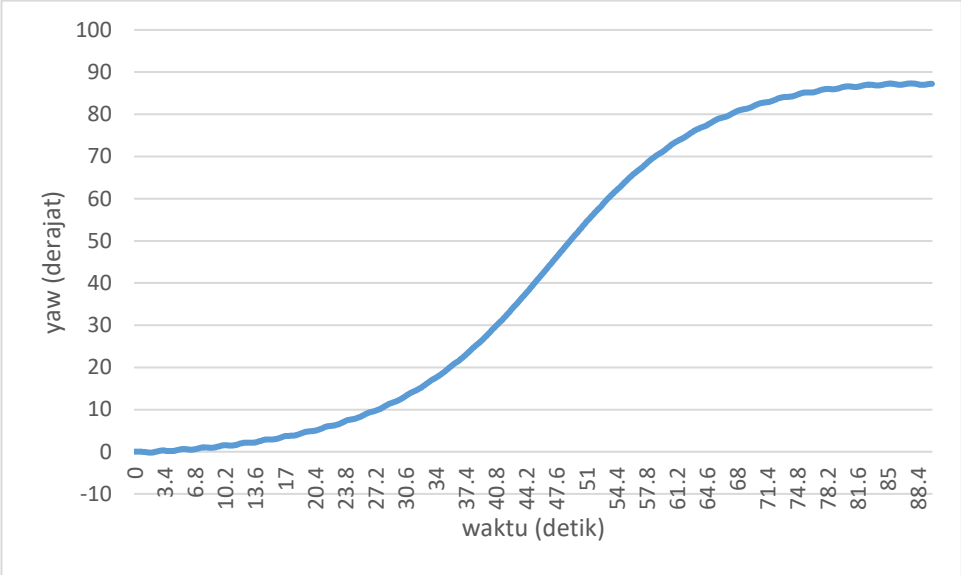

Gambar B33 Grafik RAO gerak yawing (45 $^{o}$;0 $^{o}$)



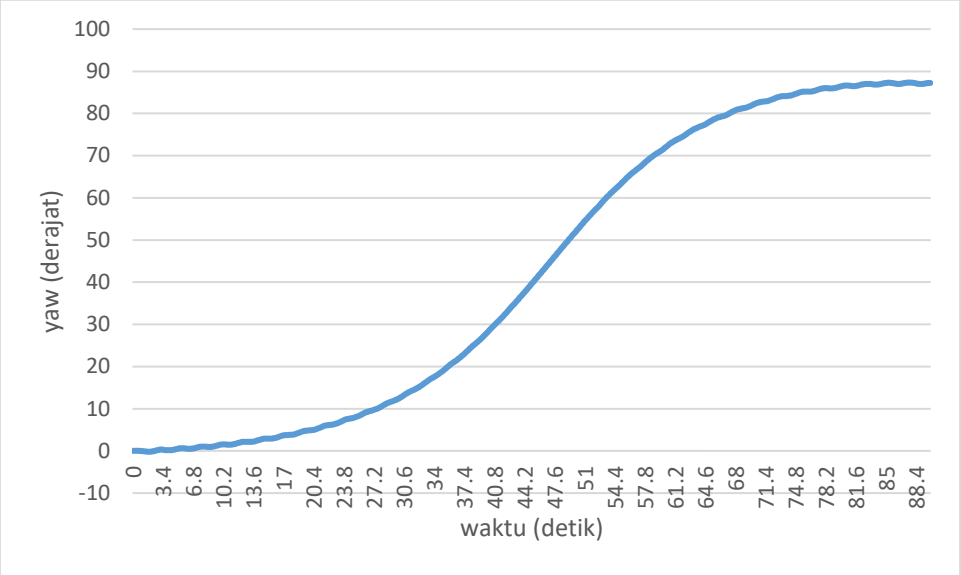

Gambar B34 Grafik RAO gerak yawing (45 $^{o}$;45$^{o}$)



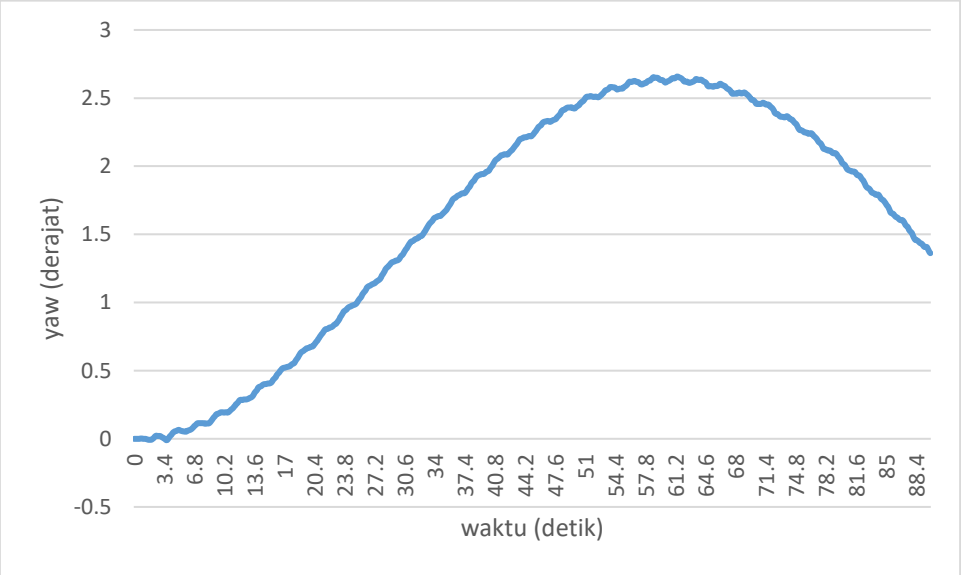

Gambar B35 Grafik RAO gerak yawing (45 º;90 º)



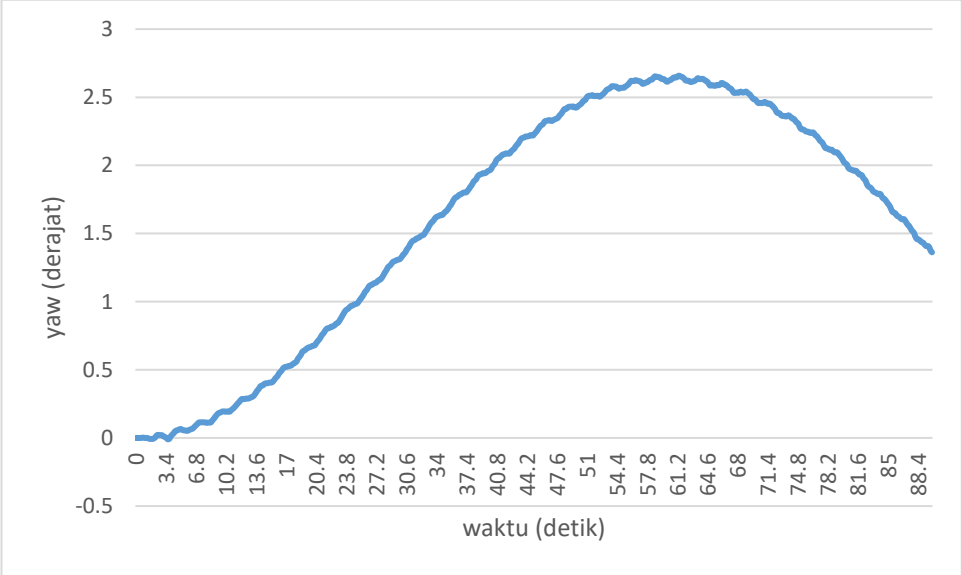

Gambar B36 Grafik RAO gerak yawing (45 º;135 º)



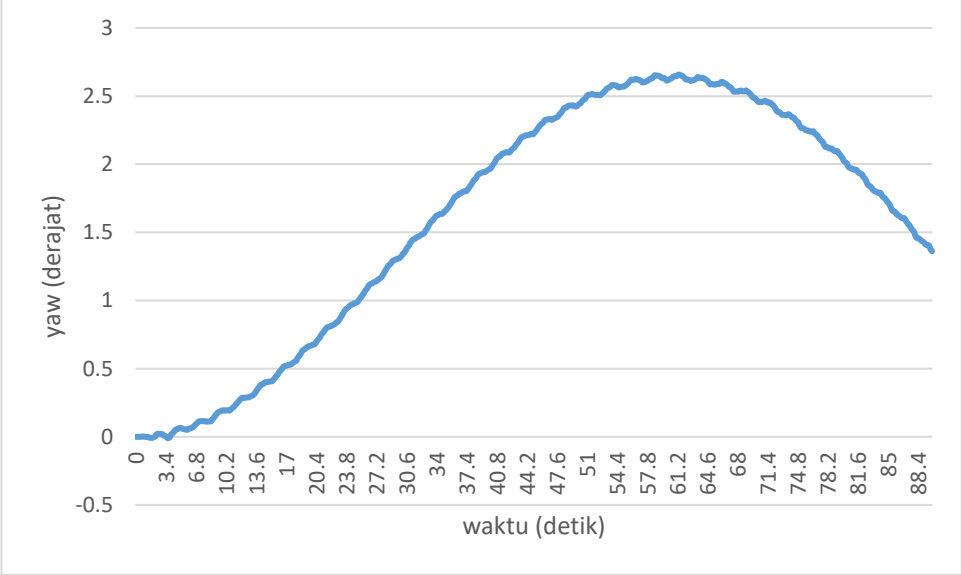

Gambar B37 Grafik RAO gerak yawing (45 º;180 º)



