



TESIS - MO 092350

# **ANALISIS GERAKAN KONFIGURASI *BOUY* UNTUK PENYERAPAN ENERGI GELOMBANG LAUT**

TRİYANTI IRMIYANA  
NRP. 4112. 201. 002

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Wisnu Wardhana, SE., M.Sc.  
Yoyok S. Hadiwidodo, ST., MT., Ph.D.

**PROGRAM MAGISTER  
JURUSAN TEKNIK PERANCANGAN BANGUNAN LAUT  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016**



TESIS - MO 092350

# **MOTION ANALYSIS OF BUOY WAVE ENERGY ABSORPTION**

TRİYANTI IRMIYANA  
NRP. 4112. 201. 002

Supervisor  
Dr. Ir. Wisnu Wardhana, SE., M.Sc.  
Yoyok S. Hadiwidodo, ST., MT., Ph.D.

**MASTER PROGRAM  
GRADUATE PROGRAM IN MARINE ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2016**

**Telah disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik  
(MT)  
di**

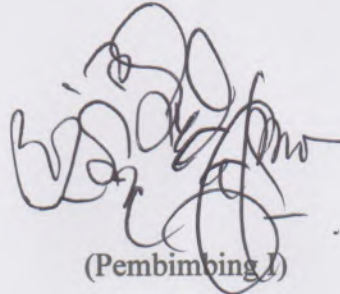
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
oleh:**

**Triyanti Irmiyana  
NRP. 4112. 201. 002**

Tanggal Ujian : 1 Agustus 2016  
Periode Wisuda : September 2016

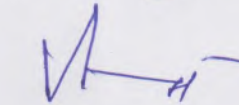
Disetujui oleh:

1 Dr. Ir. Wisnu Wardhana, SE., M.Sc.  
NIP. 19581204 198702 1 001



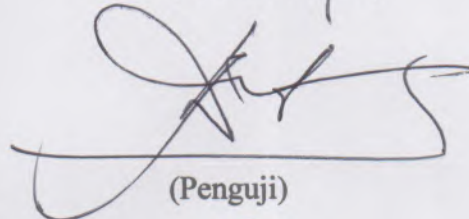
(Pembimbing I)

2 Yoyok S. Hadiwidodo, ST., M.T., Ph.D.  
NIP. 19711105 199512 1 001



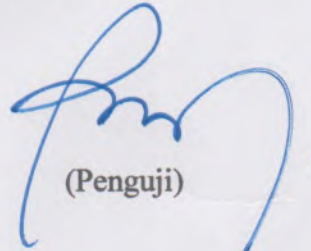
(Pembimbing II)

3 Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.  
NIP. 19581226 198403 1 002



(Penguji)

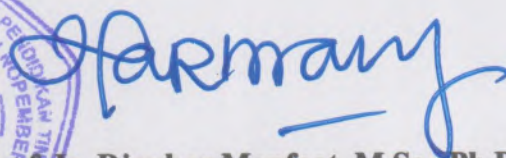
4 Dr.Eng. Rudi W. Prastianto, ST., MT.  
NIP. 19710508 199703 1 001



(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,



  
**Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.  
NIP. 19601202 198701 1 001**

# ANALISIS GERAKAN KONFIGURASI *BUOY* UNTUK PENYERAPAN ENERGI GELOMBANG LAUT

Nama Mahasiswa : Triyanti Irmiyana  
NRP : 4112201002  
Pembimbing : Dr. Ir. Wisnu Wardhana, SE., M.Sc.  
Ko-Pembimbing : Yoyok S. Hadiwidodo, ST., MT., Ph.D.

## ABSTRAK

Kebutuhan energi di Indonesia semakin meningkat dari tahun ke tahun, namun cadangan sumber energi yang berupa energi fosil semakin berkurang. Sehingga Indonesia membutuhkan energi terbarukan seperti energi gelombang laut yang mampu menggerakkan turbin dengan mengetahui data gelombang laut. Saat ini akan dirancang teknologi pembangkit listrik energi gelombang laut sistem piston yang terdiri dari *buoy*, pompa piston, *pressure vessel*, turbin, dan generator. Cara kerjanya adalah saat gelombang mengenai *buoy*, maka *buoy* yang dikopel dengan pompa piston akan bergerak *pitch*, pompa piston berfungsi menghasilkan dan memompa udara bertekanan ke *pressure vessel*. Dari *pressure vessel*, udara bertekanan disemprotkan ke sudu-sudu turbin sehingga menggerakkan poros turbin yang dikopel dengan generator.

Karena teknologi pembangkit sistem piston masih dalam perencanaan, maka dalam penelitian ini dilakukan analisis gerakan konfigurasi dan dimensi *buoy* yang akan digunakan untuk penyerapan energi gelombang laut. Pemodelan dilakukan dengan metode numerik menggunakan CFD. Dalam penelitian ini panjang *buoy* dikondisikan sama dengan panjang gelombang laut serta hanya gerakan *pitch* pada *buoy* yang dianalisa. Selain menganalisa gerakan *buoy* juga menganalisa pola aliran yang terjadi di sekitar *buoy* baik dalam kondisi diam maupun bergerak *pitch*, dengan beberapa variasi yaitu 2 variasi panjang *buoy*, dan 5 variasi periode gelombang. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa *buoy* dengan panjang 1 meter pada *heading*  $0^\circ$ , periode 1,5 detik memiliki RAO paling besar yaitu 316,6 meter. *Buoy* dengan panjang 2 meter pada *heading*  $180^\circ$ , periode 2 detik memiliki RAO paling besar yaitu 166,58 meter. Pola aliran di sekitar *buoy* saat diam merupakan aliran vortex laminar karena nilai  $Re$  berada di  $40 < Re < 90$  dan  $90 < Re < 1$ , yaitu  $Re$  94,9 pada frekuensi 1,26 rad/s, serta  $Re$  71,2 pada frekuensi 1.4 rad/s. Pola aliran pada benda bergerak *pitch* dengan frekuensi 1.4 adalah aliran vortex turbulen, karena nilai  $Re$  berada di  $300 < Re < 3 \times 10^5$ . yaitu  $Re$  194622.7. Energi *pitch* rata-rata yang dihasilkan oleh *buoy* dengan panjang 1 meter adalah 71 kJ, sedangkan pada *buoy* dengan panjang 2 meter adalah 95 kJ.

**Kata kunci** : *buoy*, *pressure vessel*, *pitch*, RAO.

# MOTION ANALYSIS OF BUOY WAVE ENERGY ABSORPTION

By : Triyanti Irmiyana  
Student Identity Number : 4112201002  
Supervisor : Dr. Ir. Wisnu Wardhana, SE., M.Sc.  
Co Supervisor : Yoyok S. Hadiwidodo, ST., MT., Ph.D.

## ABSTRACT

In Indonesia energy demand increase year by year but energy reserved that include fossil energy is lessen more. Therefore Indonesia needs a newest energy such as wave energy that can start a turbine by wave date informer. Nowadays scientist as designed an electric generator waves energy piston system which is consist of buoy, piston pump, pressure vessel, turbine and generator. When the waves catch a buoy which is paired with piston pump will get move pitch. The function of piston pump results an air and it will pump an air pressure to pressure vessel. From pressure vessel, air is sprayed to turbine so it will activate shaft turbine which is paired by generator.

Technology of piston system generator is still on progress. Therefore in this research is to analyze configuration movement and buoy dimension which is used to adsorb wave energy. Modelling is done by numeric method by CFD. In this research, the length of buoy was set same as the length of wave energy and movement of pitch that is only analyzed. Furthermore, it will analyze flow system which is in buoy either at state or moving with some variation of that length variations buoy 2, and 5 variations of wave period. From this research, it can be resumed that buoy with a length of 1 meter in heading  $0^\circ$  a period of 1.5 seconds has the greatest RAO is 316.6 meters. Buoy with a length of 1 meter in heading  $180^\circ$  a period of 2 seconds has the greatest RAO is 166.58 meters. Flow system in around of stationery buoy is laminar vortex flow. It is because of Re value which is in  $40 < \text{Re} < 90$  and  $90 < \text{Re} < 1$ , it is Re 94.9 at a frequency of 1.26 rad / s, as well as on the frequency 71.2 Re 1.4 rad / s. The flow system on a pitch moving object with a frequency of 1.4 is turbulent vortex flow, because the value of Re which is located at  $300 < \text{Re} < 3 \times 10^5$  is Re 194622.7. Average pitch of energy which is created by a buoy with a length of 1 meter is 71 kJ, while the buoy with a length of 2 meters is 95 kJ

**Kata kunci** : *buoy, pressure vessel, pitch, RAO.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan Tesis yang berjudul “Analisis Gerakan Konfigurasi Buoy Untuk Penyerapan Energi Gelombang Laut” dengan baik dan lancar.

Penulisan laporan tesis ini dapat selesai berkat bantuan, dukungan dan dorongan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Wisnu Wardhana, SE., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan waktu, arahan, bimbingan, pemahaman, ilmu dan segala diskusi selama proses penulisan tesis ini.
2. Bapak Yoyok S. Hadiwidodo, ST., MT., Ph.D selaku dosen pembimbing dan sekretaris jurusan yang telah memberikan waktu, arahan, bimbingan, pemahaman, ilmu dan segala diskusi selama proses penulisan tesis ini.
3. Bapak Dr.Eng. Rudi W. Prastianto, ST., MT selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan
4. Bapak Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D. selaku dosen penguji pada sidang tesis saya yang telah memberikan arahan pada saat sidang dan pasca sidang.
5. Seluruh Bapak/Ibu dosen Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS atas segala dedikasinya dan ilmu yang telah diberikan.
6. Teman-teman angkatan 2012 Teknik Kelautan ITS atas semua dukungan, semangat dan kebersamaannya selama ini.
7. Ika irawati dan Dwi Indriyani selaku kakak saya atas dukungan, semangat, doa serta yang sangat setia menjaga dan merawat *printer* selama tesis.
8. Erdina dan Agro yang telah meluangkan waktunya dengan sabar untuk menuntun dan berbagi ilmu tentang hidrodinamika.
9. Tim Nyaris Puhah dan Icha atas dukungan, semangat serta doanya.
10. Semua pihak yang telah sangat membantu dalam proses penulisan tesis ini.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan laporan ini, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna tercapainya perbaikan penulisan tesis nanti. Semoga laporanh tesis ini dapat memberikan manfaat dan inspirasi terutama bagi pihak-pihak yang menekuni bidang yang terkait dengan hidrodinamika.

Surabaya, Agustus 2016

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan Masalah .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....	7
2.1 Kajian Pustaka .....	7
2.2 Pembangkit Listrik Energi Gelombang Laut Sistem Piston .....	10
2.3 Dasar Teori .....	11
2.3.1 Gelombang Laut .....	11
2.3.2 Gelombang Linear .....	12
2.3.3 Gerakan Bangunan Apung .....	17
2.3.4 Gerakan <i>Pitch</i> .....	19
2.3.5 Konsep Dasar Gerakan Bangunan Laut .....	21
2.3.6 <i>Response Amplitude Operator (RAO)</i> .....	23
2.3.7 Aliran di Sekitar Benda yang Dibenamkan .....	25
2.3.8 <i>Computational Fluid Dynamic</i> .....	28



BAB 3 METODE PENELITIAN .....	31
3.1 Diagram Alir Metode Penelitian .....	31
3.2 Prosedur Penelitian .....	32
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....	35
4.1 Konfigurasi dan Dimensi Buoy .....	35
4.1.1 Pemodelan <i>buoy</i> .....	35
4.1.2 Konfigurasi <i>buoy</i> .....	39
4.2 Analisis Respons Amplitudo Operator yang dihasilkan buoy akibat gaya eksitasi gelombang reguler pada gerakan <i>pitch</i> .....	40
4.2.1 Simulasi Respons Amplitudo Operator pada <i>buoy</i> dengan Panjang 1 meter .....	41
4.2.2 Simulasi Respons Amplitudo Operator pada <i>buoy</i> dengan Panjang 2 meter .....	46
4.3 Pola aliran yang terjadi di sekitar Buoy .....	51
4.3.1 Pola aliran yang terjadi di sekitar Buoy dengan panjang 1 meter .....	53
4.3.2 Pola aliran yang terjadi di sekitar Buoy dengan panjang 2 meter .....	58
4.3.3 Pola Aliran yang Terjadi di Sekitar <i>Buoy</i> dengan variasi diameter ...	63
4.3.4 Pola aliran yang terjadi di sekitar konfigurasi Buoy dengan panjang 1 meter .....	68
4.3.5 Pola aliran yang terjadi di sekitar konfigurasi Buoy dengan panjang 2 meter .....	69
4.4 Analisis Penyerapan Energi Gelombang Laut Yang Berada di buoy .....	70
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....	75
5.1 Kesimpulan .....	75
5.2 Saran .....	76
DAFTAR PUSTAKA .....	77

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pembangkit Listrik Energi Gelombang Sistem Bandulan .....	8
Gambar 2.2 Sketsa Mekanisme Kerja Pompa Gelombang .....	8
Gambar 2.3 Skema Cara Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Sistem Piston .....	10
Gambar 2.4 Parameter Gelombang Laut Linear Bersifat Sinusoidal.....	11
Gambar 2.5 Sifat Gelombang sebagai Rasio dari Kedalaman Laut dan Panjang Gelombang.....	13
Gambar 2.6 Sifat Gelombang di Berbagai Kondisi Kedalaman .....	15
Gambar 2.7 Sketsa Grup Gelombang .....	16
Gambar 2.8 Sumbu X, Y, dan Z pada Kapal .....	18
Gambar 2.9 Benda Apung yang Mengalami <i>Heaving</i> atau <i>Pitching</i> : (A) Gerakan <i>Heaving</i> ; (B) Gerakan <i>Pitching</i> ; (C) Kondisi <i>Pitching</i> ; (D) Kondisi <i>Heaving</i> .....	19
Gambar 2.10 Silinder Terapung dalam Medan Propagasi Gelombang.....	21
Gambar 2.11 Bentuk Umum Grafik Respons Gerakan Bangunan Apung.....	24
Gambar 2.12 Pola Aliran Fluida di Sekitar Silinder .....	26
Gambar 3.1 <i>Flow Chart</i> Metode Penelitian .....	31
Gambar 3.2 Data Tinggi Gelombang Signifikan Perairan Dangkal di Selat Bali.	32
Gambar 3.3 Estimasi Panjang <i>Buoy</i> .....	33
Gambar 4.1 Dimensi dari <i>Buoy</i> dengan Panjang 1 Meter; Gambar 4.1a <i>Buoy</i> dengan Diameter 30 Cm; Gambar 4.1b <i>Buoy</i> dengan Diameter 25 Cm.....	36
Gambar 4.2 <i>Buoy</i> dalam Bentuk 3D dengan Panjang 1 Meter; Gambar 4.2a <i>Buoy</i> dengan Diameter 30cm; 4.2b <i>Buoy</i> dengan Diameter 25cm.....	37
Gambar 4.3 Dimensi dari <i>Buoy</i> dengan Panjang 2 Meter. Gambar 4.3a <i>buoy</i> dengan diameter 63cm; gambar 4.3b <i>buoy</i> dengan diameter 50 cm. .	38
Gambar 4.4 <i>Buoy</i> dalam Bentuk 3D dengan Panjang 2 Meter. Gambar 4.4a <i>Buoy</i> dengan Diameter 60 Cm, Gambar 4.4b <i>Buoy</i> dengan Diameter 50cm. ....	39
Gambar 4.5 Konfigurasi <i>Buoy</i> .....	40