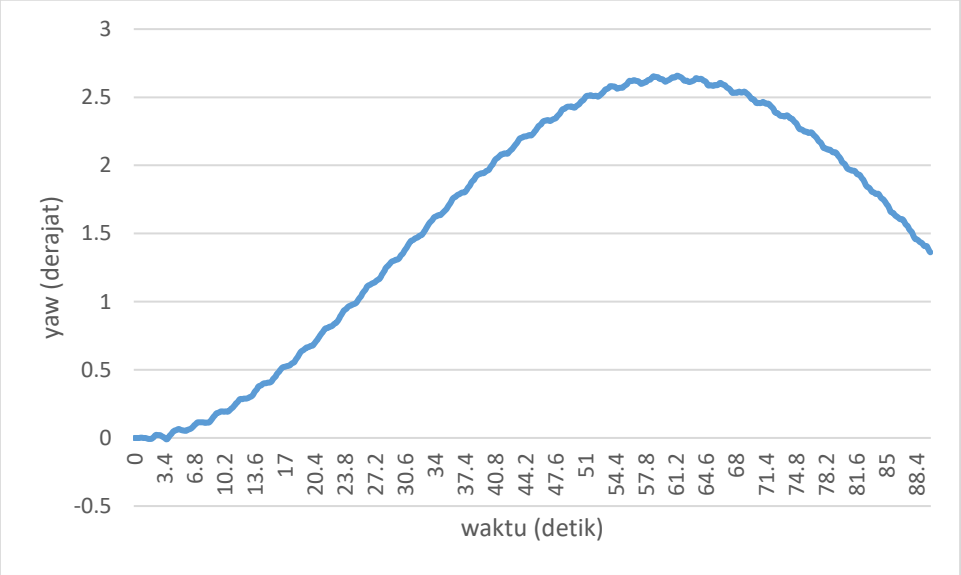

Gambar B38 Grafik RAO gerak yawing (90º;0 º)



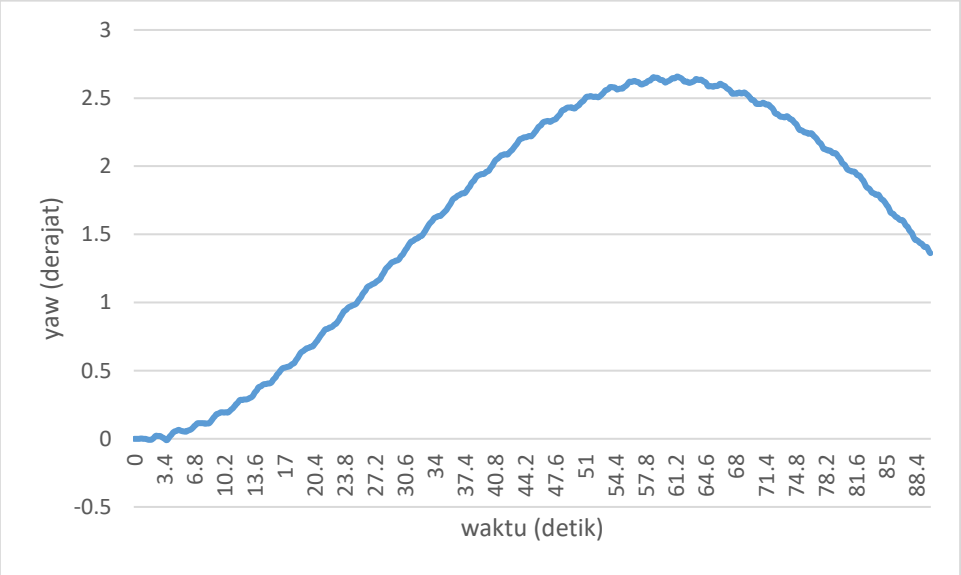

Gambar B39 Grafik RAO gerak yawing (90º;45 º)




Gambar B40 Grafik RAO gerak yawing (90º;90 º)

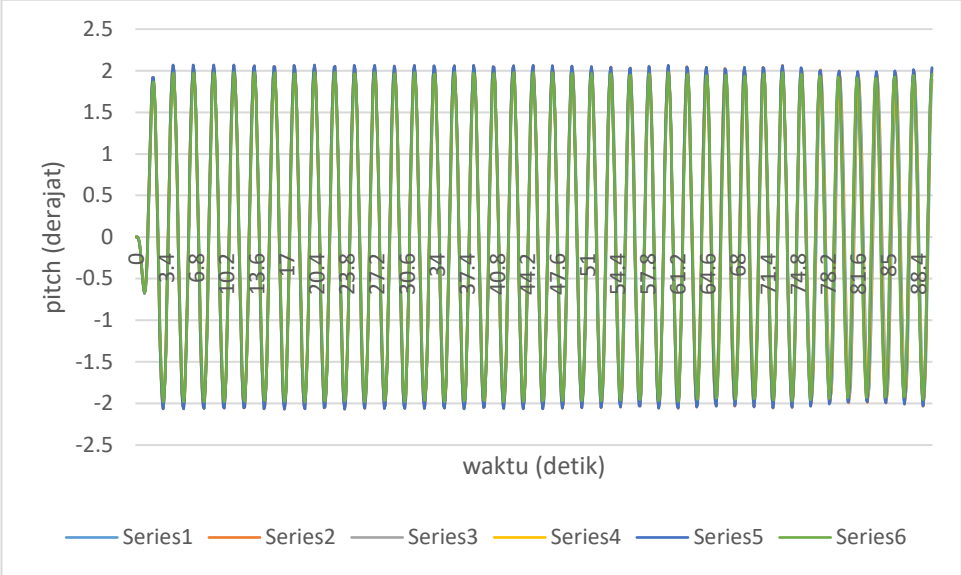



Gambar B41 Grafik RAO gerak yawing (90$^{o}$;135 $^{o}$)

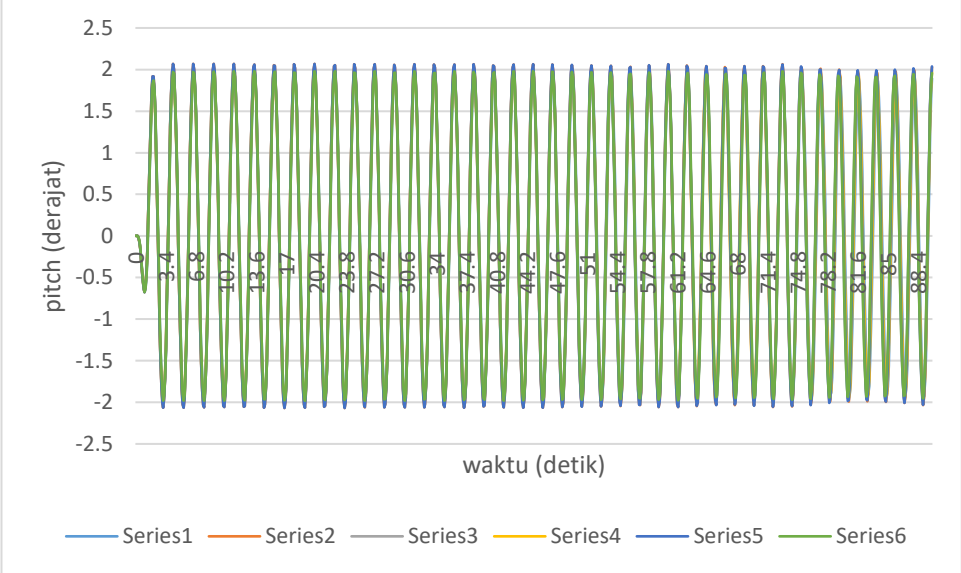



Gambar B42 Grafik RAO gerak yawing (90$^{o}$;180 $^{o}$)

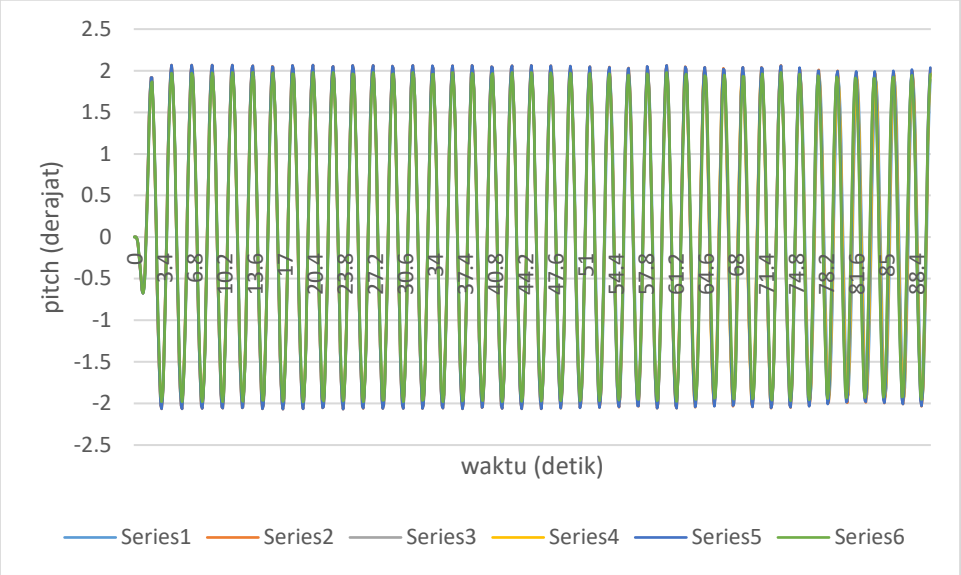
Ponton B dengan variasi panel surya 1 sisi dan gangguan gelombang air dan hembusan angin pada arah datang 0$^{o}$, 45 $^{o}$, 90 $^{o}$, 135 $^{o}$, 180 $^{o}$



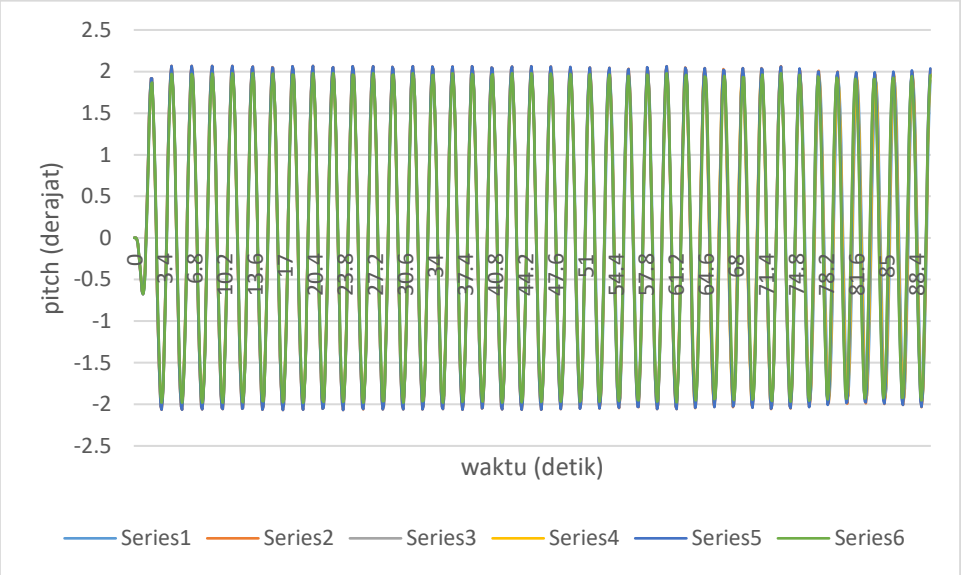

Gambar B43 Grafik RAO gerak pitching (0$^{o}$;0 $^{o}$)



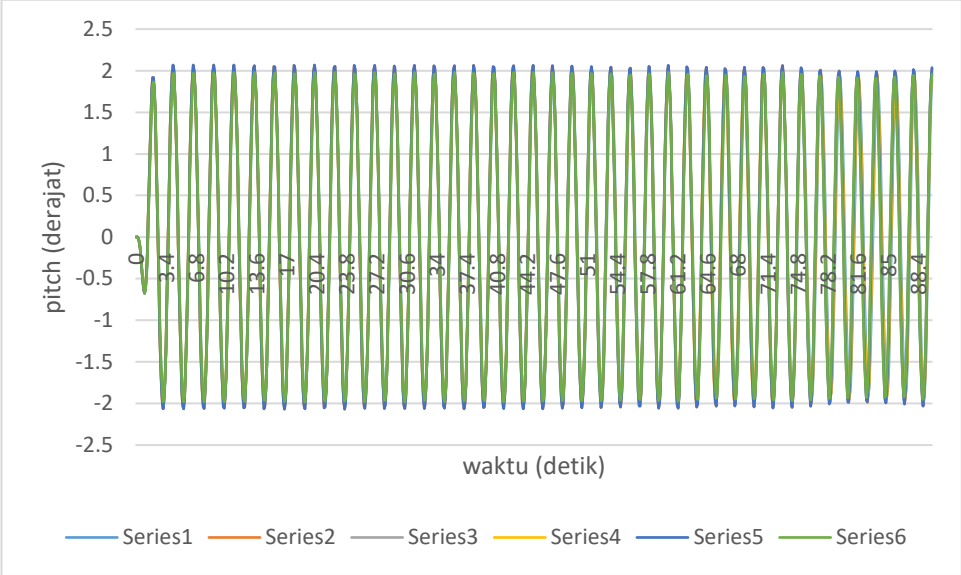

Gambar B44 Grafik RAO gerak pitching (0$^{o}$;45 $^{o}$)



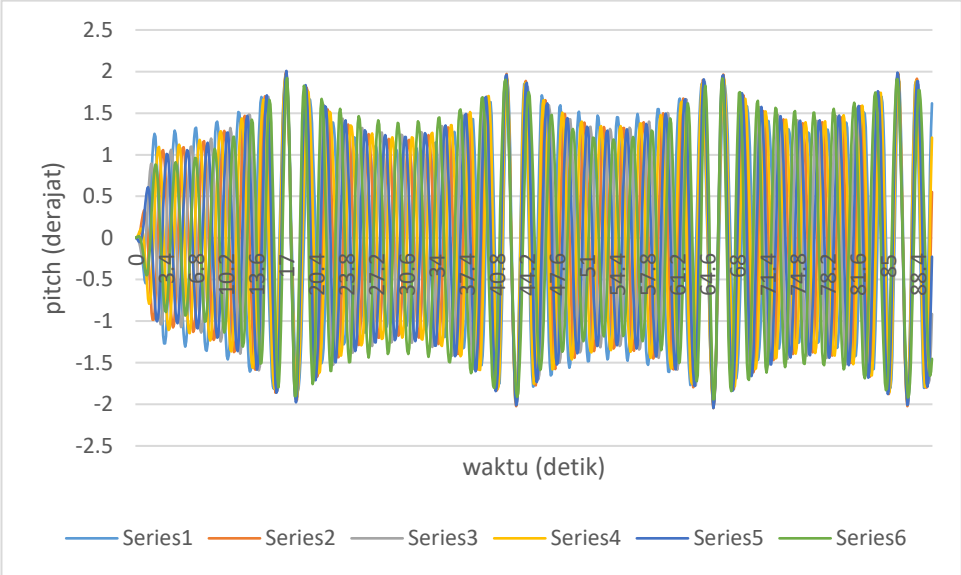

Gambar B45 Grafik RAO gerak pitching (0$^{o}$;90 $^{o}$)



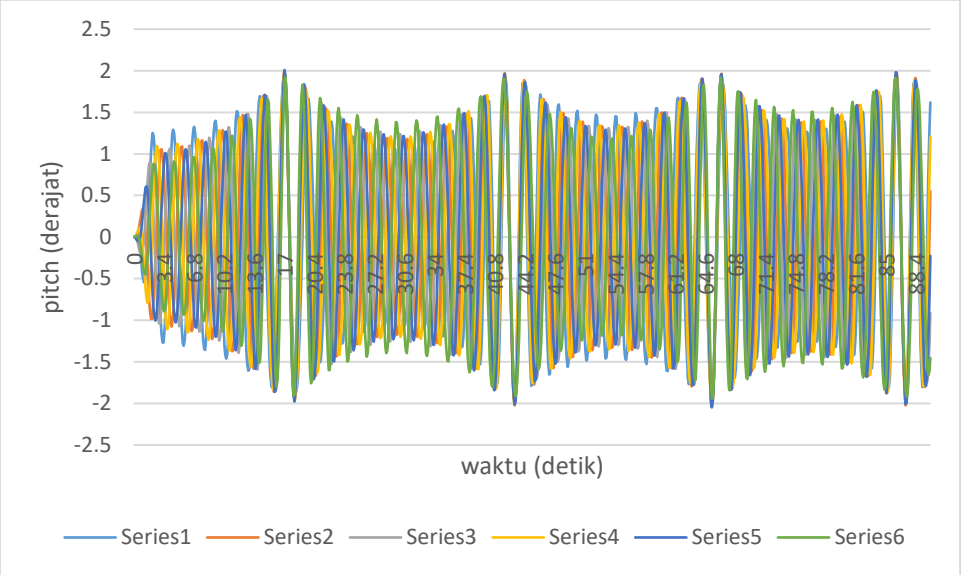

Gambar B46 Grafik RAO gerak pitching (0$^{o}$;135$^{o}$)