Gambar 4.6 Grafik RAO pada <i>Buoy</i> 1 Meter pada <i>Heading</i> 0° .....	41
Gambar 4.7 Grafik RAO pada <i>Buoy</i> 1 Meter pada <i>Heading</i> 45° .....	43
Gambar 4.8 Grafik RAO pada <i>Buoy</i> 1 Meter pada <i>Heading</i> 90° .....	44
Gambar 4.9 Grafik RAO pada <i>Buoy</i> 1 Meter pada <i>Heading</i> 135° .....	45
Gambar 4.10 Grafik RAO pada <i>Buoy</i> 1 Meter pada <i>Heading</i> 180° .....	46
Gambar 4.11 Grafik RAO pada <i>buoy</i> 2 meter pada <i>heading</i> 0° .....	47
Gambar 4.12 Grafik RAO pada <i>buoy</i> 2 meter pada <i>heading</i> 45° .....	48
Gambar 4.13 Grafik RAO <i>Buoy</i> 2 Meter pada <i>Heading</i> 90° .....	49
Gambar 4.14 Grafik RAO pada <i>buoy</i> 2 meter pada <i>heading</i> 135° .....	50
Gambar 4.15 Grafik RAO pada <i>buoy</i> 2 meter pada <i>heading</i> 135° .....	51
Gambar 4.16 Estimasi panjang <i>buoy</i> sama dengan panjang gelombang .....	51
Gambar 4.17 Sensitivitas model uji numerik .....	52
Gambar 4.18 Simulasi Pola Aliran dengan kedalaman 4 meter dan frekuensi 1,26 rad/s; (a) saat <i>buoy</i> bergerak <i>pitch</i> ; (b) saat <i>buoy</i> diam .....	53
Gambar 4.19 Simulasi Pola Aliran dengan Kedalaman 4 Meter dan Frekuensi 1,4 Rad/S; (A) saat <i>Buoy</i> Bergerak <i>Pitch</i> ; (B) Saat <i>Buoy</i> Diam .....	54
Gambar 4.20 Simulasi Pola Aliran dengan kedalaman 3 meter dan frekuensi 1,26 rad/s; (a) saat <i>buoy</i> bergerak <i>pitch</i> ; (b) saat <i>buoy</i> diam .....	55
Gambar 4.21 Simulasi Pola Aliran dengan kedalaman 3 meter dan frekuensi 1,4 rad/s; (a) saat <i>buoy</i> bergerak <i>pitch</i> ; (b) saat <i>buoy</i> diam .....	56
Gambar 4.22 Simulasi Pola Aliran dengan Kedalaman 3 Meter dan Frekuensi 1,57 Rad/S; (A) Saat <i>Buoy</i> Bergerak <i>Pitch</i> ; (B) Saat <i>Buoy</i> Diam .....	57
Gambar 4.23 Simulasi Pola Aliran dengan kedalaman 3 meter dan frekuensi 1,26 rad/s; (a) saat <i>buoy</i> bergerak <i>pitch</i> ; (b) saat <i>buoy</i> diam .....	58
Gambar 4.24 Simulasi Pola Aliran dengan Kedalaman 3 Meter dan Frekuensi 1,4 Rad/S; (A) Saat <i>Buoy</i> Bergerak <i>Pitch</i> ; (B) Saat <i>Buoy</i> Diam .....	59
Gambar 4.25 Simulasi Pola Aliran dengan kedalaman 3 meter dan frekuensi 1,57 rad/s; (a) saat <i>buoy</i> bergerak <i>pitch</i> ; (b) saat <i>buoy</i> diam .....	60
Gambar 4.26 Simulasi Pola Aliran dengan kedalaman 4 meter dan frekuensi 1,26 rad/s; (a) saat <i>buoy</i> bergerak <i>pitch</i> ; (b) saat <i>buoy</i> diam .....	61

Gambar 4.27 Simulasi Pola Aliran dengan kedalaman 4 meter dan frekuensi 1,4 rad/s; (a) saat buoy bergerak pitch; (b) saat buoy diam.....	62
Gambar 4.28 Simulasi Pola Aliran dengan kedalaman 3 meter dan frekuensi 1,4 rad/s; (a) saat buoy bergerak pitch; (b) saat buoy diam.....	63
Gambar 4.29 Simulasi Pola Aliran dengan kedalaman 3 meter dan frekuensi 1,26 rad/s; (a) saat buoy bergerak pitch; (b) saat buoy diam.....	64
Gambar 4.30 Simulasi Pola Aliran dengan Kedalaman 3 Meter dan Frekuensi 1,57 Rad/S; (A) saat Buoy Bergerak Pitch; (B) saat Buoy Diam. ....	65
Gambar 4.31 Simulasi Pola Aliran dengan kedalaman 4 meter dan frekuensi 1,4 rad/s; (a) saat buoy bergerak pitch; (b) saat buoy diam.....	66
Gambar 4.32 Simulasi Pola Aliran dengan kedalaman 4 meter dan frekuensi 1,26 rad/s; (a) saat buoy bergerak pitch; (b) saat buoy diam.....	67
Gambar 4.33 Simulasi pola aliran konfigurasi <i>buoy</i> saat bergerak <i>pitch</i> dengan panjang <i>buoy</i> 1 meter pada kedalaman 1 meter.....	69
Gambar 4.34 Simulasi pola aliran konfigurasi <i>buoy</i> saat bergerak <i>pitch</i> dengan panjang <i>buoy</i> 2 meter pada kedalaman 1 meter.....	69
Gambar 4.35 Desain Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem <i>Integrated Concentric Stroke</i> .....	70

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Simulasi <i>RAO</i> pada Panjang <i>Buoy</i> 1 Meter pada <i>Heading</i> $0^\circ$ .....	41
Tabel 4.2 Hasil Uji Numerik <i>RAO</i> pada Panjang <i>Buoy</i> 1 Meter pada <i>Heading</i> $45^\circ$ .....	42
Tabel 4.3 Hasil Uji Numerik <i>RAO</i> pada Panjang <i>Buoy</i> 1 Meter pada <i>Heading</i> $90^\circ$ .....	43
Tabel 4.4 Hasil Uji Numerik <i>RAO</i> pada Panjang <i>Buoy</i> 1 Meter pada <i>Heading</i> $135^\circ$ .....	44
Tabel 4.5 Hasil Uji Numerik <i>RAO</i> pada Panjang <i>Buoy</i> 1 Meter pada <i>Heading</i> $180^\circ$ .....	45
Tabel 4.6 Hasil Uji Numerik <i>RAO</i> pada panjang <i>buoy</i> 2 meter pada <i>heading</i> $0^\circ$ .	46
Tabel 4.7 Hasil Uji Numerik <i>RAO</i> pada panjang <i>buoy</i> 2 meter pada <i>heading</i> $45^\circ$	47
Tabel 4.8 Hasil Uji Numerik <i>RAO</i> pada panjang <i>buoy</i> 2 meter pada <i>heading</i> $90^\circ$	48
Tabel 4.9 Hasil Uji Numerik <i>RAO</i> pada panjang <i>buoy</i> 2 meter pada <i>heading</i> $135^\circ$ .....	49
Tabel 4.10 Hasil Uji Numerik <i>RAO</i> pada panjang <i>buoy</i> 2 meter pada <i>heading</i> $180^\circ$ .....	50
Tabel 4.11 Perhitungan Kecepatan Sudut Gelombang pada <i>buoy</i> 1 meter .....	52
Tabel 4.12 Hasil Uji Numerik <i>Reynold Number</i> pada panjang <i>buoy</i> 1 meter dengan kedalaman laut 4 meter .....	55
Tabel 4.13 Hasil Uji Numerik <i>Reynold Number</i> pada Panjang <i>Buoy</i> 2 Meter dengan Kedalaman Laut 3 Meter.....	60
Tabel 4.14 Hasil Uji Numerik <i>Froude Number</i> pada panjang <i>buoy</i> 2 meter dengan kedalaman laut 4 meter.....	62
Tabel 4.15 Hasil Uji Numerik <i>Froude Number</i> pada Panjang <i>Buoy</i> 1 Meter variasi diameter dengan Kedalaman Laut 3 Meter.....	66
Tabel 4.16 Hasil Uji Numerik <i>Froude Number</i> pada Panjang <i>Buoy</i> 1 Meter variasi diameter dengan Kedalaman Laut 3 Meter.....	68
Tabel 4.17 Analisis besarnya energy gelombang laut yang diserap oleh <i>buoy</i> dengan panjang 1 meter.....	71

Tabel 4.17 Analisis Besarnya Energy Gelombang Laut yang Diserap Oleh <i>Buoy</i> dengan Panjang 1 Meter (Lanjutan) .....	72
Tabel 4.18 Analisis besarnya energy gelombang laut yang diserap oleh <i>buoy</i> dengan panjang 2 meter .....	73
Tabel 4.18 Analisis besarnya energy gelombang laut yang diserap oleh <i>buoy</i> dengan panjang 2 meter (Lanjutan) .....	78

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik di Indonesia semakin meningkat dari tahun ke tahun seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk. Berdasarkan Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) tahun 2010-2019, kebutuhan tenaga listrik diperkirakan mencapai 55.000 Mega Watt (MW). Dengan demikian, rata-rata peningkatan kebutuhan listrik per tahun mencapai 5.500 MW. Dari total kebutuhan tenaga listrik, sebanyak 32.000 MW (57 persen) akan dipenuhi sendiri oleh PT. PLN (Persero), sedangkan sisanya yaitu 23.500 MW akan dipenuhi oleh pengembang listrik swasta (Rachmawati & Adhi, 2011).

Karena cadangan sumber energi yang berupa energi fosil semakin berkurang, sehingga Indonesia membutuhkan energi terbarukan salah satunya adalah energi gelombang laut. Potensi penggunaan energi gelombang laut bisa diterapkan di banyak negara terutama yang memiliki kawasan pantai. Di samping nilai ekonomis yang cukup menjanjikan, energi ini lebih ramah lingkungan, tidak menimbulkan polusi suara, emisi CO<sub>2</sub>, maupun polusi visual, dan mampu memberikan ruang kepada kehidupan laut untuk membentuk koloni terumbu karang di sepanjang jangkar yang ditanam di dasar laut. Penempatan *buoy* dengan ukuran yang relatif kecil tidak mengganggu pelayaran. Semakin banyak dilakukan penelitian terhadap energi gelombang, maka sistem konversi energi gelombang akan semakin banyak ditemukan yang paling efisien dengan harga yang relatif murah.

Saat ini banyak pembangkit listrik tenaga arus dan gelombang laut dikembangkan di lokasi yang mempunyai kecepatan arus besar, terutama di selat-selat antar pulau. Seperti penelitian yang dikembangkan oleh Pusat Litbang Sumber Daya Air, membuat model pompa gelombang dengan *flap* horisontal untuk menangkap energi gelombang di sekitar daerah pantai. Pompa tersebut didesain dengan pertimbangan mudah dioperasikan dengan memiliki biaya

instalasi, pengoperasian dan pemeliharaan yang murah. Pompa gelombang ini nantinya akan digunakan untuk memindahkan air laut ke tempat yang lebih tinggi yang selanjutnya digunakan menggerakkan generator listrik. Balai Pantai telah melakukan uji model fisik dua dimensi (2D) pompa *flap* tersebut di saluran kaca (*flume*) Pusat Litbang Sumber Daya Air (Samskerta, 2012).

Pembangkit listrik energi gelombang sistem bandulan ditemukan oleh Zamrisyaf (2002). Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandulan (PLTGLSB) berbentuk ponton ditempatkan mengapung di atas permukaan air laut. Ponton tersebut akan mengikuti gerak atau arus gelombang laut sesuai frekuensi gelombang laut, sehingga menyebabkan gerakan yang terus-menerus hingga mengeluarkan energi atau daya.

Wijaya(2010) meneliti mengenai besarnya energi yang dihasilkan gelombang laut dengan penggunaan teknologi *oscilating water column* (OWC) di perairan Samudra Hindia, tepatnya di laut yang ada di kawasan Jimbaran. Alat OWC ini akan menangkap energi gelombang yang mengenai lubang pintu OWC, sehingga terjadi fluktuasi atau osilasi gerakan air dalam ruang OWC, kemudian tekanan udara ini akan menggerakkan baling-baling turbin yang dihubungkan dengan generator listrik sehingga menghasilkan listrik.

Penelitian yang telah dilakukan dalam pemanfaatan energi gelombang, pada umumnya dilakukan di lokasi yang memiliki frekuensi gelombang dan arus laut yang besar. Sedangkan untuk kawasan yang memiliki frekuensi gelombang kecil belum dilakukan penelitian. Saat ini akan dikembangkan suatu teknologi penyerapan energi gelombang laut dengan sistem piston. Sistem tersebut didesain dengan pertimbangan mampu dioperasikan di daerah yang memiliki frekuensi gelombang besar maupun kecil. Sistem piston ini terdiri dari beberapa peralatan, yaitu *buoy*, piston, *pressure vessel*, turbin, dan generator. Secara sederhana, cara kerja pembangkit listrik energi gelombang laut sistem piston adalah saat gelombang mengenai *buoy*, *buoy* yang dikopel dengan piston akan bergerak *pitch*, udara yang dihasilkan oleh piston akan ditampung di *pressure vessel*, udara bertekanan ini digunakan untuk menggerakkan turbin yang dikopel dengan generator.



Namun dimensi *buoy* yang akan digunakan masih belum diketahui, oleh karena itu dalam penelitian ini, akan melakukan analisis gerakan konfigurasi *buoy* untuk penyerapan energi gelombang dan analisa pola aliran di sekitar *buoy*. Dengan berdasar pada konsep dasar gerakan bangunan laut dan *Response Amplitude Operator (RAO)*, maka akan diperoleh dimensi *buoy* yang optimal pada frekuensi gelombang tertentu, yaitu secara teoritis jika frekuensi gerak *buoy* hampir sama dengan frekuensi gelombang laut atau frekuensi gerak *buoy* berada di daerah kritis pada grafik *RAO* (Djatkiko,2012). Penelitian ini akan dilakukan dengan pemodelan numeris melalui *CFD*.