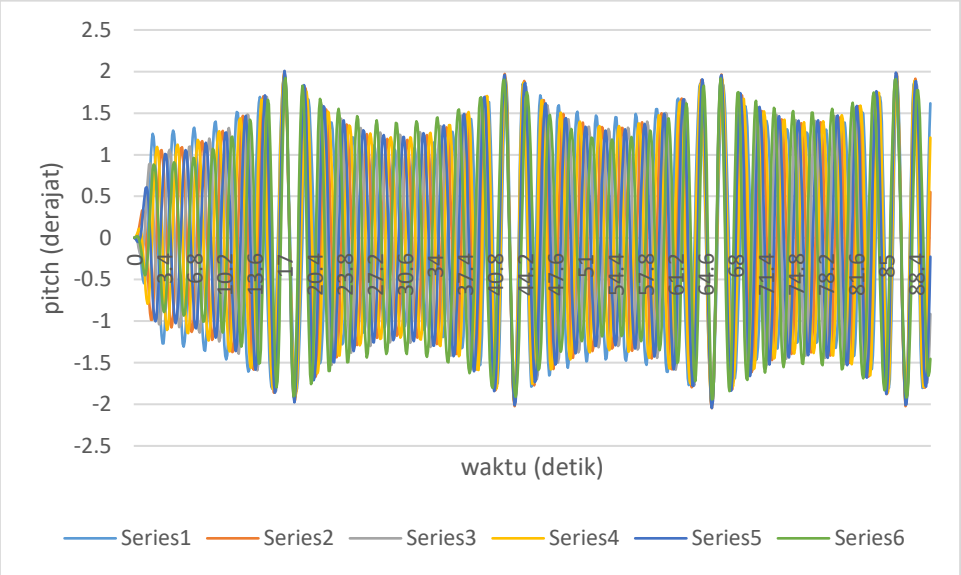

Gambar B47 Grafik RAO gerak pitching ($0^o$;$180^o$)



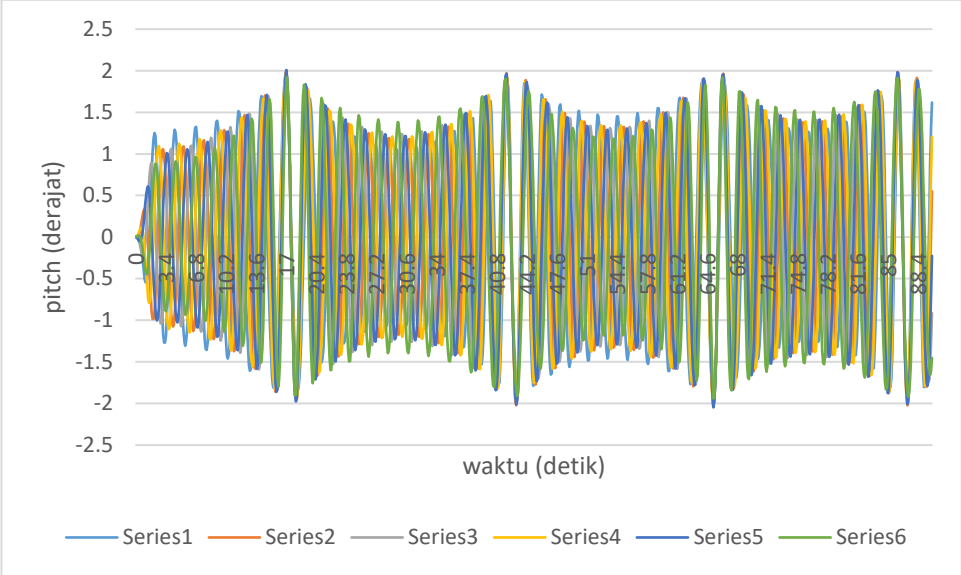

Gambar B48 Grafik RAO gerak pitching ($45^o$;$0^o$)



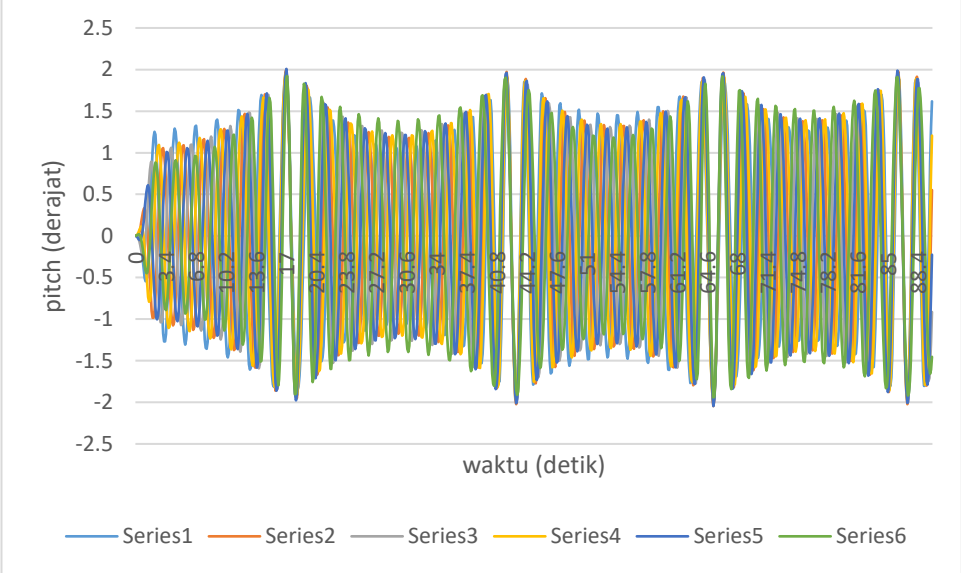

Gambar B49 Grafik RAO gerak pitching (45$^{o}$;45$^{o}$)



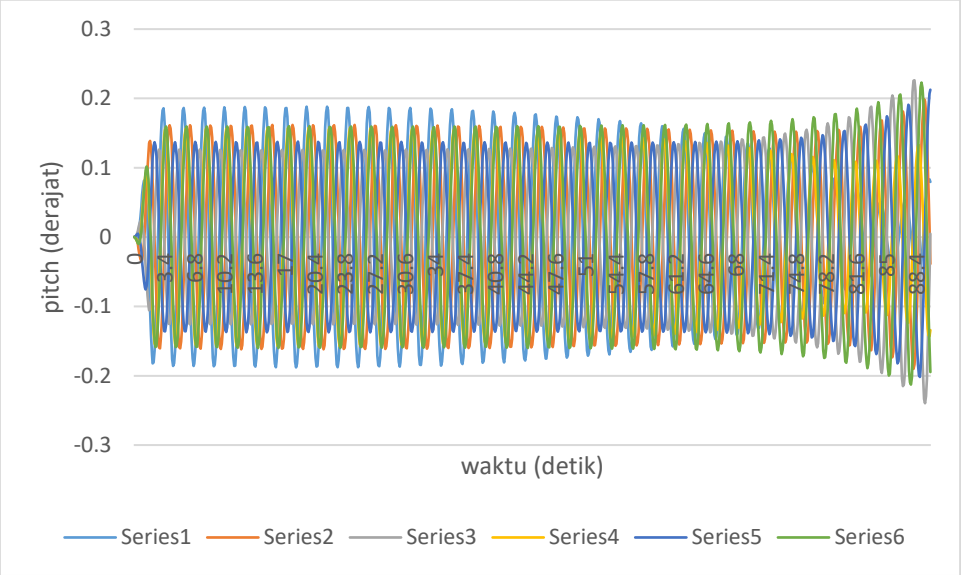

Gambar B50 Grafik RAO gerak pitching (45$^{o}$;90$^{o}$)



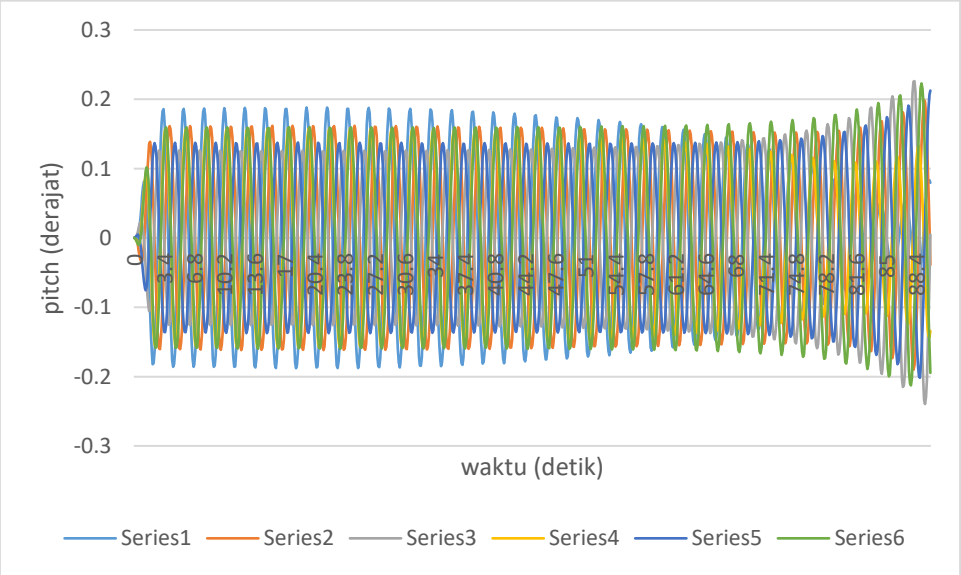

Gambar B51 Grafik RAO gerak pitching (45º;135º)



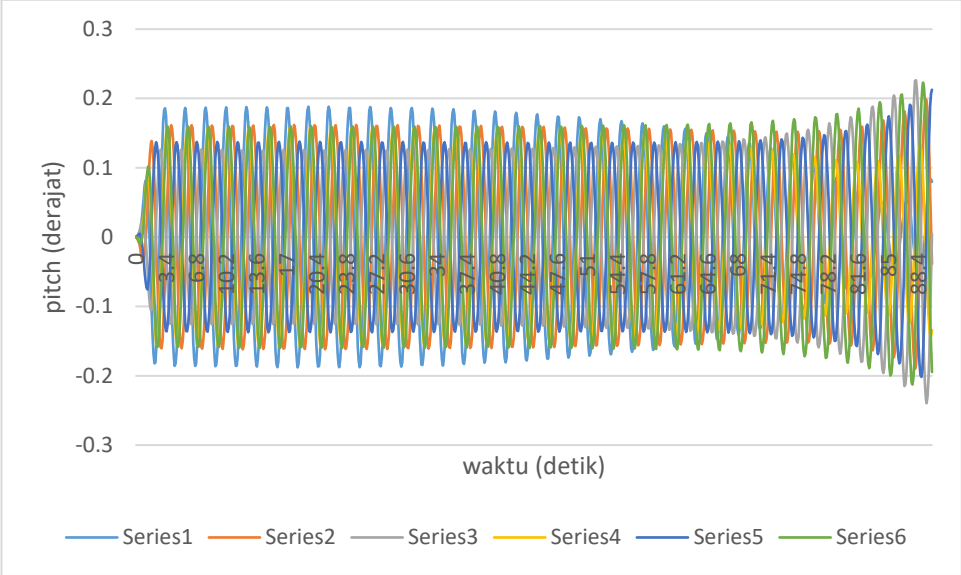

Gambar B52 Grafik RAO gerak pitching (45º;180º)



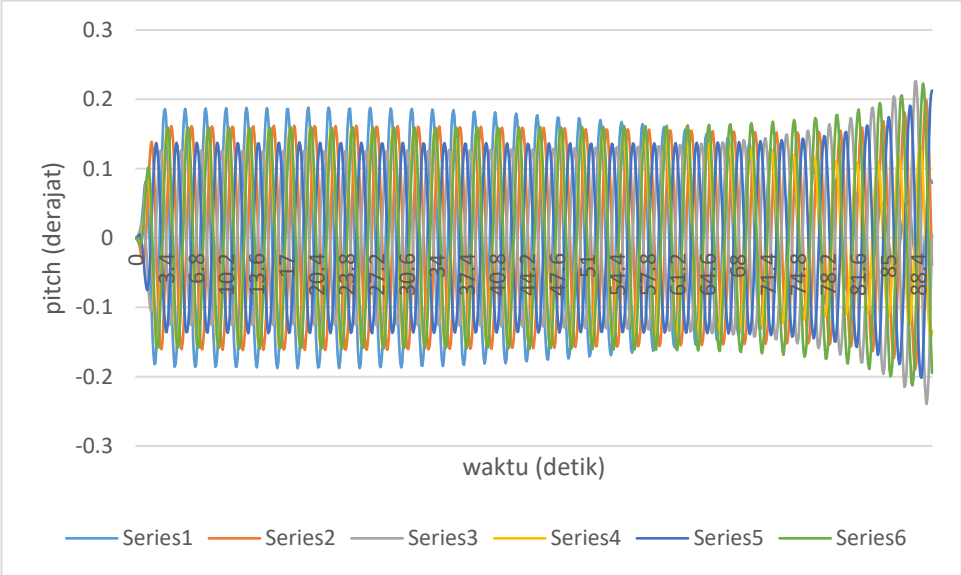

Gambar B53 Grafik RAO gerak pitching (90$^{o}$;0$^{o}$)



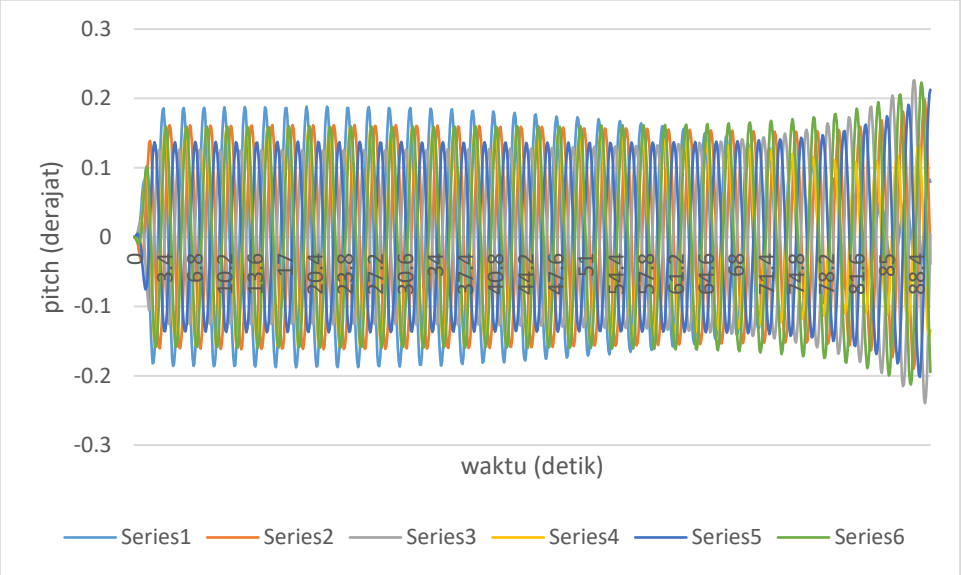

Gambar B54 Grafik RAO gerak pitching (90$^{o}$;45$^{o}$)



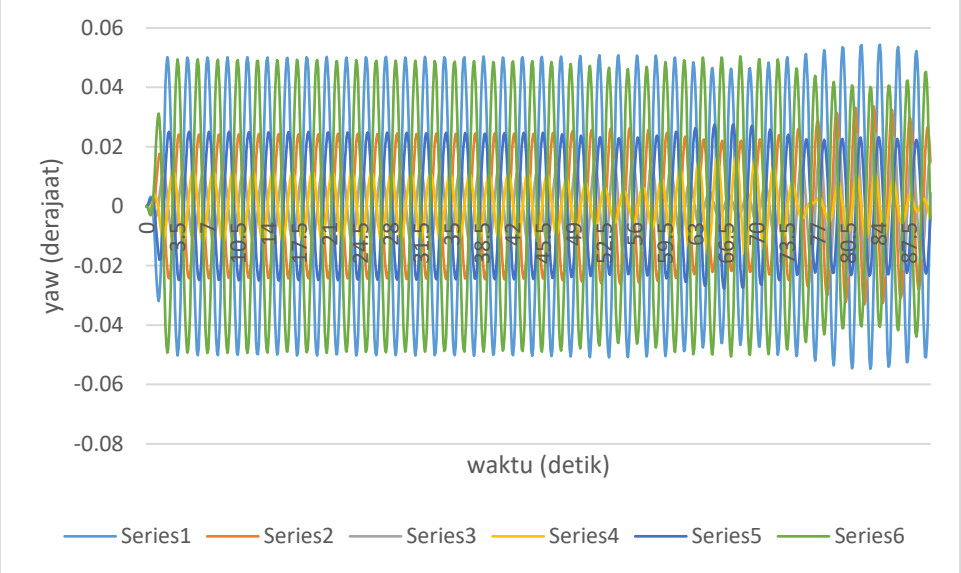

Gambar B55 Grafik RAO gerak pitching (90º;90º)