## 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan diselesaikan dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana konfigurasi dan dimensi *buoy* yang akan digunakan ?
2. Bagaimana *Respons Amplitude Operator* yang dihasilkan *buoy* akibat gaya eksitasi gelombang regular pada gerakan *Pitch*?
3. Bagaimana pola aliran yang terjadi di sekitar *buoy* dalam kondisi diam dan bergerak *pitch* akibat pengaruh variasi tinggi gelombang ?
4. Berapa daya total energi *pitch* yang dihasilkan oleh *buoy* ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan perumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui konfigurasi dan dimensi *buoy* yang akan digunakan;
2. Mengetahui *Respons Amplitude Operator* yang dihasilkan *buoy* akibat gaya eksitasi gelombang regular pada gerakan *pitch*;
3. Mengetahui pola aliran yang terjadi di sekitar *buoy actuator* dalam kondisi diam dan bergerak *pitch* akibat pengaruh variasi kecepatan aliran arus;
4. Mengetahui daya total energi *pitch* yang dihasilkan oleh *buoy* ?

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah diharapkan memperoleh gerakan *buoy* dengan frekuensi gerakan yang terbaik. Hasil analisa dimensi *buoy* dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam perancangan pembangkit listrik terbarukan tenaga gelombang laut sistem piston, serta sistem ini diharapkan mampu bekerja di perairan dangkal.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah yang diambil dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian yang dilakukan sebatas pemodelan dengan kecepatan aliran gelombang reguler;
2. Perhitungan gelombang dengan konsep gelombang reguler pada perairan dangkal;
3. Software yang digunakan dalam pemodelan adalah CFD.
4. Menganalisa hanya gerakan *pitch* dari *buoy*.
5. Variasi panjang *buoy* yang dianalisa adalah 1 meter dan 2 meter.

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan Tesis ini dimulai dengan pendahuluan pada bab satu yang menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang ingin dicapai dari penulisan Tesis ini, manfaat yang diperoleh, batasan masalah untuk membatasi analisa yang dilakukan dan sistematika penulisan Tesis ini.

Kajian pustaka dan dasar teori yang menjadi sumber referensi dalam Tesis ini dijelaskan pada bab dua. Referensi yang digunakan dalam Tesis ini berasal dari berbagai penelitian mengenai gerakan konfigurasi *buoy* terhadap penyerapan energi gelombang laut.

Langkah-langkah pengerjaan Tesis ini dan metodologi yang digunakan untuk pengerjaan Tesis ini dijelaskan pada bab tiga. Dalam bab ini dijelaskan mengenai langkah-langkah yang dilakukan untuk uji numeric serta analisa dan

penyelesaian dari Tesis ini, yang meliputi studi literatur, pembuatan model, analisa hasil permodelan serta penarikan kesimpulan dari analisa hasil. Bab empat berisi analisa data dan pengerjaan serta pembahasannya.

Bab ini berisi hasil permodelan beserta pembahasannya dari masing-masing model. Kemudian dilakukan perhitungan manual dari masing-masing model sehingga diperoleh respon strukturnya.

Bab lima adalah kesimpulan dan saran. Bab ini berisi kesimpulan dari hasil-hasil analisa yang dilakukan dan saran-saran yan bermanfaat untuk lebih menyempurnakan dan mengembangkan analisa yang telah dilakukan.

Bagian terakhir dari Tesis ini adalah Daftar Pustaka. Bagian ini menampilkan seluruh informasi dan dokumen tertulis yang dijadikan landasan dan pengembangan penelitian. Penulisan Daftar Pustaka ini mengikuti *Harvard System*.

## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

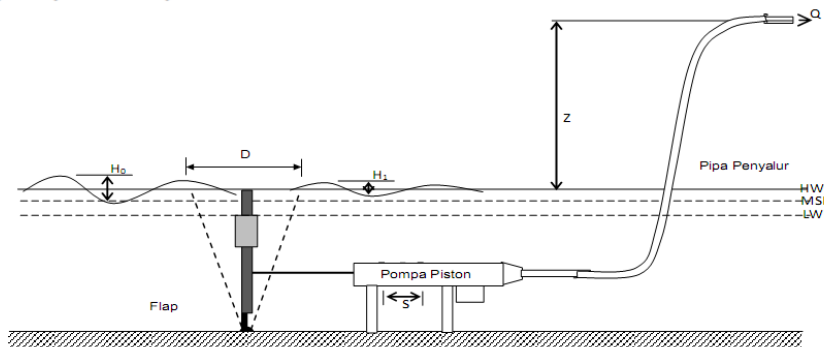
Cadangan sumber energi yang berupa energi fosil di Indonesia semakin berkurang, namun kebutuhan energi listrik semangkit meningkat dari tahun ke tahun seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk. Dengan adanya permasalahan yang sedang dihadapi Indonesia, banyak yang melakukan penelitian tentang konversi energi gelombang menjadi energi listrik dengan beberapa sistem.

Pembangkit listrik energi gelombang sistem bandulan yang ditemukan oleh Zamrisyaf seperti pada gambar 2.1. PLTGL - Sistem Bandulan berbentuk ponton ditempatkan mengapung di atas permukaan air laut. Ponton tersebut akan mengikuti gerak atau arus gelombang laut sesuai frekwensi gelombang laut, sehingga menyebabkan gerakan yang terus-menerus hingga mengeluarkan energi atau daya listrik. Berdasarkan perhitungan, untuk area lautan dengan luas lebih kurang  $1\text{Km}^2$ , energi gelombang laut dapat menghasikan daya sekitar 20 MW, dengan biaya investasinya sekitar Rp. 20.000.000/kW, serta dapat menerangi sekitar 40.000 rumah sederhana (Zamrisyaf, 2002).

Sedangkan Samsekerta membuat model pompa gelombang dengan *flap* horizontal. *Flap* didesain mengikuti gerakan gelombang yang datang untuk menggerakkan pompa piston seperti yang terlihat pada gambar 2.2. Saat bergerak mundur, katup piston akan terbuka dan air laut masuk mengisi tabung piston. Pada saat bergerak maju tekanan air akan diteruskan oleh tuas piston untuk mendorong piston yang kemudian disalurkan dengan pipa penyalur menuju tempat yang lebih tinggi. Debit dengan ketinggian Z akan memiliki energi potensial yang digunakan untuk menggerakkan turbin sehingga menghasilkan energi listrik. Dari eksperimen ini, diperoleh tinggi pemompaan optimum 166 cm, dengan debit optimum sebesar 248,8ml/s dan daya optimum yang dihasilkan mencapai 0.413kgfm/s (Samsekerta, 2012).



Gambar 2.1 Pembangkit Listrik Energi Gelombang Sistem Bandulan (Zamrisyaf, 2002).



Gambar 2.2 Sketsa Mekanisme Kerja Pompa Gelombang (Samsekerta, 2012).

Wijaya meneliti mengenai besarnya energi yang dihasilkan gelombang laut dengan penggunaan teknologi *oscillating water column* (OWC) di perairan Samudra Hindia, tepatnya di laut yang ada di kawasan Jimbaran. Pada teknologi OWC ini, digunakan tekanan udara dari ruangan kedap air untuk menggerakkan *whells turbine* hingga menghasilkan energi listrik. Ruangan kedap air dipasang tetap dengan struktur bawah terbuka ke laut. Tekanan udara pada ruangan kedap air disebabkan oleh pergerakan naik-turun dari permukaan gelombang air laut. Gerakan gelombang di dalam ruangan ini merupakan gerakan *compresses* dan gerakan *decompresses* yang ada di atas tingkat air dalam ruangan. Gerakan ini mengakibatkan, dihasilkannya sebuah *alternating streaming* kecepatan tinggi dari udara. Aliran udara ini didorong melalui pipa ke turbin generator yang digunakan

untuk menghasilkan listrik. Sistem OWC dapat ditempatkan permanen di pinggir pantai atau bisa juga ditempatkan di tengah laut. Pada sistem yang ditempatkan di tengah laut, tenaga listrik yang dihasilkan dialirkan menuju transmisi yang ada di daratan menggunakan kabel laut. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa dengan penggunaan pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan teknologi *oscillating water column* (PLTGL-OWC) di laut di kawasan Jimbaran dapat dihasilkan energi yang tertinggi adalah sebesar 16.478.982,17 *Joule* dan yang terendah adalah sebesar 92,5897 *Joule*. Sedangkan untuk daya listrik yang mampu dihasilkan dengan penggunaan pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan teknologi *oscillating water column* (PLTGL-OWC) di lokasi tersebut yang tertinggi adalah sebesar 4.174.007,641 *Watt* dan yang terendah adalah sebesar 175,892 *Watt* (Wijaya, 2010).

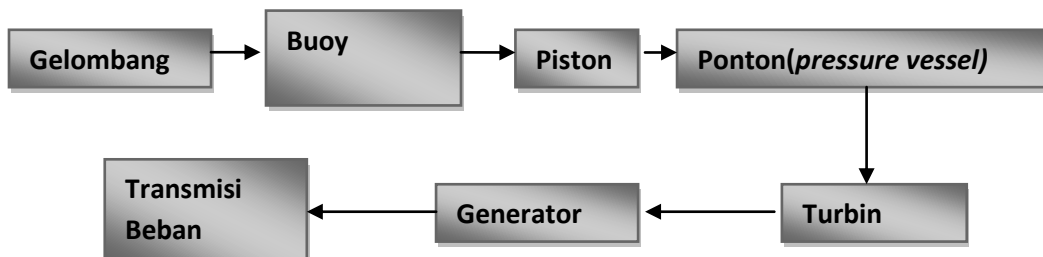
Penelitian yang telah dilakukan dalam pemanfaatan energi gelombang, pada umumnya dilakukan di lokasi yang memiliki frekuensi gelombang dan arus laut yang besar. Sedangkan untuk kawasan yang memiliki frekuensi gelombang kecil belum dilakukan penelitian. Saat ini akan dikembangkan suatu teknologi penyerapan energi gelombang laut dengan sistem piston. Sistem tersebut didesain dengan pertimbangan mampu dioperasikan di daerah yang memiliki frekuensi gelombang besar maupun kecil. Sistem piston ini terdiri dari beberapa peralatan, yaitu *buoy*, piston, *pressure vessel*, turbin, dan generator. Secara sederhana, cara kerja pembangkit listrik energi gelombang laut sistem piston adalah saat gelombang mengenai *buoy* yang dikopel dengan piston akan bergerak *pitch*, udara yang dihasilkan oleh piston akan ditampung di *pressure vessel*, udara bertekanan ini digunakan untuk menggerakkan turbin yang dikopel dengan generator.

Namun dimensi *buoy* yang akan digunakan masih belum diketahui, oleh karena itu dalam penelitian ini, akan melakukan analisis gerakan konfigurasi dan dimensi *buoy* untuk penyerapan energi gelombang. Dengan berdasar pada konsep dasar gerakan bangunan laut dan *Response Amplitude Operator (RAO)*, maka akan diperoleh dimensi *buoy* yang optimal pada frekuensi gelombang tertentu, yaitu secara teoritis jika frekuensi gerak *buoy* hampir sama dengan frekuensi gelombang laut atau frekuensi gerak *buoy* berada di daerah kritis pada grafik *RAO* (Djarmiko, 2012).

Selain melakukan optimasi dimensi *buoy* pada frekuensi gelombang tertentu, penelitian ini juga akan meneliti mengenai hubungan variasi frekuensi gelombang terhadap gerakan *vortex shedding*. Hal ini perlu dilakukan penelitian karena pergerakan fluida yang mengenai poros berbentuk silinder akan menimbulkan ulekan di belakang silinder. Fluida masih bersifat simetris pada saat mengenai struktur pertama kalinya, tetapi ketika kecepatan fluidanya bertambah atau angka *Reynold* bertambah, maka ulekan yang akan menjadi tidak simetris serta jika terus menerus akan menyebabkan terjadinya getaran dan kelelahan sehingga struktur akan patah (Yamamoto dkk., 2004). Penelitian ini akan dilakukan dengan pemodelan numeris melalui *CFD* dengan menganalisa pola aliran yang terjadi di sekitar *buoy* dan RAO yang dihasilkan *buoy* akibat gaya eksitasi gelombang reguler. Setelah diketahui dimensi, pola aliran, dan RAO yang dihasilkan *buoy*, maka pembangkit listrik energi gelombang laut sistem piston dapat dikembangkan menggunakan data lingkungan dan dimensi *buoy* hasil analisa.

## 2.2 Pembangkit Listrik Energi Gelombang Laut Sistem Piston

Cara kerja sistem piston yaitu gelombang laut yang menghantam *buoy* akan mengakibatkan *buoy* bergerak naik turun menggerakkan piston. Sehingga ada udara yang masuk melalui klep piston, udara bertekanan yang dihasilkan piston akan ditampung di ponton (*pressure vessel*) untuk menggerakkan turbin yang dikopel dengan generator kemudian ditransmisikan hingga menjadi energi listrik. Seperti yang dijelaskan pada gambar 2.3 di bawah ini.

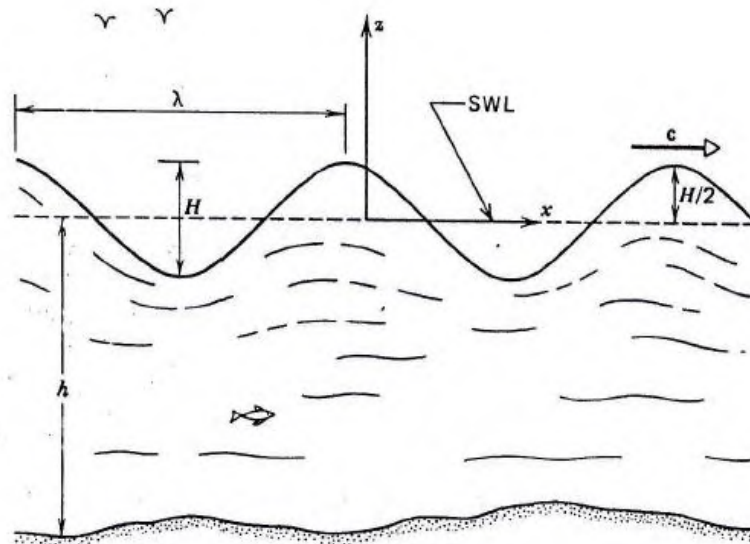


Gambar 2.3 Skema Cara Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Sistem Piston.

## 2.3 Dasar Teori

### 2.3.1 Gelombang Laut

Gelombang laut adalah gerak naik turunnya air laut tanpa disertai perpindahan massa air laut. Faktor yang menyebabkan gelombang laut adalah angin, gempa bumi, dan tsunami. Pada umumnya gelombang laut di alam sulit digambarkan secara matematis karena ketidak-linieran, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang acak (suatu seret gelombang mempunyai tinggi gelombang dan periode berbeda). Beberapa teori yang ada hanya menggambarkan bentuk gelombang yang sederhana dan merupakan pendekatan gelombang alam, diantaranya adalah teori *Airy*, *Stokes*, *Gerstner*, *Mich*, *Knoidal*, dan *Tunggal* (Triatmodjo, 1999).



Gambar 2.4 Parameter Gelombang Laut Linear Bersifat Sinusoidal (Triatmodjo, 1999).

Gambar 2.4 menunjukkan suatu gelombang yang berada pada system koordinat x-z, gelombang menjalar pada sumbu x. Beberapa notasi yang digunakan adalah (Triatmodjo, 1999):

- $h$  : Jarak antara muka air rerata dan dasar laut (kedalaman laut),
- $H$  : Tinggi gelombang,



- $L = \lambda$  : Panjang gelombang, yaitu jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan,
- $C$  : Kecepatan rambat gelombang
- $SWL$  : *Still Water Level* (muka air diam)

### 2.3.2 Gelombang Linear

Gelombang besar (*swell*) adalah gelombang yang memiliki panjang gelombang relatif besar dan tinggi gelombang kecil. Ketika badai berkecamuk di laut, menghasilkan gelombang yang memiliki tinggi dan periode bervariasi. Namun, karena gelombang ini berjalan jauh dari badai, maka hanya ada periode gelombang tinggi (*sweel*). *Swell* merupakan gelombang yang sering diamati dalam konversi gelombang. Walaupun tinggi gelombang ( $H$ ) jauh lebih kecil dari panjang gelombang ( $L$ ), namun memiliki energy gelombang yang besar (Cormick, 1981).

$$\eta = \frac{H}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2.1)$$

dan

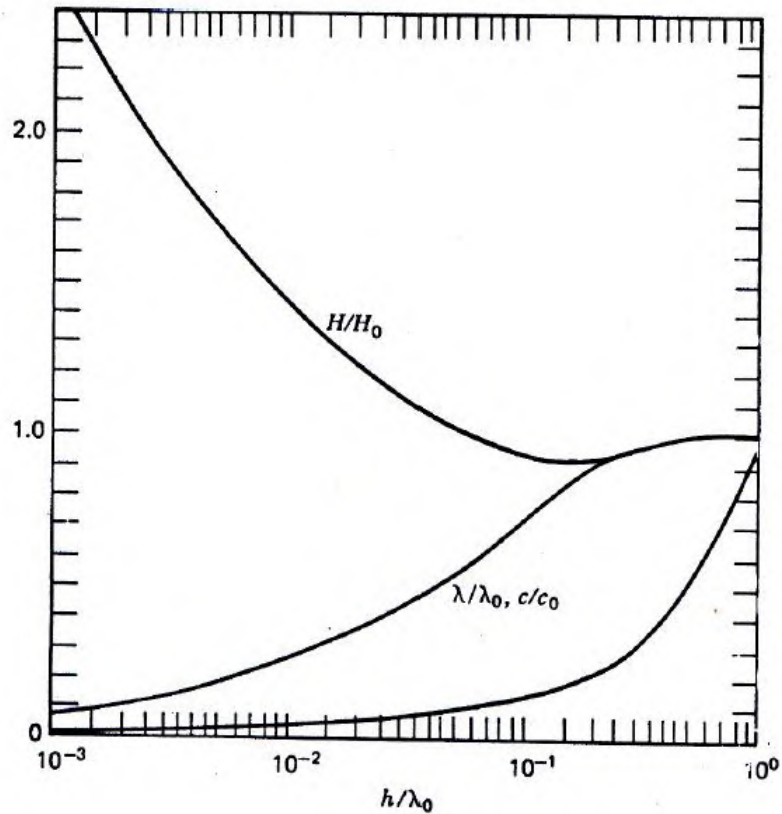
$$T = 2\pi \left[ \frac{2\pi g}{\lambda} \tanh\left(\frac{2\pi h}{\lambda}\right) \right]^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2.2)$$

Dimana  $\tanh()$  merupakan *tangent* hiperbola,  $f$  adalah frekuensi gelombang,  $\omega$  adalah frekuensi gelombang melingkar ( $2\pi f$ ),  $g$  adalah gravitasi (32.2 ft/s, 9.81 m/s), dan  $h$  adalah kedalaman laut. Dari persamaan (2.2) diperoleh panjang gelombang :

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{\lambda}\right) \quad (2.3)$$

$\lambda$  dalam persamaan (2.3) berada di dua sisi dan tidak dapat dipisahkan. Persamaan ini harus diselesaikan menggunakan teknik grafis atau numerik. Untuk menyelesaikan persamaan (2.3) dapat dilihat pada gambar (2.5) dalam dimensi panjang gelombang  $H$  dan cepat rambat  $c$ , parameter yang memiliki angka 0 (i.e.,  $\lambda_0$ ,  $H_0$ , and  $c_0$ ) merupakan parameter yang terjadi di laut dalam. Laut dalam

diasumsikan ketika kedalaman lebih besar dari setengah panjang gelombang (i.e.,  $h > \lambda/2$ ).



Gambar 2.5 Sifat Gelombang sebagai Rasio dari Kedalaman Laut dan Panjang Gelombang (Cormick, 1981).

Cepat rambat  $c$  digambarkan dalam persamaan :

$$c = \frac{\lambda}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh(kh) \quad (2.4)$$

Dimana  $k$  adalah angka gelombang,

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.5)$$

Dalam persamaan (2.2) sampai (2.4), tinggi gelombang  $H$  tidak muncul karena sifat kinematik dari gelombang linear adalah fungsi dari periode dan

kedalaman laut saja. Laut dalam dalam terjadi ketika  $h/\lambda \geq 1/2$ , atau  $kh \geq \pi$ , sehingga dari persamaan (2.3) and (2.4) diperoleh,

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (2.6)$$

dan

$$c = \frac{gT}{2\pi} \quad (2.7)$$

Untuk laut dangkal ketika  $h/\lambda \leq 1/20$ , perkiraan panjang gelombang dan cepat rambat,

$$\lambda = \sqrt{gh}T \quad (2.8)$$

dan

$$c = \sqrt{gh} \quad (2.9)$$

Partikel air dalam perjalanannya memiliki komponen kecepatan horizontal dan vertical.

$$u = \frac{\pi H \cosh[k(z+h)]}{T \sinh(kh)} \cos(kx - \omega t) \quad (2.10)$$

dan

$$w = \frac{\pi H \sinh[k(z+h)]}{T \sinh(kh)} \sin(kx - \omega t) \quad (2.11)$$

Untuk laut dalam, pendekatan persamaan (2.10) dan (2.11) adalah,

$$u = \frac{\pi H}{T} e^{kz} \cos(kx - \omega t) \quad (2.12)$$

dan

$$w = \frac{\pi H}{T} e^{kz} \sin(kx - \omega t) \quad (2.13)$$

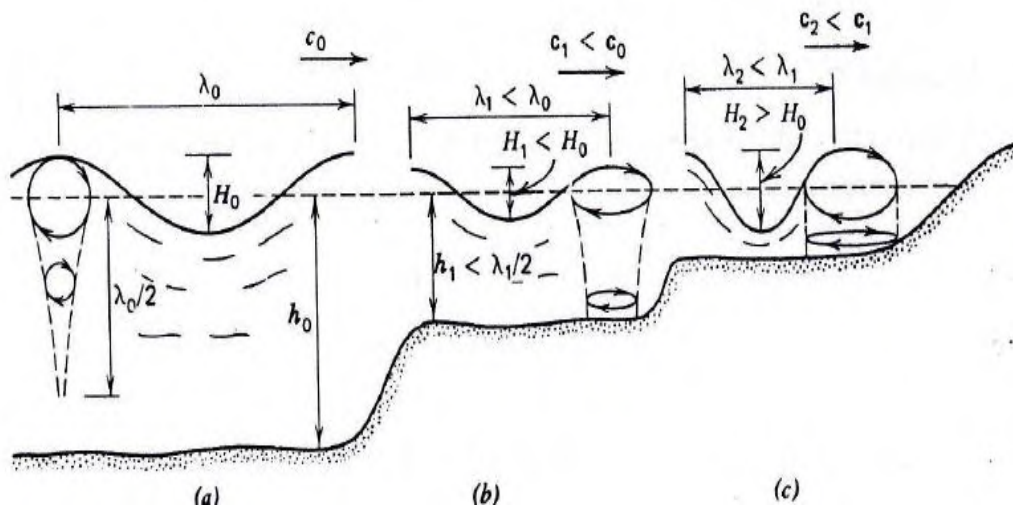
Dalam laut dangkal, dimana  $h/\lambda \leq 1/20$ ,

$$u = \frac{H}{2} \sqrt{\frac{g}{h}} \cos(kx - \omega t) \quad (2.14)$$

dan

$$w = \frac{\pi H (z+h)}{T h} \sin(kx - \omega t) \quad (2.15)$$

Persamaan (2.10) dan (2.11) menggambarkan gerakan partikel air di kedalaman laut menengah dimana  $\frac{1}{2} < h/\lambda < 1/20$ . Bentuk partikel airnya berupa elips dengan diameter semakin kecil terhadap sumbu z dimana kedalaman(-z) berada di bawah permukaan air(still water level/SWL). Laut dalam pada gambar 2.6a, pada laut dangkal, gerakan partikel air dalam bentuk elips konstan pada sumbu mayor dan minor serta menuturn pada sumbu z yang ditunjukkan pada gambar 2.6c.



Gambar 2.6 Sifat Gelombang di Berbagai Kondisi Kedalaman (Cormick, 1981).

Total energi diperoleh :

$$E = E_p + E_k = \frac{\rho g H^2 \lambda b}{8} \quad (2.16)$$

Dimana b adalah lebar puncak gelombang,  $\rho$  adalah rapat massa air (1.93 slugs/ft<sup>3</sup> atau 1000kg/m<sup>3</sup> untuk air tawar dan 2.00 slugs/ft<sup>3</sup> atau 1030 kg/m<sup>3</sup> untuk air laut). Total energi di laut dalam dijelaskan dalam persamaan linear seperti di bawah ini,

$$E_p = E_k = \frac{\rho g H^2 \lambda b}{16} \quad (2.17)$$

Energi potensial digambarkan oleh tinggi gelombang, sedangkan energi kinetik tergantung pada gerakan partikel. Transfer energi gelombang dari titik ke titik ditandai dengan fluks energi atau daya gelombang.

$$P = \frac{\rho g H^2 c_g b}{8} \quad (2.18)$$

Dimana  $c_g$  merupakan kecepatan grup,

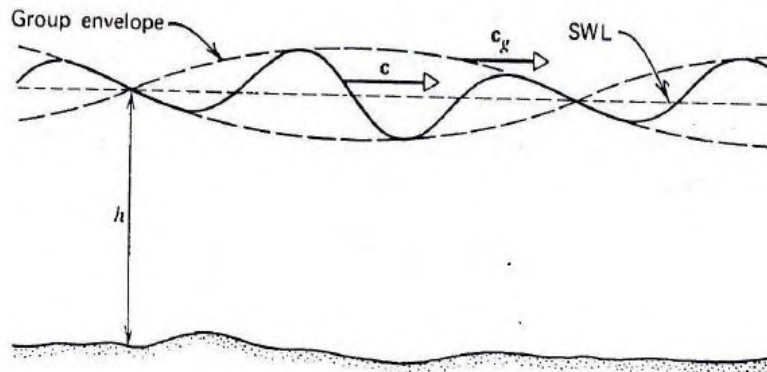
$$c_g = \frac{c}{2} \left\{ 1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right\} = nc \quad (2.19a)$$

Untuk laut dalam,

$$c_g = \frac{c}{2} \quad (2.19b)$$

Untuk laut dangkal,

$$C_g = c \quad (2.19c)$$



Gambar 2.7 Sketsa Grup Gelombang (Cormick, 1981).

Pada umumnya prinsip kerja sistem konversi energi gelombang laut menjadi energi listrik yaitu mengubah energi potensial menjadi energi kinetik untuk menggerakkan turbin.

Kelebihan energi gelombang laut yaitu :

1. Energi ombak adalah energi yang bisa diperoleh setiap hari, tidak akan pernah habis.
2. Tidak menimbulkan polusi karena tidak ada limbahnya

Kelebihan energi gelombang laut yaitu (lanjutan) :

3. Mudah untuk mengkonversi energi listrik dari energi mekanik pada ombak

Sedangkan kekurangannya yaitu :

1. Diperlukan alat khusus yang memerlukan teknologi tinggi, sehingga tenaga ahli sangat diperlukan.
2. Output dari pembangkit listrik tenaga pasang surut mengikuti grafik sinusoidal sesuai dengan respons pasang surut akibat gerakan interaksi Bumi-Bulan-Matahari.
3. Biaya instalasi dan pemeliharaannya yang cukup besar.

Parameter-parameter gelombang regular(sinusoidal) di perairan dangkal adalah sebagai berikut :

- Frekuensi gelombang

$$\omega = \pm k_w \sqrt{gd} \quad (2.20)$$

Dimana :         $\omega$         : Frekuensi gelombang (rad/s)  
                       $k_w$         : Angka gelombang  
                       $g$          : Gravitasi bumi  
                       $d$          : Kedalaman laut

- Periode gelombang

$$T = 2\pi/\omega \quad (2.21)$$

Dimana :         $T$          : Periode gelombang

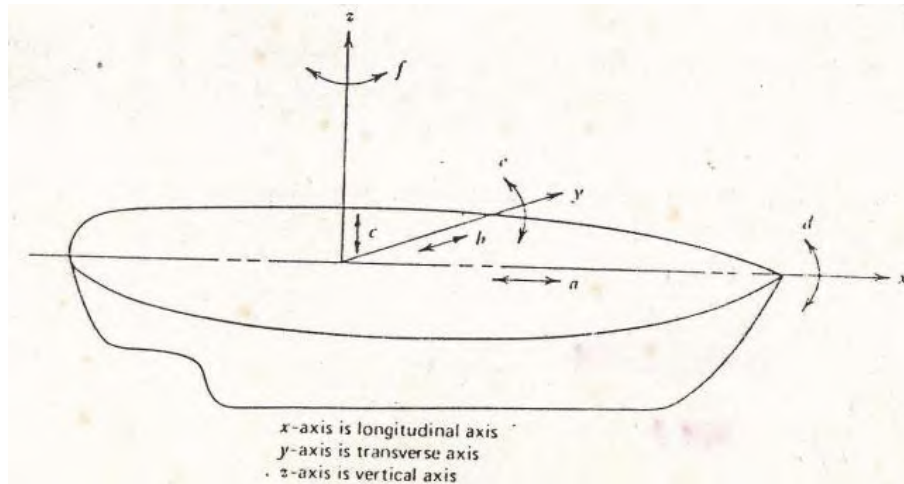
- Panjang gelombang

$$\lambda_w = T\sqrt{gd} \quad (2.22)$$

### 2.3.3 Gerakan Bangunan Apung

Sebuah kapal yang bergerak di permukaan laut hampir selalu bergerak osilasi. Berbagai jenis gerakan osilasi yang dialami kapal dapat digambarkan dengan bantuan gambar 2.8, yang menunjukkan enam jenis gerak pada arah

sumbu  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ , tiga gerakan translasi dan tiga gerakan rotasi, yaitu (Bhattachayya, 1978) :



Gambar 2.8.Sumbu  $x$ ,  $y$ , dan  $z$  pada Kapal (Cormick dkk, 2010).