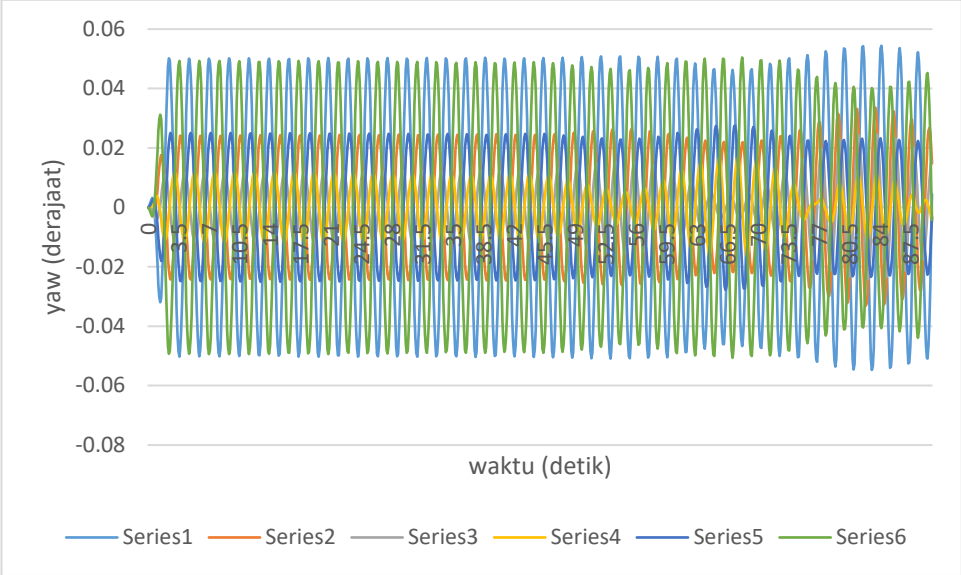

Gambar B56 Grafik RAO gerak pitching (90º;135º)



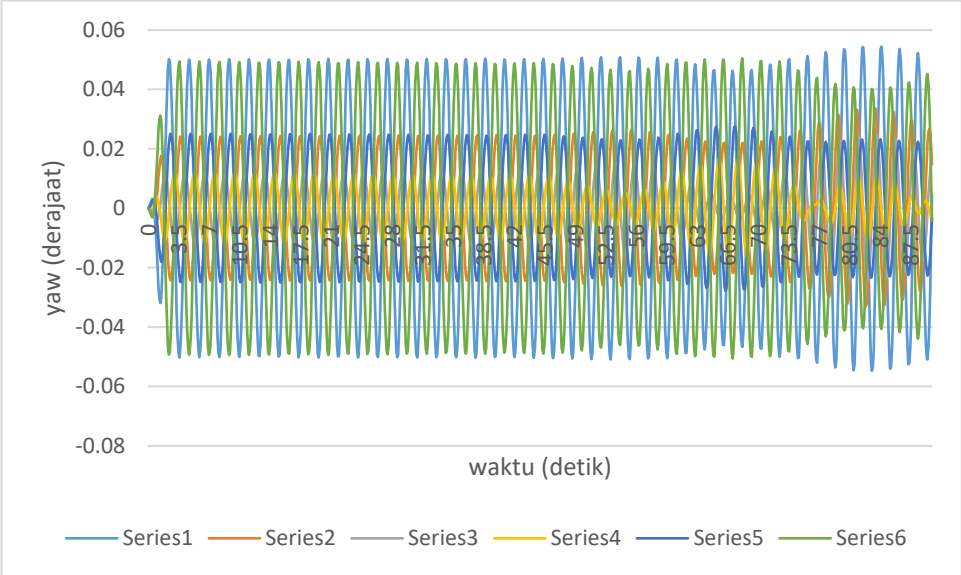

Gambar B57 Grafik RAO gerak pitching (90$^{o}$;180$^{o}$)



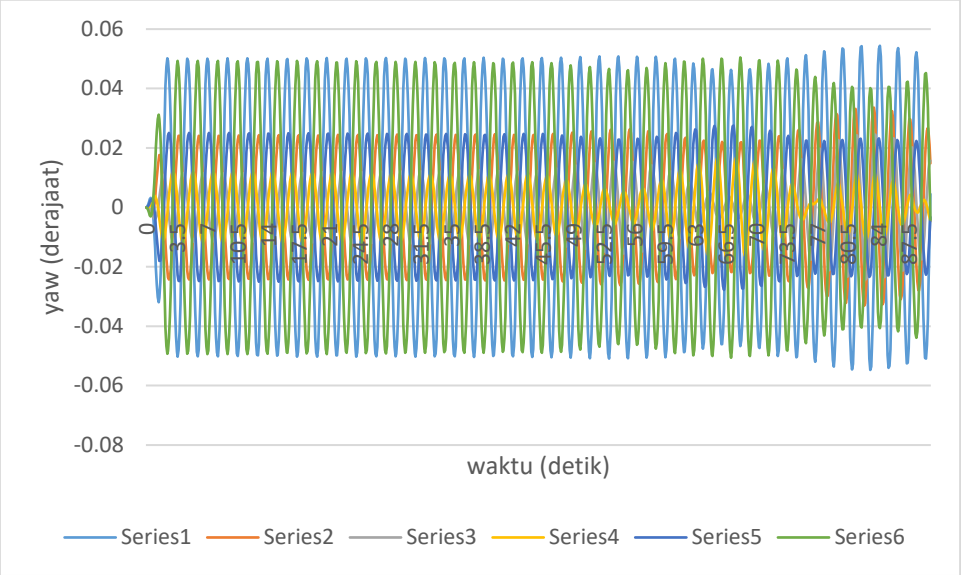

Gambar B58 Grafik RAO gerak yawing (0$^{o}$;0$^{o}$)



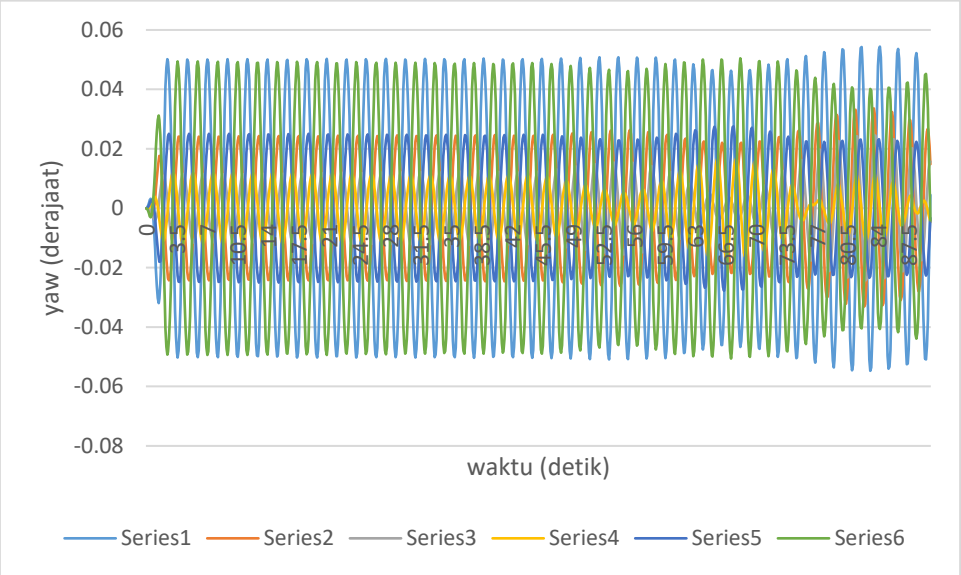

Gambar B59 Grafik RAO gerak yawing (0º;45º)



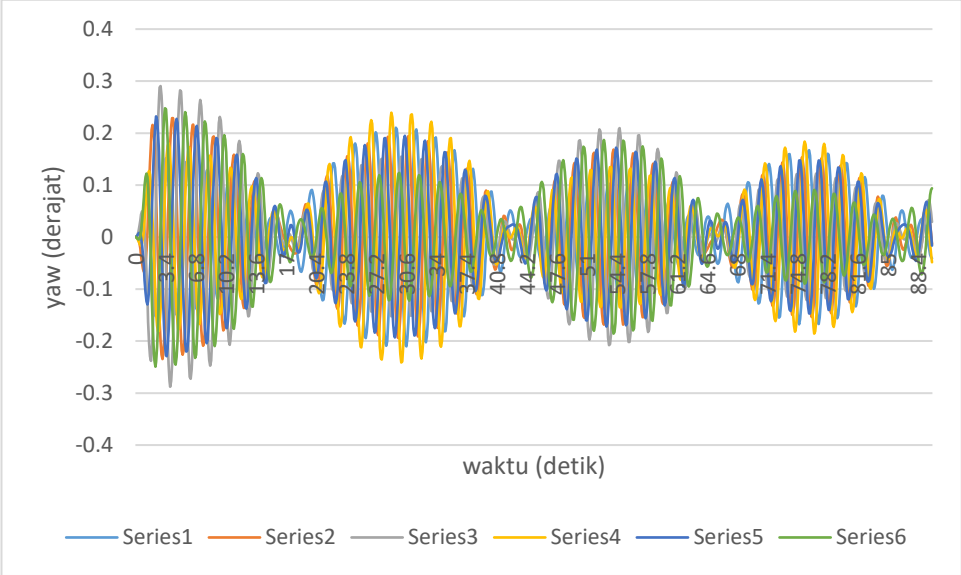

Gambar B60 Grafik RAO gerak yawing (0º;90º)