Keterangan Gambar 2.8 :

- A→surging : gerakan belakang dan ke depan dalam arah perjalanan kapal.
- B→swaying : gerakan melintang kapal.
- C→heaving : gerakan vertikal ke atas dan ke bawah.
- D→rolling : gerakan sudut terhadap sumbu longitudinal.
- E→pitching : gerakan sudut terhadap sumbu melintang.
- F→yawing : gerakan sudut terhadap sumbu vertikal.

Hanya gerakan *heave*, *pitch*, dan *rolling* yang merupakan gerakan osilasi, karena ada gaya pengembali dan momen saat terkena gelombang. Sedangkan saat benda mengalami gerakan *yaw*, *surge*, dan *sway* tidak dapat kembali ke posisi semula tanpa ada gaya luar yang bekerja. Walaupun pada kenyataannya sebuah benda apung mengalami semua gerakan, namun dalam penelitian ini hanya membahas satu gerakan.

### 2.3.4 Gerakan *Pitch*

Sebuah kapal dapat mengalami gerak harmonik sederhana terhadap sumbu melintang (yaitu, y-axis) atau sumbu memanjang (yaitu, x-axis) jika dipindahkan dari posisi keseimbangan dan kemudian dilepaskan, atau jika diberikan kecepatan awal dari posisi kesetimbangan (gambar 2.9). Kita harus selalu mengacu pada momen dari gaya, bukan gaya, ketika kita menggambarkan gerakan *angular* seperti *Pitching* dan memutar.

Persamaan gerak *pitching* dapat ditulis sebagai berikut

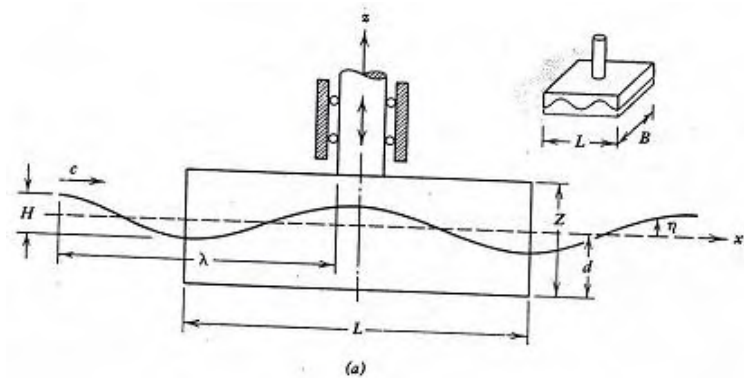
$$a \frac{d^2\theta}{dt^2} + b \frac{d\theta}{dt} + c\theta = M_0 \cos \omega_c t \quad (2.23)$$

Dimana :

1. Momen inersia  $= a \frac{d^2\theta}{dt^2}$  (2.24)

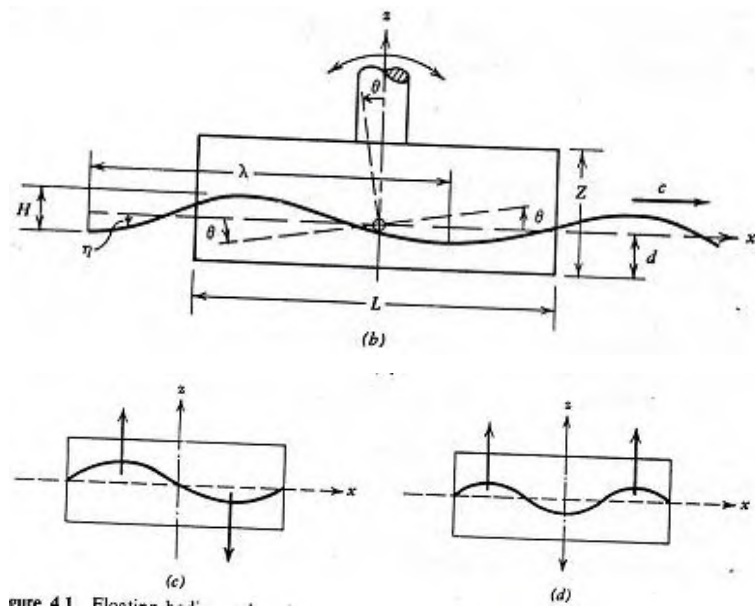
Berikut adalah momen massa virtual inersia, dan

1. Momen redaman
2. Momen pengembali
3. Exciting moment



Gambar 2.9. Benda Apung yang Mengalami *Heaving* atau *Pitching*: (a) Gerakan *Heaving*; (b) Gerakan *Pitching*; (c) Kondisi *Pitching*; (d) Kondisi *Heaving* (Cormick, 1981).





Gambar 2.9 Benda Apung yang Mengalami *Heaving* atau *Pitching*: (a) Gerakan *Heaving*; (b) Gerakan *Pitching*; (c) Kondisi *Pitching*; (d) Kondisi *Heaving* (Lanjutan) (Cormick, 1981).

Ketika panjang gelombang ( $\lambda$ ) = panjang benda ( $L$ ), dan diasumsikan gelombang laut adalah sinusoidal, tidak akan terjadi gerakan heave, karena adanya kedua puncak yang melalui gelombang, yang terjadi secara bersamaan selama panjang struktur, seperti digambarkan pada Gambar 2.9c. Dari pembahasan gelombang dalam bab 2, kita melihat bahwa kekuatan tekanan akibat gerakan partikel air di dekat dua node atau titik berturut-turut (di mana  $\eta = 0$ ) menghalangi satu sama lain. Selain itu, gaya apung meningkat karena crest yang hilang oleh daya apung menurun karena akibat adanya palung. Mengikuti logika ini kita dapat menyimpulkan bahwa tidak ada gaya vertikal total pada float saat itu

$$L = N\lambda \quad N= 1,2,3,\dots \quad (2.25)$$

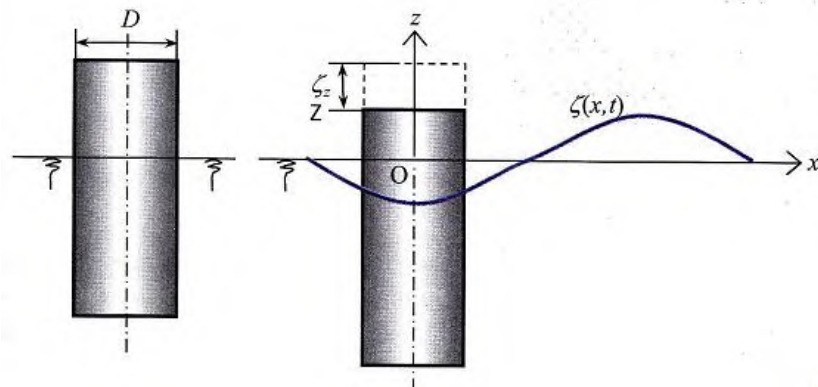
karena tidak terjadi gerakan heave. Sebaliknya, ketika sebuah "tambahan" melalui atau puncak terjadi selama panjang struktur seperti digambarkan pada Gambar 2.9d, maka ada gaya vertikal bersih. Naik-turun bisa diharapkan saat

$$L = \frac{N\lambda}{2} \quad N= 1,3,5,\dots \quad (2.26)$$

Struktur seperti yang terlihat pada gambar 2.9b diperbolehkan hanya untuk lapangan (rotate) dengan pusat gravitasi. Pitching minimum yang terjadi dalam gelombang monokromatik panjang  $\lambda$  pada kondisi yang dijelaskan oleh persamaan (2.26) ketika  $N = 3$ . Di sisi lain, pitching momen maksimum terjadi ketika persamaan (2.25) terpenuhi, seperti pada Gambar 2.9c, di mana  $N = 1$ .

### 2.3.5 Konsep Dasar Gerakan Bangunan Laut

Konsep dasar gerakan bangunan laut dapat dijelaskan dengan sebuah silinder berdiameter  $D$  yang terapung bebas ditempatkan dalam suatu medan propagasi gelombang harmonik atau sinusoidal. Gelombang diasumsikan mempunyai panjang yang jauh lebih besar daripada diameter silinder, seperti ditunjukkan pada gambar 2.10 (Djarmiko, 2012).



Gambar 2.10 Silinder Terapung dalam Medan Propagasi Gelombang (Djarmiko, 2012).

Ketika gelombang melewati silinder, fluida di sekitarnya akan memberikan gaya-gaya hidrodinamis terhadapnya yang terdiri dari dua komponen, yaitu:

1. Komponen eksitasi tak-tunak atau *steady*

Gaya yang akan menyebabkan silinder berosilasi secara linier dan proporsional terhadap tinggi gelombang, gaya-gaya tersebut terdiri dari:

- a) Gaya kekentalan  $F_v$

Gaya kekentalan ditimbulkan oleh viskositas, dan berhubungan dengan kecepatan aliran fluida relatif terhadap silinder terapung yang terbentuk oleh adanya perbedaan gerak silinder dan gelombang. Kecepatan aliran akibat gerakan silinder akan menimbulkan gaya redaman pada silinder.

b) Gaya tekanan

- Gaya hidrostatis pengembali  $F_k$

Gaya hidrostatis adalah gaya yang ditimbulkan oleh volum fluida yang terdorong akibat silinder bergerak. Pada gambar 2.7 saat gelombang berpropagasi, silinder dianggap bergerak dengan 1-derajat kebebasan ke arah sumbu vertikal  $z$  yang disebut gerakan *heave*. Pada saat silinder bergerak turun sebesar  $\zeta_z$  akan mengalami tambahan volume dan displasmen sebesar  $\Delta = \rho g \zeta_z \left( \frac{\pi}{4} D^2 \right)$ . Gaya hidrostatis akan berkorelasi linier terhadap elevasi atau displasmen gerakan, dan memberikan aksi melawan gerakan, sehingga:

$$F_k = -k\zeta_z \dots\dots\dots 2.27)$$

Dimana:  $k$  : koefisien gaya pengembali  
 $\zeta_z$  : displasmen gerakan *heave*

- Gaya hidrodinamik

Gaya hidrodinamik yang terjadi karena massa tambah adalah gaya inersia  $F_a$  yang berkorelasi dengan percepatan gerakan dan melawan gerakan benda apung. Massa tambah (*add mass*) adalah jumlah massa partikel fluida di sekitar silinder yang terdorong saat silinder bergerak dan displasmennya berubah.

$$F_a = -a\ddot{\zeta}_z \dots\dots\dots 2.28)$$

Dimana:  $a$  : koefisien massa tambah  
 $\ddot{\zeta}_z$  : percepatan gerakan *heave*.

Gaya kecepatan  $F_b$ , merupakan energi yang hilang karena diperlukan oleh silinder yang bergerak untuk meradiasikan permukaan

gelombang. Gaya kecepatan mempunyai intensitas proporsional terhadap kecepatan gerak dan juga bekerja melawan gerak.

$$F_b = -b\dot{\zeta}_z \dots\dots\dots 2.29)$$

Dimana:  $b$  : koefisien redaman hidrodinamis atau redaman hidrodinamis per satuan kecepatan.

$\dot{\zeta}_z$  : percepatan gerakan *heave*

2. Gaya-gaya akibat efek nonlinier

Gaya-gaya ini mempunyai intensitas yang relatif kecil dan proporsional terhadap nilai kuadrat tinggi gelombang.

Pada kondisi ideal dimana suatu sistem bergerak tanpa menerima redaman, maka bila padanya diberikan simpangan dan kemudian dilepaskan, sistem akan berosilasi terus dengan amplitude dan frekuensi yang tetap, sistem ini disebut sistem tak teredam atau *undamped*, sedang frekuensi gerakannya disebut frekuensi natural ( $\omega_n$ ).

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{(m + a)}} \dots\dots\dots 2.30)$$

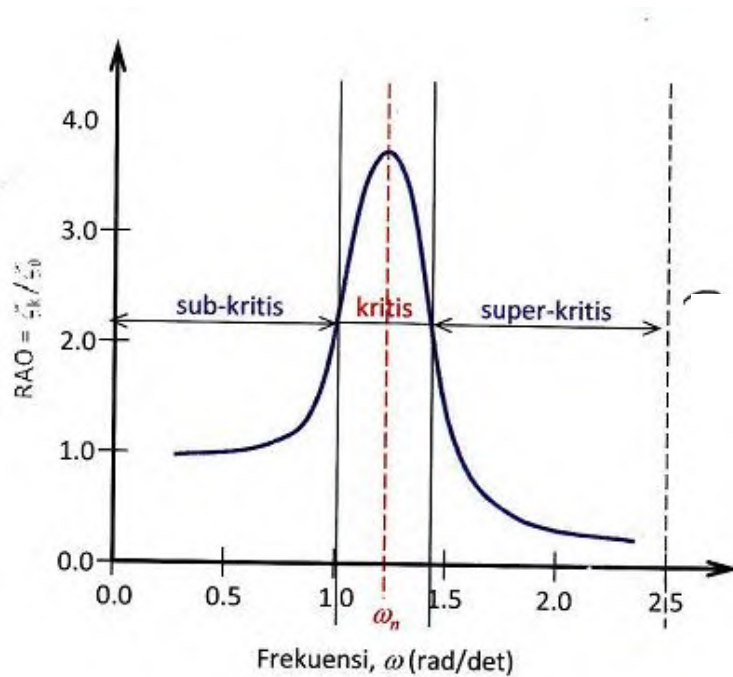
**2.3.6 Response Amplitude Operator (RAO)**

*Response Amplitude Operator* adalah rasio antara amplitude gerakan pada mode tertentu ( $\zeta_{k0}$ ), dengan amplitude gelombang ( $\zeta_0$ ). Frekuensi yang digunakan dapat berupa frekuensi gelombang insiden ( $\omega$ ), frekuensi gelombang papasan ( $\omega_e$ ), atau frekuensi non dimensi. Sesuai dengan keperluan analisisnya. Respons gerakan *RAO* untuk gerakan *yi*, *surge*, *sway* dan *heave* ( $x, y, z$ ), adalah perbandingan langsung antara amplitude gerakannya dibanding dengan amplitude gelombang insiden (Djarmiko, 2012).

$$RAO = \frac{\zeta_{k0}}{\zeta_0} (m/m) \dots\dots\dots 2.31)$$

Sedangkan respons non-dinamis atau RAO untuk gerakan rotasi  $y_i$ , *roll*, *pitch* dan *yaw* ( $\theta$ ,  $\phi$ ,  $\psi$ ) adalah perbandingan antara amplitude gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang, yakni yang merupakan perkalian antara angka gelombang  $k_w = \omega^2/g$ , dengan amplitude gelombang insiden:

$$RAO = \frac{\zeta_{k0}}{k_w \zeta_0} = \frac{\zeta_{k0}}{(\omega^2/g)\zeta_0} \text{ (rad/rad)} \dots\dots\dots 2.32)$$



Gambar 2.11 Bentuk Umum Grafik Respons Gerakan Bangunan Apung (Djarmiko, 2012).