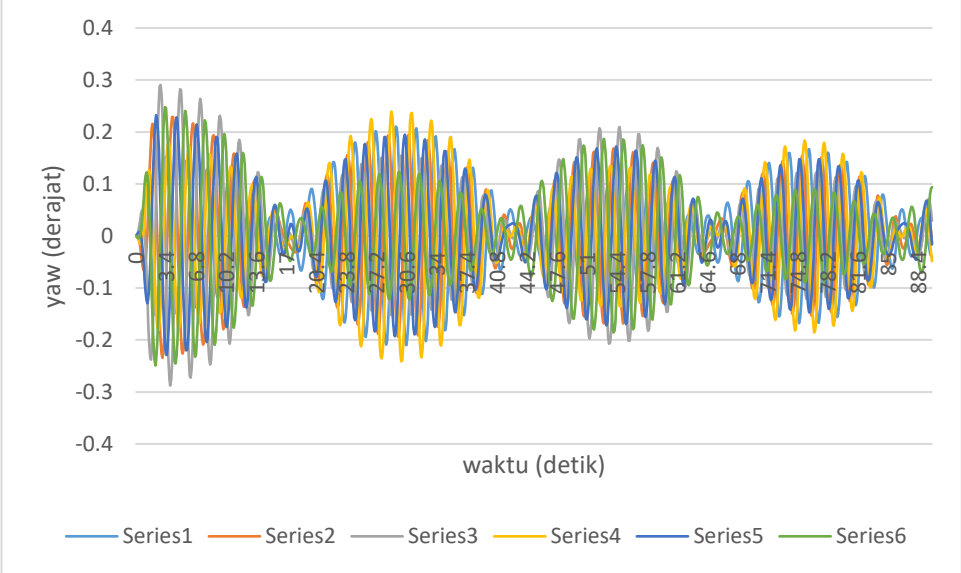

Gambar B61 Grafik RAO gerak yawing ($0^o$;$135^o$)



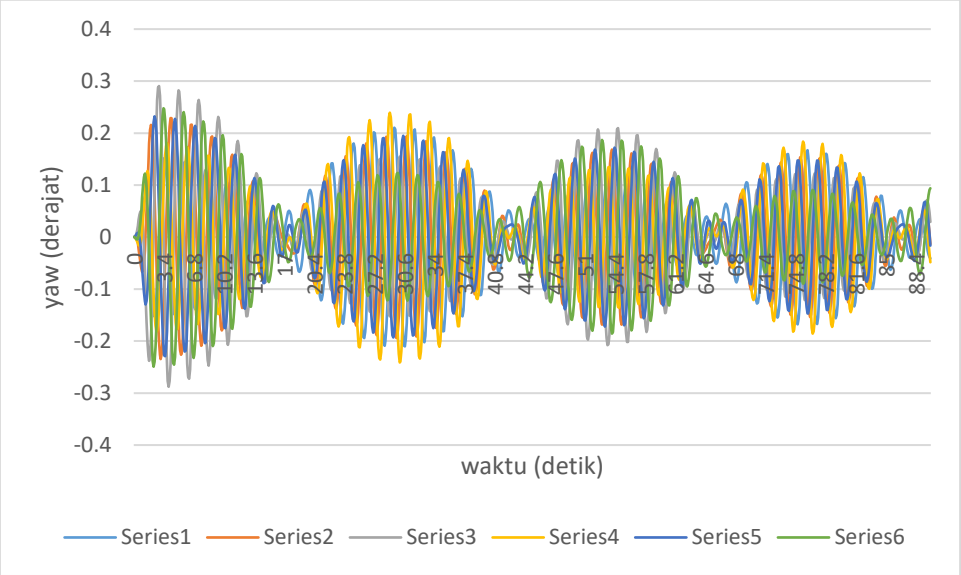

Gambar B62 Grafik RAO gerak yawing ($0^o$;$180^o$)



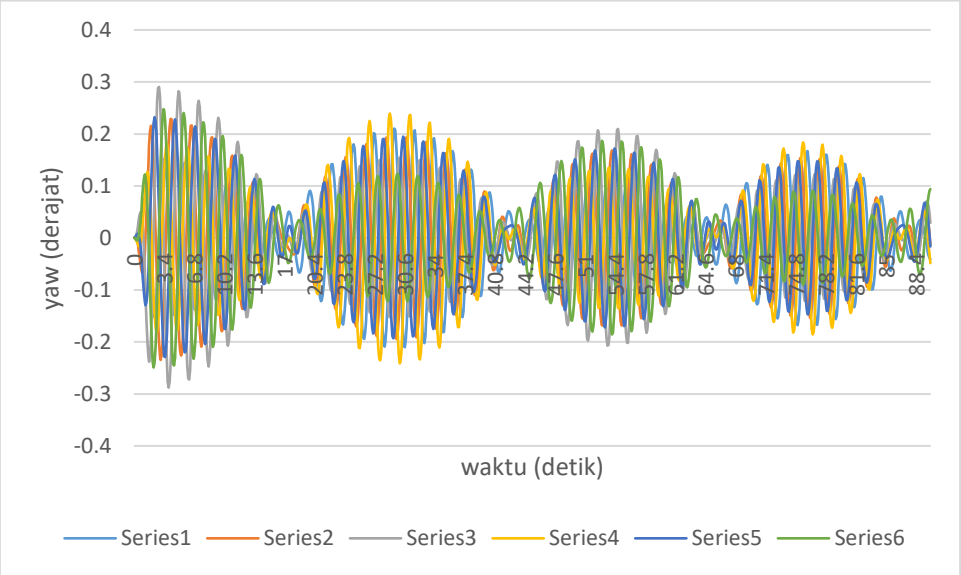

Gambar B63 Grafik RAO gerak yawing (45$^{o}$;0$^{o}$)



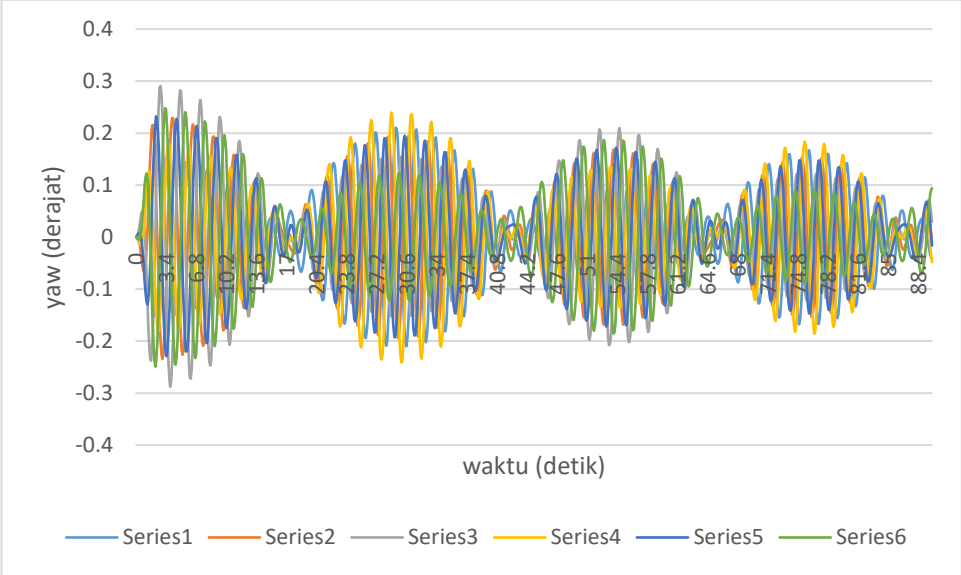

Gambar B64 Grafik RAO gerak yawing (45$^{o}$;45$^{o}$)



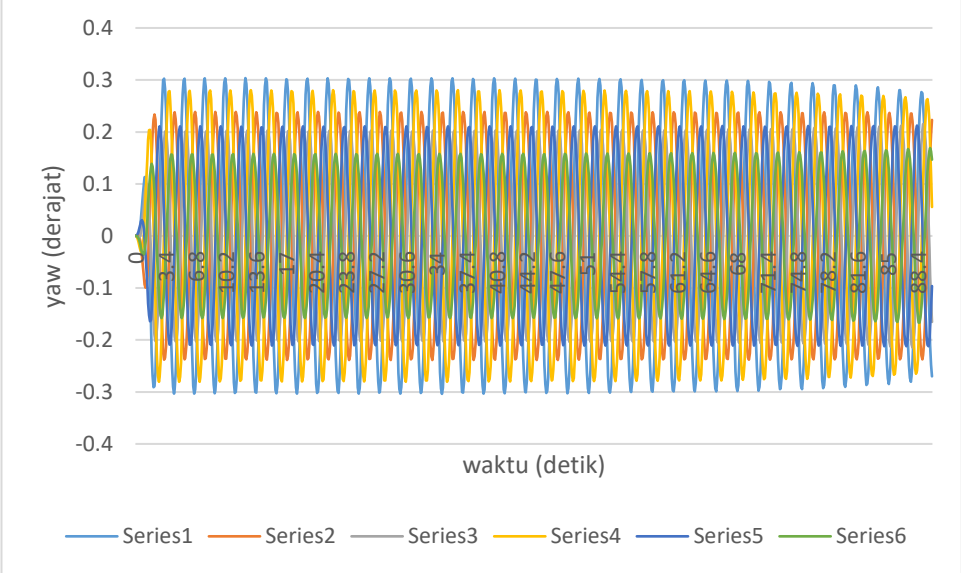

Gambar B65 Grafik RAO gerak yawing (45$^{o}$;90$^{o}$)