Berdasarkan gambar 2.11, kurva respons gerakan bangunan apung dibagi menjadi tiga bagian, yaitu:

- Daerah sub-kritis  
Bangunan laut akan bergerak mengikuti pola atau kontur elevasi gelombang yang panjang, sehingga amplitude gerakan kurang lebih akan ekuivalen dengan amplitude gelombang (*contouring*). Dalam korelasi persamaan

hidrodinamis, berada di daerah frekuensi rendah  $\omega^2 < k/(m+a)$ , gerakan akan didominasi oleh faktor kekakuan.

- Daerah kritis

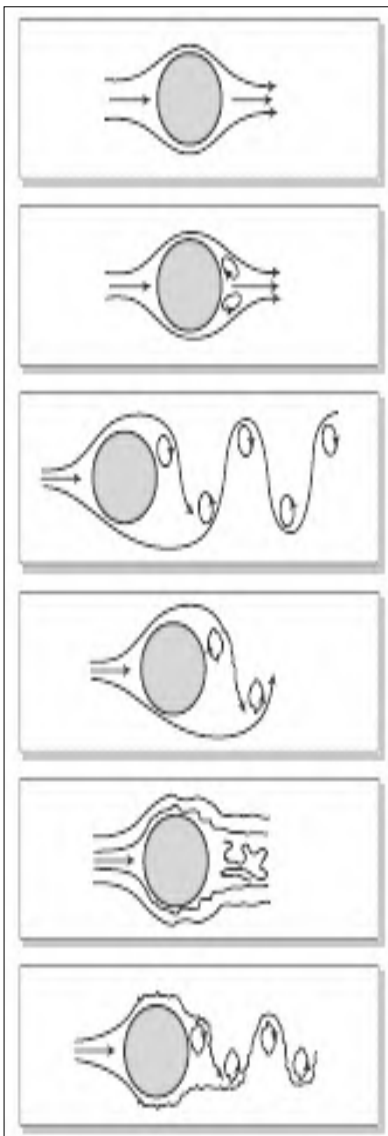
Berada di pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi rendah sampai dengan puncak kurva dan diteruskan ke pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi tinggi. Puncak kurva berada di frekuensi alami, yang merupakan daerah resonansi, sehingga respons gerakan mengalami magnifikasi, atau amplitude gerakan akan beberapa kali lebih besar daripada amplitudo gelombang. Secara hidrodinamis di daerah frekuensi alami, yakni  $k/(m+a) < \omega^2 < k/a$ , gerakan akan didominasi faktor redaman.

- Daerah super kritis

Pada daerah ini respons gerakan akan mengecil, semakin tinggi frekuensi, atau semakin rapat antara puncak-puncak gelombang yang berurutan, maka akan memberikan efek seperti bangunan laut bergerak di atas air yang relative datar (*platforming*). Secara hidrodinamis, gerakan di daerah frekuensi tinggi  $\omega^2 < k/a$ , gerakan akan didominasi oleh faktor massa.

### 2.3.7 Aliran di Sekitar Benda yang Dibenamkan

*Vortex* adalah suatu aliran dimana partikel fluida berotasi terhadap titik pusatnya. Pelepasan vortex disebut dengan *vortex shedding*, yang mempunyai kecepatan transversal dan tangensial bervariasi terhadap radiusnya (Indiyono, 1994). Akibat adanya *vortex shedding* ini, pipa yang dilalui aliran fluida terkena distribusi tekanan lokal. Akibat pipa akan bergetar atau berosilasi dengan frekuensi tertentu. Osilasi ini akan menyebabkan kelelahan dan dapat mengakibatkan kegagalan. Gambar 2.12 menunjukkan bentuk-bentuk *vortex* yang terjadi pada aliran air sebagai fungsi *Reynold* (*Re*).



$Re < 5$  (daerah dari aliran yang tak terpisahkan)

$5 < Re < 15$  (sepasang *vortice* dalam aliran gelombang)

$40 < Re < 90$  dan  $90 < Re < 150$  (dua daerah dengan aliran *vortex*nya adalah laminar)

$150 < Re < 300$  (daerah transisi menjadi aliran *vortex* turbulen); sedangkan  $300 < Re < 3 \times 10^5$  (aliran *vortex* sepenuhnya turbulen)

$3 \times 10^5 < Re < 3.5 \times 10^6$  (lapisan batas laminar mengalami perubahan menjadi turbulen dan aliran gelombang menjadi lebih sempit dan tidak teratur)

$Re > 3.5 \times 10^6$  (pembentukan kembali aliran *vortex* turbulen)

Gambar 2.12 Pola Aliran Fluida di Sekitar Silinder (Lienhard, 1966)

Re merupakan parameter tak berdimensi yang sangat dikenal dalam ilmu mekanika fluida. Nama ini diberikan sebagai penghargaan bagi Osborne Reynolds (1842-1916). Insinyur dari Inggris yang pertama kali mendemonstrasikan bahwa kombinasi dari variable-variabel dapat digunakan sebagai suatu patokan untuk membedakan aliran laminar dan turbulen. Re didefinisikan sebagai ukuran dari rasio gaya inersia terhadap gaya viskositas (Munson dkk., 2002).

$$Re = \frac{UD}{\nu} \dots\dots\dots (2.33)$$

dengan,

$Re = Reynolds\ number$

$U = \text{kecepatan partikel (m/s)}$

$D = \text{diameter struktur (m)}$

$\nu = \text{viskositas kinematis air (m}^2/\text{s)}$

Berdasarkan Gambar 2.7 dapat diketahui fenomena terbentuknya *vortex* di belakang silinder dalam buku yang ditulis oleh Blevins (2001) yaitu:

1. Untuk harga  $Re < 5$  aliran fluida mengikuti kontur dari silinder. Aliran yang melewati silinder bulat belum mengalami pemisahan artinya pada harga tersebut sama sekali belum terbentuk *vortex* di belakang silinder.
2. Semakin besarnya harga  $Re$  maka sifat aliran yang melewati silinder bulat akan semakin tidak teratur (Huerre dan Monkewitz, 1990), sehingga pada harga  $5 < Re < 45$  akan terbentuk sepasang *vortices* yang bersifat simetris di bagian belakang aliran dari silinder.
3. Panjang *streamwise* pada *vortice* meningkat secara linier terhadap  $Re$  dan akan mencapai panjang tiga kali diameter silinder pada  $Re = 45$  (Nishioka dan Sato, 1978). Semakin besar harga  $Re$  akan menyebabkan salah satu *vortice* mulai terlepas menjauhi silinder (Friehe, 1980).
4. Semakin besarnya harga  $Re$  yaitu pada harga  $40 < Re < 90$  dan  $90 < Re < 150$  maka akan timbul 2 daerah pembentuk *vortex* yaitu pada bagian sisi kanan dan kiri dari silinder dimana sifat dari *vortex* yang terbentuk adalah laminar.
5. Pada harga  $Re = 150 < Re < 300$ , *vortex shedding* menjadi kurang teratur. Pada rentang harga tersebut *vortex* yang terbentuk mulai bersifat turbulen, walaupun lapisan batas pada silinder tetap laminar. Harga  $Re = 300 < Re < 3 \times 10^5$  dinamakan *subcritical*. Pada harga tersebut aliran *vortex* sepenuhnya bersifat turbulen, lapisan batas pada silinder tetap laminar.
6. Pada harga  $Re = 3 \times 10^5 < Re < 3.5 \times 10^6$  lapisan batas silinder menjadi turbulen. Keadaan transisi dari laminar menjadi turbulen akan menciptakan aliran semakin tidak teratur sehingga pada daerah ini akan terbentuk *bubble*.
7. Untuk harga  $Re$  yaitu  $Re > 3.5 \times 10^6$ , *vortex shedding* kembali menjadi seperti semula dengan lapisan batas silinder turbulen.



### 2.3.8 Computational Fluid Dynamic

*Computational Fluid Dynamic* (CFD) merupakan ilmu sains dalam penentuan penyelesaian numerik dinamika fluida dan merupakan pendekatan dalam studi serta pengembangan bidang dinamika fluida selain pendekatan teori dan eksperimen murni. Persamaan dasar dinamika fluida yang digunakan dalam CFD yaitu persamaan kontinuitas, momentum dan energi. Adapun beberapa keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan CFD antara lain (Beu, 2013):

- Meminimumkan waktu dan biaya dalam mendesain suatu produk, bila proses desain tersebut dilakukan dengan uji eksperimen dengan akurasi tinggi.
- Memiliki kemampuan sistem studi yang dapat mengendalikan percobaan yang sulit atau tidak mungkin dilakukan dalam eksperimen.
- Memiliki kemampuan untuk studi di bawah kondisi berbahaya pada saat atau sesudah melewati titik kritis (termasuk studi keselamatan dan skenario kecelakaan).
- Keakuratannya akan selalu dikontrol dalam proses desain. Dalam desain kerjanya, problem yang ada perlu dideskripsikan ke dalam *software* CFD dengan menggambarkan model yang dianalisa, sifat-sifat fluida yang ada di sekitar model dan juga penentuan kondisi batasnya. Selanjutnya, dalam *solver problem* yang ada akan dihitung dengan pendekatan persamaan yang tersedia. Dari hasil perhitungan kemudian didapatkan hasil *output* dari *running* program CFD.

CFD merupakan analisis sistem yang mencakup aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena yang terkait, seperti reaksi kimia dengan menggunakan simulasi berbasis komputer (*numeric*). Teknik ini sangat berguna dan dapat diaplikasikan pada bidang industri dan non industri. *Code* CFD terstruktur atas logaritma numerik, sehingga dapat digunakan untuk menyelesaikan problem pada suatu aliran fluida. *Code* CFD di sini terdiri atas tiga elemen utama yaitu (Beu, 2013):

- a. *Pre Processor* (CFX Build)
- b. *Solver Manager*
- c. *Post Procesor* (*visualize*)

Pada tahap awal *Pre Procesor*, terdiri dari *input* masalah aliran untuk CFD melalui *interface*, kemudian mengubahnya menjadi bentuk yang sesuai dengan format yang dikehendaki oleh bagian *solver*. Pada tahap ini perlu dilakukan input permasalahan sesuai dengan aturan pada *software*, meliputi (Beu, 2013):

a. Pemilihan bentuk dan ukuran *solution domain*.

*Solution domain* menggambarkan kondisi lingkungan yang ditinjau. Ukuran dan bentuknya bisa persegi, persegi panjang atau lingkaran. Secara umum banyak simulasi menggunakan *solution domain* berbentuk persegi panjang. Pemilihan bentuk dan ukuran *solution domain* sangat mempengaruhi hasil dari masalah yang ditinjau. Ukuran domain yang kecil membutuhkan waktu perhitungan yang singkat sebaliknya dengan *solution domain* yang besar, dimana memerlukan waktu perhitungan yang lebih lama.

b. *Mesh generation*

Membentuk *grid generation* atau membagi domain yang telah ditentukan menjadi bagian yang lebih kecil (*sub domain*). Menurut Feziger dan Peric pada tahun 1997 terdapat tiga tipr *grids*, yaitu:

- *Structured (regular) grid*

*Grids* berbentuk teratur dan tidak berpotongan satu dengan yang lain. Sangat cocok untuk digunakan pada simple *solution domain*. Pada tipe ini domain *solution* dibagi dalam dua atau lebih *subdivision*. Setiap *subdivision* terdiri dari *structure grids* yang berukuran berbeda.

- *Unstructured grid*

Jenis *grid* ini dapat digunakan untuk struktur yang kompleks. Dapat digunakan untuk berbagai metode diskrit yang terbaik untuk *finite element* dan *finite volume*. Jenis ini sangat fleksibel karena *irregularity* serta sangat lambat dalam menjalankan perintah *solver equation* dibandingkan dengan *structured grids*.

c. *Boundary condition*

Ada beberapa zone *boundary condition*, yaitu (Beu, 2013):

- *Inlet boundary condition*

*Inlet boundary condition* menandakan adanya aliran yang masuk *solution domain*. Jenisnya bisa *velocity inlet*, *pressure inlet* atau *mass flow inlet*.

- *Outlet boundary condition*

*Outlet boundary condition* menandakan adanya aliran yang keluar dari *solution domain*. Jenisnya bisa *velocity inlet*, *pressure inlet* atau *mass flow inlet*.

- *Wall boundary condition*

*Wall boundary condition* merupakan *zone boundary condition* yang paling sering digunakan dalam masalah aliran fluida, seperti aliran dalam pipa. *Wall boundary condition* dapat digunakan untuk persamaan aliran laminar dan turbulen.

- *Prescribed pressure boundary condition*

*Prescribed pressure condition* digunakan pada aliran luar di sekitar objek, *free surface flow* atau *internal flow* dengan *multiple outlet*.

- *Symmetry boundary condition*

Kondisi *symetry boundary condition* ini menandakan tidak ada aliran yang melewati *boundary condition*.

- *Periodic or cyclic boundary condition*

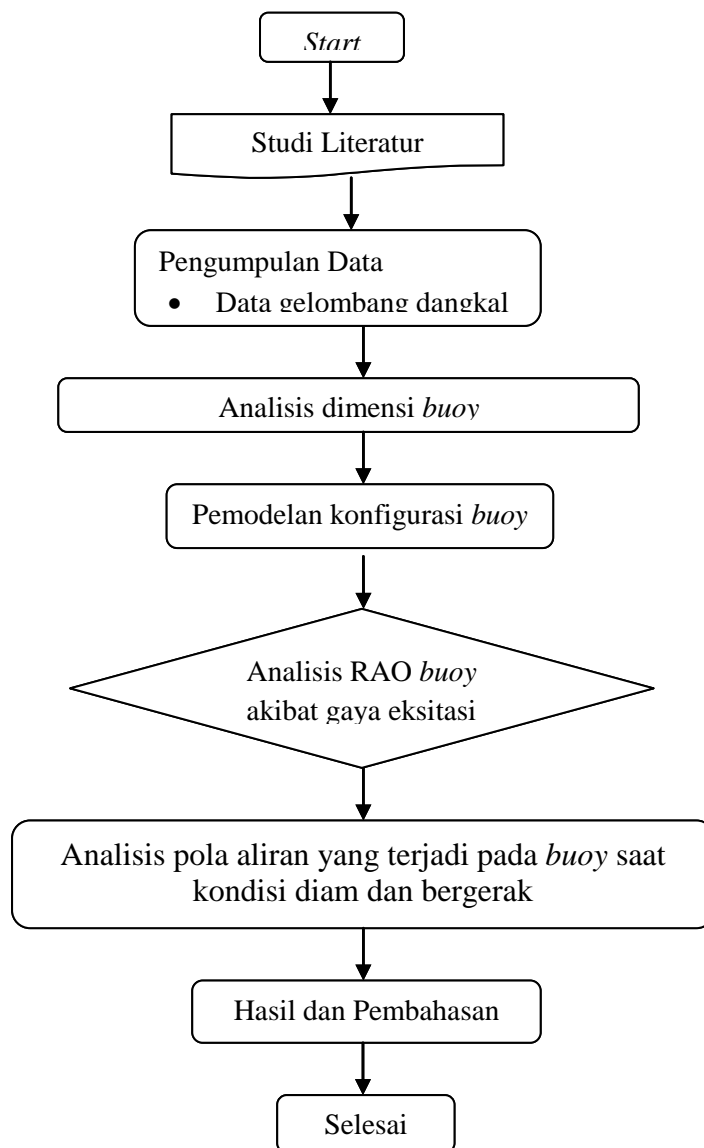
*Periodic boundary condition* digunakan ketika *physical geometry* dan *pattern* aliran berulang-ulang secara alami.

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian

Untuk mencapai tujuan penelitian, maka perlu diagram alir penelitian yang berisi tahapan-tahapan penelitian, seperti yang terlihat pada gambar 3.1 di bawah ini.



**Gambar 3.1** *Flow Chart* Metode Penelitian

### 3.2 Prosedur Penelitian

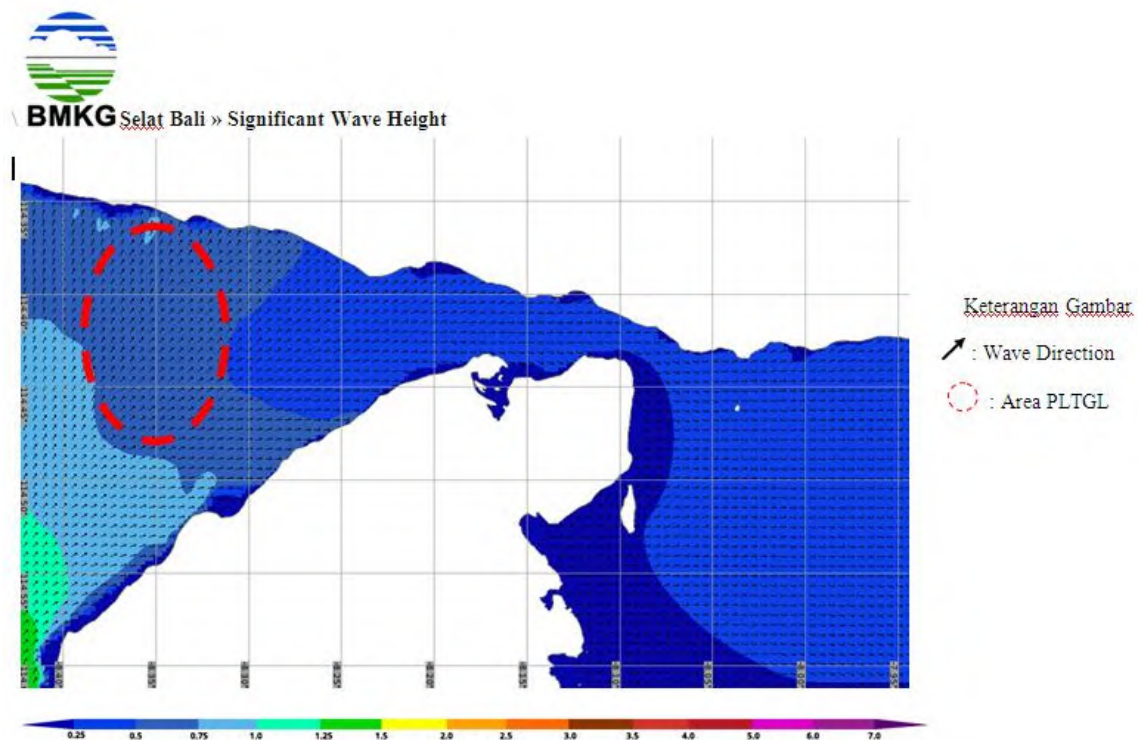
Penjelasan dari *Flow chart* metode penelitian pada gambar 3.1 adalah sebagai berikut:

#### 1. Studi Literatur

Literatur yang digunakan adalah jurnal-jurnal yang berkaitan dengan penelitian, materi dari internet, serta buku-buku yang menunjang dalam penyelesaian masalah.

#### 2. Pengumpulan Data

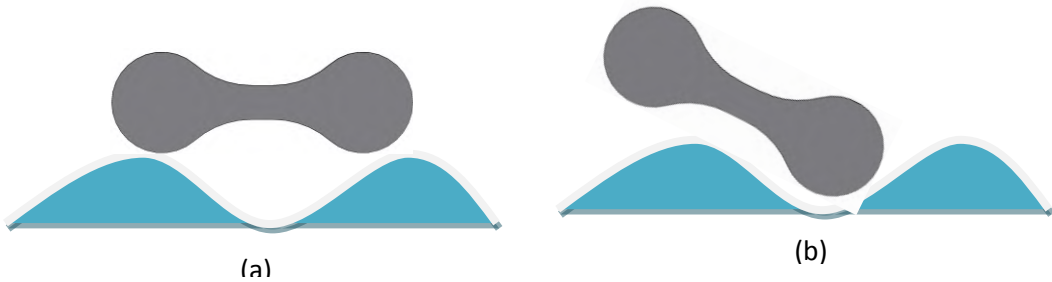
Estimasi data gelombang laut yang digunakan dalam penelitian ini berupa data gelombang di perairan dangkal dengan variasi periode 1-5 detik dan tinggi gelombang di perairan dangkal 0,25 meter.



Gambar 3.2 Data Tinggi Gelombang Signifikan Perairan Dangkal di Selat Bali (BMKG, 2016)

3. Analisis dimensi *buoy* yang akan digunakan.

Diperkirakan panjang *buoy* sama dengan panjang gelombang dari data lingkungan di perairan dangkal, hal ini dikarenakan agar saat *buoy* dikenai gelombang, diharapkan masing-masing *buoy* berada di puncak dan lembah gelombang.



Gambar 3.3 Estimasi Panjang *Buoy*

4. Pemodelan konfigurasi *buoy*

Pembuatan model *buoy* dalam model 3D dengan 2 variasi yaitu single *buoy* dan konfigurasi *buoy*. Pada *single buoy* dilakukan dengan variasi panjang *buoy* dan diameter. Panjang *buoy* divariasikan dari 1 meter sampai 2 meter. Sedangkan diameter divariasikan dari  $\frac{1}{3}$  panjang *buoy* hingga  $\frac{1}{4}$  panjang *buoy*. Untuk tebal dan tinggi *buoy* mempunyai dimensi  $\frac{1}{3}$  dari diameter. Pembuatan model dalam bentuk 3D sangat digunakan dalam simulasi menggunakan *software*.

5. Analisis RAO *Buoy* akibat gaya eksitasi

Dalam menganalisa RAO *buoy* pada gerakan *pitch*, menggunakan *software Computational Fluid Dynamic (CFD)*. Data yang diinput untuk menganalisa RAO *bouy* berupa COG, draft, variasi periode gelombang, dan radius girasi, sehingga akan menghasilkan data output berupa frekuensi gelombang dan amplitudo gelombang.

6. Analisis pola aliran yang terjadi pada *buoy* saat kondisi diam dan bergerak.

Dalam menganalisa pola aliran yang terjadi pada *buoy* saat kondisi diam dan bergerak *pitch*, menggunakan *software Computational Fluid Dynamic* (CFD) namun berbeda jenisnya dengan analisis RAO *buoy*. Data inputannya berupa gravitasi bumi, seawater density, frekuensi gelombang, amplitudo gelombang, dan kecepatan sudut. Gambar *buoy* dalam bentuk 3D di *convert* ke .STL. Dari .STL kemudian ditentukan *boundary conditionnya* dengan menggunakan fungsi kedalaman laut. Menentukan gerakan dari *buoy*, yaitu gerakan *pitch (moving object)*, dalam menentukan gerakan, inputkan data-data yang dibutuhkan, seperti kecepatan sudut, frekuensi gelombang, amplitude gelombang, dan massa jenis air laut.

Setelah input data, kemudian melakukan *meshing* dan *running*. Dalam menentukan *meshing* harus disesuaikan dengan spesifikasi komputer yang digunakan agar tidak terjadi *error*. Data output yang dihasilkan dari simulasi ini adalah kecepatan aliran. Dari kecepatan aliran bisa diketahui pola aliran di sekitar *buoy* dalam bentuk *Reynold Number*.

7. Analisis energi gelombang laut yang dihasilkan oleh *buoy* yang bergerak *pitch*.

Dari hasil analisis RAO dan pola aliran di sekitar *buoy*, akan diperoleh frekuensi gelombang, amplitude gelombang, dan kecepatan aliran, sehingga bisa diketahui besarnya energi gelombang laut yang diserap oleh *buoy* saat bergerak *pitch*.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Konfigurasi dan Dimensi *Buoy*.

##### 4.1.1 Pemodelan *Buoy*

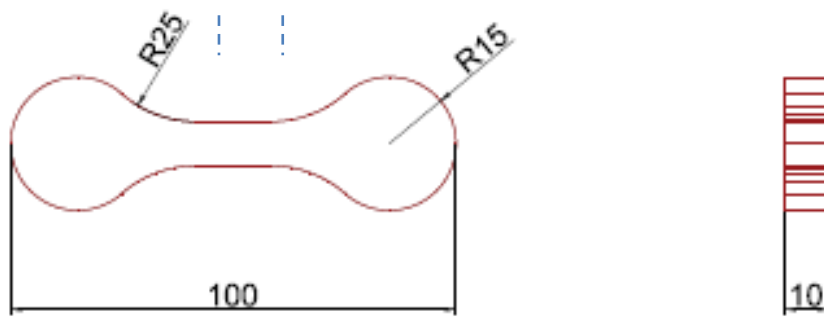
Dalam penelitian ini, diestimasikan bahwa panjang *buoy* sama dengan panjang gelombang, karena diharapkan saat gelombang datang menghantam *buoy*, *buoy* mampu bergerak *pitch*. Sehingga *buoy* didesain menyerupai bentuk gelombang laut. Dimensi *buoy* yang akan dianalisis menggunakan 2 variasi panjang *buoy*, yaitu dengan panjang 1 meter dan 2 meter. Pemilihan variasi ini karena pembangkit listrik tenaga gelombang laut akan diaplikasikan di perairan dangkal di Selat Bali, sehingga agar tidak mengganggu aktivitas transportasi laut di sekitarnya, maka digunakan panjang *buoy* 1 meter dan 2 meter.

Serta variasi besarnya diameter *buoy* yaitu panjang dari *buoy* dibagi 3 dan panjang dari *buoy* dibagi 4. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pola aliran yang terjadi di sekitar *buoy* dengan menganalisis beda diameter. Setelah mengetahui pola aliran di sekitar *buoy* baik dalam keadaan diam maupun dalam keadaan bergerak *pitch*, maka akan dipilih *buoy* yang menghasilkan *reynold number* yang tidak besar agar tidak terjadi ulekan di sekitar *buoy* yang akan menyebabkan keretakan.. Pembagian dimensi dari *buoy* yaitu lebar *buoy* sama dengan  $\frac{1}{3}$  dari panjang *buoy*, sedangkan tebal *buoy* adalah  $\frac{1}{3}$  dari diameter *buoy*. Sehingga dalam penelitian ini menggunakan 4 dimensi *buoy* dengan variasi 2 panjang *buoy* dan variasi 2 diameter *buoy*.

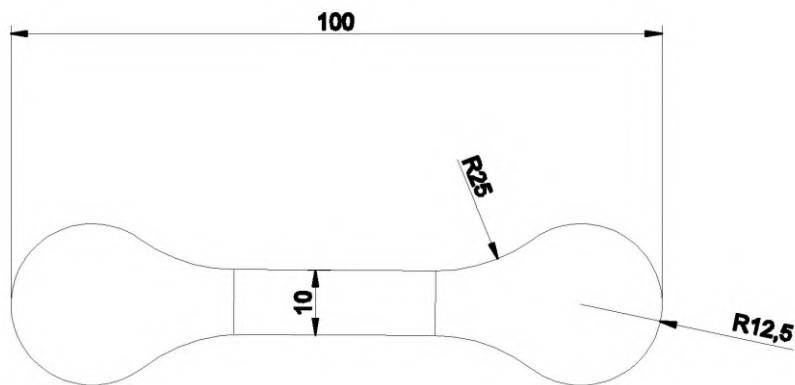


Berikut desain *buoy* untuk Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut :

a. Panjang *buoy* = 1 meter.

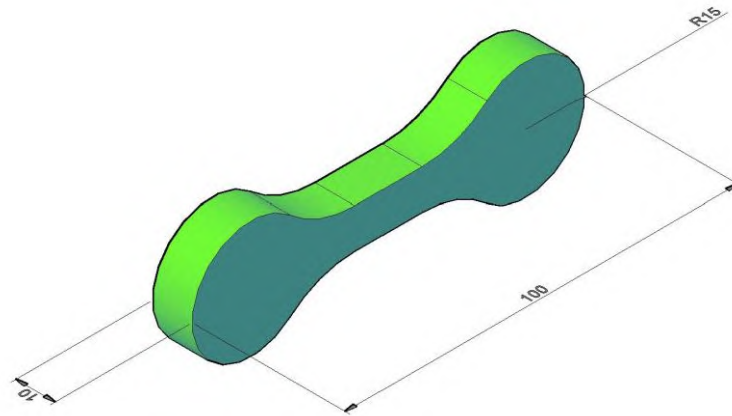


(a)

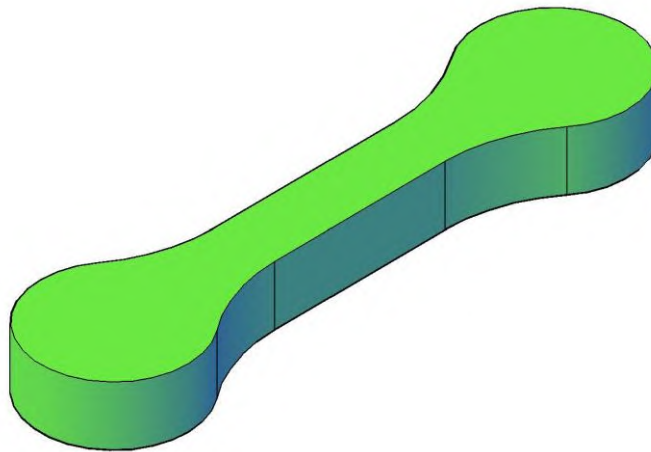


(b)

Gambar 4.1 Dimensi dari *Buoy* dengan Panjang 1 Meter; Gambar 4.1a *Buoy* dengan Diameter 30 Cm; Gambar 4.1b *Buoy* dengan Diameter 25 Cm.