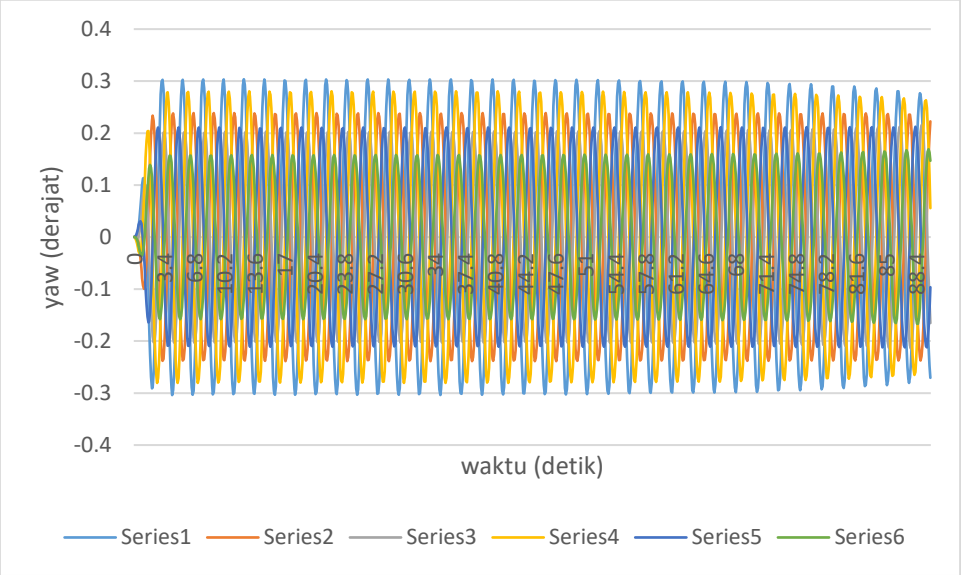

Gambar B66 Grafik RAO gerak yawing (45$^{o}$;135$^{o}$)



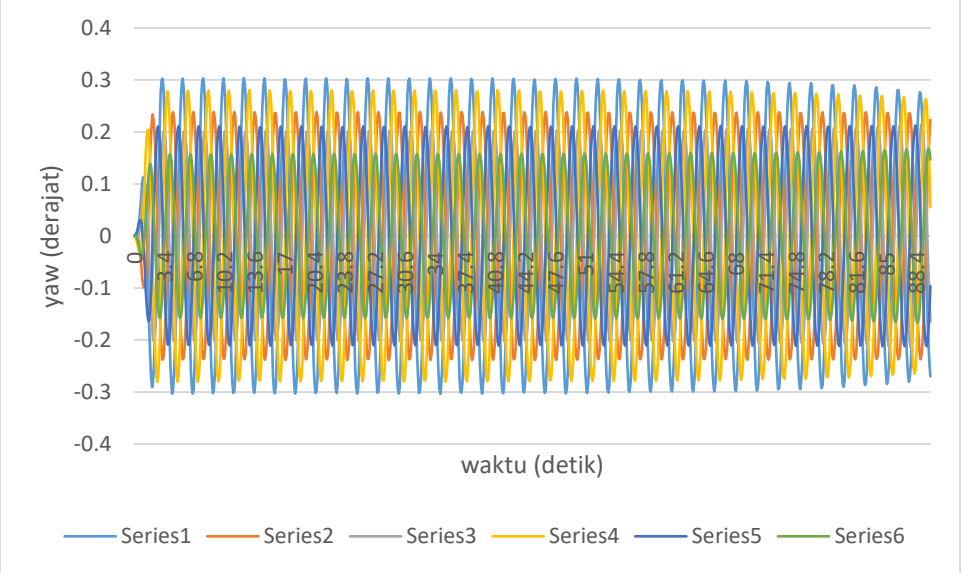

Gambar B67 Grafik RAO gerak yawing (45$^{o}$;180$^{o}$)



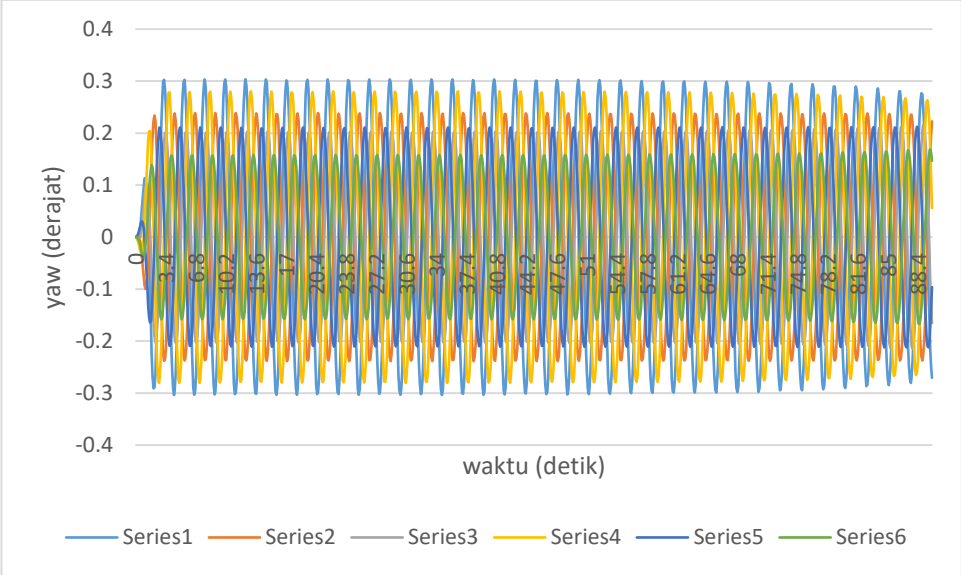

Gambar B68 Grafik RAO gerak yawing (90$^{o}$;0$^{o}$)



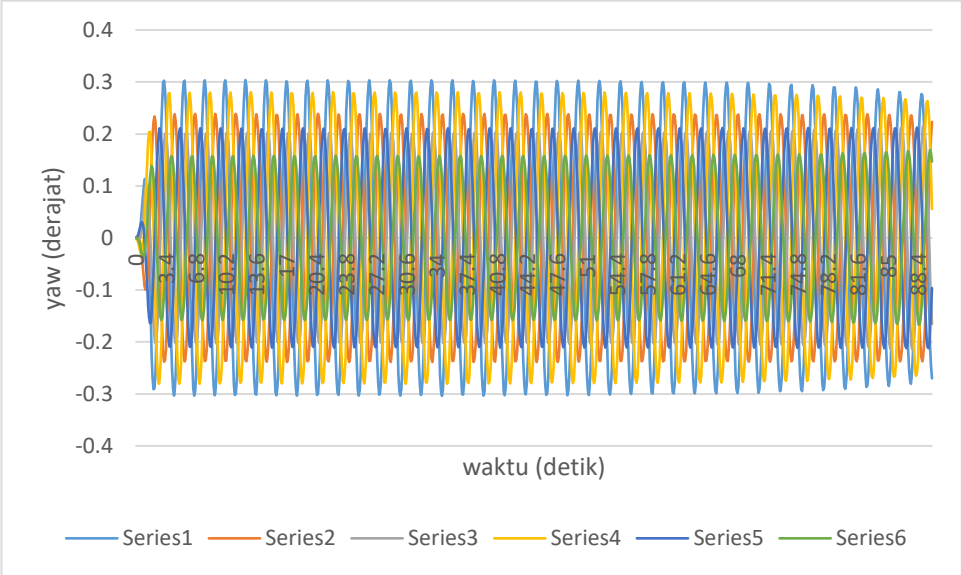

Gambar B69 Grafik RAO gerak yawing (90$^{o}$;45$^{o}$)




Gambar B70 Grafik RAO gerak yawing (90$^{o}$;90$^{o}$)




Gambar B71 Grafik RAO gerak yawing (90$^{o}$;135$^{o}$)




Gambar B72 Grafik RAO gerak yawing (90$^{o}$;180$^{o}$)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BIODATA PENULIS

Penulis lahir pada tanggal 24 Juli 1997 di Tasikmalaya, Jawa Barat. Penulis menempuh pendidikan di SDN Cibabat Mandiri 2 Cimahi (2003 – 2009), SMPN 3 Cimahi (2009 – 2012), dan SMAN 4 Cimahi (2012 – 2015).Penulis melanjutkan studi sarjananya di Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Bidang minat yang diambil penulis saat berkuliah di Departemen Teknik Fisika adalah Rekayasa Energi dan Pengondisian Lingkungan. Selama menjadi mahasiswa, penulis sempat aktif sebagai Sekjen FKMTF Indonesia dan UKM Bulutangkis. Pengalaman *internship* penulis adalah Studi Sistem Proteksi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Photovoltaic 1 MW di PT. Pembangkitan Jawa-Bali (PJB) Unit Pembangkitan Cirata. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail krisnaciptarasa28@gmail.com