(a)

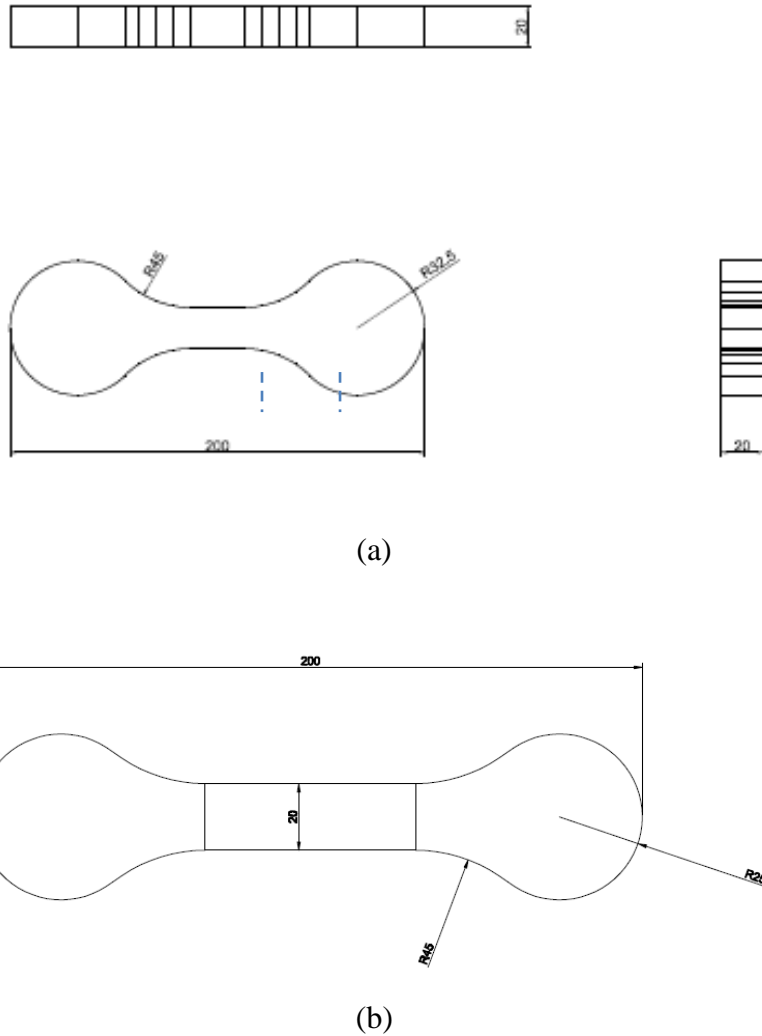


(b)

Gambar 4.2 *Buoy* dalam Bentuk 3D dengan Panjang 1 Meter; Gambar 4.2a *Buoy* dengan Diameter 30cm; 4.2b *Buoy* dengan Diameter 25cm.

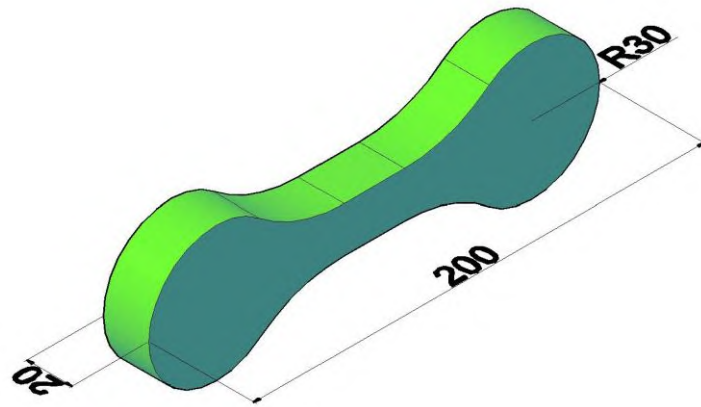
Pada gambar 4.2 merupakan pemodelan *buoy* dalam bentuk 3D, hal ini perlu dilakukan karena gambar yang diinput ke dalam CFD menggunakan pemodelan 3D bukan 2D. Dari gambar 4.2 dapat dijelaskan bahwa dengan variasi diameter pada panjang *buoy* sama dengan 1 meter, akan terlihat berbeda, pada *buoy* dengan diameter 25 cm terlihat lebih pendek dibandingkan dengan *buoy* berdiameter 30 cm.

b. Panjang *buoy* 2 meter.

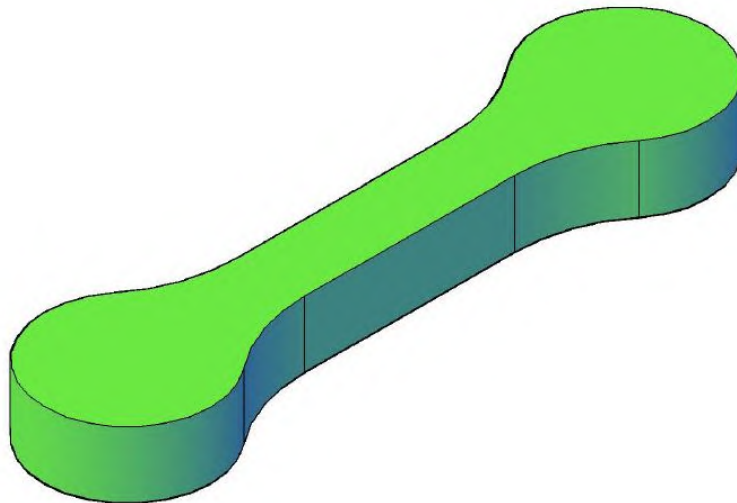


Gambar 4.3 Dimensi dari *Buoy* dengan Panjang 2 Meter. Gambar 4.3a *buoy* dengan diameter 63cm; gambar 4.3b *buoy* dengan diameter 50 cm.

Gambar 4.3 merupakan *buoy* yang mempunyai panjang 2 meter dengan 2 variasi diameter. Variasi diameter ini bertujuan untuk mengetahui pola aliran yang terjadi di sekitar *buoy* baik dalam keadaan diam maupun dalam keadaan bergerak *pitch*.



(a)

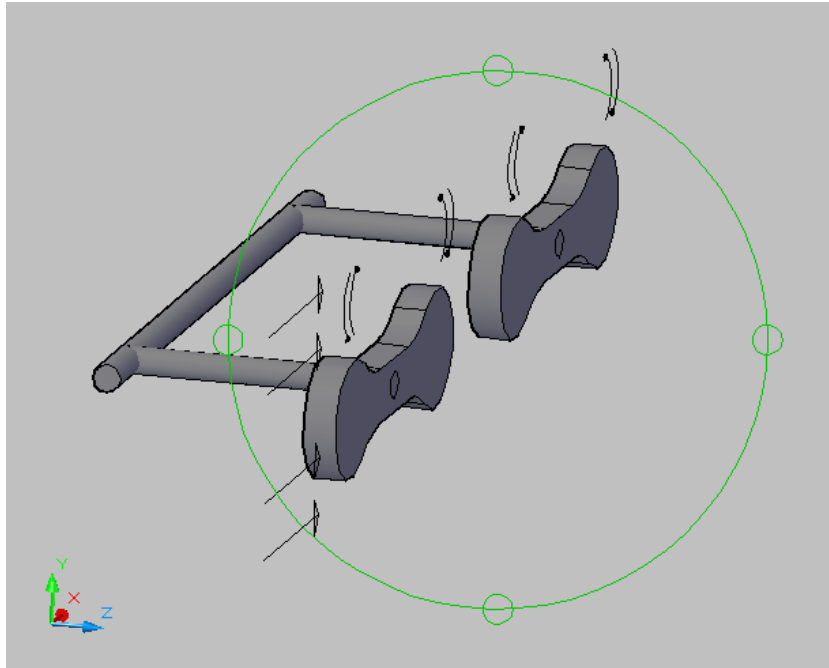


(b)

Gambar 4.4 *Buoy* dalam Bentuk 3D dengan Panjang 2 Meter. Gambar 4.4a *Buoy* dengan Diameter 60 Cm, Gambar 4.4b *Buoy* dengan Diameter 50cm.

#### 4.1.2 Konfigurasi *Buoy*.

Dalam penelitian ini juga menggunakan konfigurasi *buoy*, seperti pada gambar 4.5 di bawah ini :



Gambar 4.5 Konfigurasi *Buoy*.

Konfigurasi *buoy* dilakukan penelitian karena nantinya, aplikasi *buoy* di lautan / di lapangan akan dikonfigurasi satu sama lain, tujuannya adalah agar dapat menghasilkan udara bertekanan yang mampu menggerakkan turbin akibat gerakan *buoy* yang dikopel dengan piston.

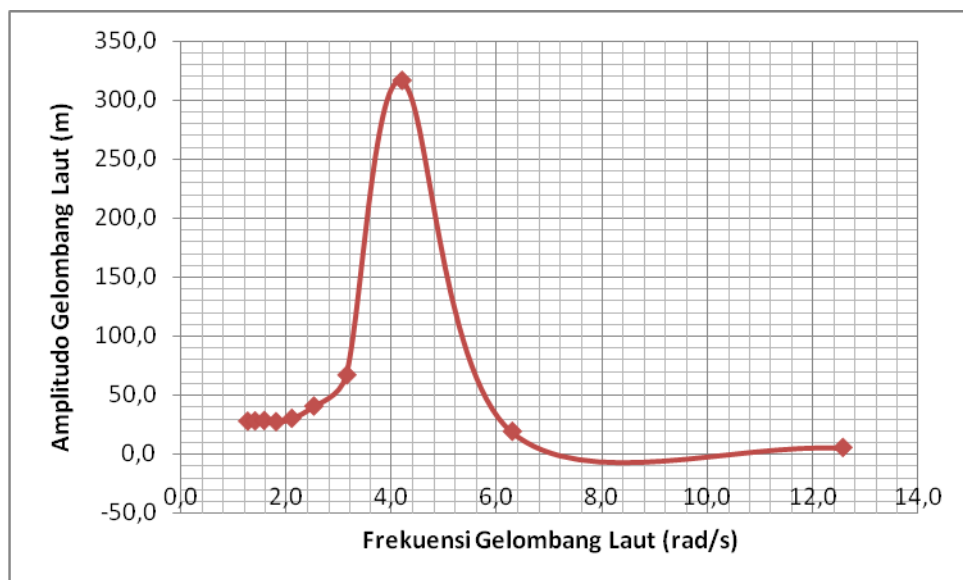
#### **4.2 Analisis Respons Amplitudo Operator yang dihasilkan buoy akibat gaya eksitasi gelombang regular pada gerakan Pitch**

Dalam analisis *Respons Amplitudo Operator* yang dihasilkan *buoy* pada gerakan *pitch*, menggunakan bantuan *software*. Data yang diinput untuk menghasilkan Respons Amplitudo operator seperti radius girasi, *draft* dari *buoy*, periode gelombang dan sudut arah datang gelombang. Radius girasi diperoleh saat pemodelan *buoy* dalam bentuk 3D, *draft buoy* adalah setengah dari tinggi *buoy* tersebut. Arah datang gelombang divariasikan dari 0 derajat, 45 derajat, 90 derajat, 135 derajat, dan 180 derajat. Output dari simulasi RAO ini adalah frekuensi gelombang dan amplitude gelombang laut.

#### 4.2.1 Simulasi *Respons Amplitude Operator* pada *Buoy* dengan panjang 1 meter

Tabel 4.1 Hasil Simulasi *RAO* pada Panjang *Buoy* 1 Meter pada *Heading* 0°.

Frekuensi ( $\omega$ ) rad/s	Periode (T) s	Amplitudo ( $\zeta$ ) m
1,3	5,0	27,4
1,4	4,5	27,6
1,6	4,0	28,0
1,8	3,5	27,0
2,1	3,0	29,8
2,5	2,5	40,2
3,1	2,0	66,6
<b>4,2</b>	<b>1,5</b>	<b>316,6</b>
6,3	1,0	18,8
12,6	0,5	5,1



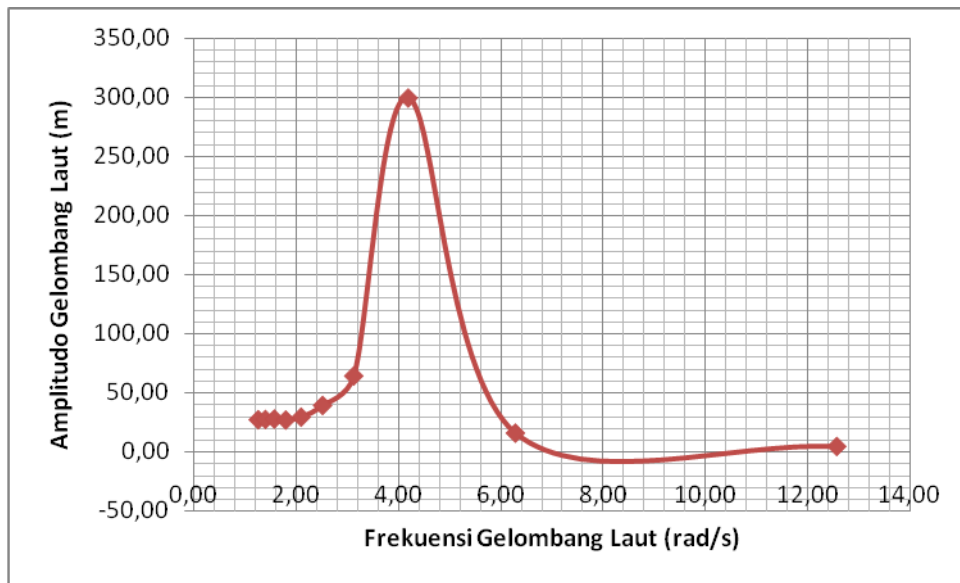
Gambar 4.6 Grafik *RAO* pada *Buoy* 1 Meter pada *Heading* 0°.

Dari gambar 4.6 dapat dilihat bahwa gerakan *pitch* yang terbesar pada *buoy* dengan panjang 1 meter dan arah datang gelombang  $0^\circ$ , terjadi pada periode 1.5 detik atau pada frekuensi 4.2 rad/s yaitu sebesar 316.6 deg/m. Sehingga *buoy* dengan panjang 1 meter dapat diaplikasikan pada perairan yang memiliki periode gelombang 1.5 detik agar menghasilkan energi yang besar.

Tabel 4.2 Hasil Uji Numerik *RAO* pada Panjang *Buoy* 1 Meter pada *Heading*  $45^\circ$ .

<b>Frekuensi (<math>\omega</math>)</b>	<b>Periode (T)</b>	<b>Amplitudo (<math>\zeta</math>)</b>
<b>rad/s</b>	<b>s</b>	<b>m</b>
1,26	5,00	27,35
1,40	4,50	27,57
1,57	4,00	27,90
1,80	3,50	27,06
2,09	3,00	29,49
2,51	2,50	39,41
3,12	2,00	64,33
<b>4,19</b>	<b>1,50</b>	<b>299,43</b>
6,28	1,00	16,00
12,57	0,50	4,68

Dari table 4.2 dapat diketahui bahwa gerakan *buoy* pada gerakan *pitch* yang terbesar dengan panjang 1 meter dan heading  $45^\circ$ , terjadi pada periode 1.5 detik atau pada frekuensi 4.19 rad/s yaitu sebesar 299.43 meter. Hal ini juga dapat dilihat seperti pada gambar 4.7 di bawah ini.

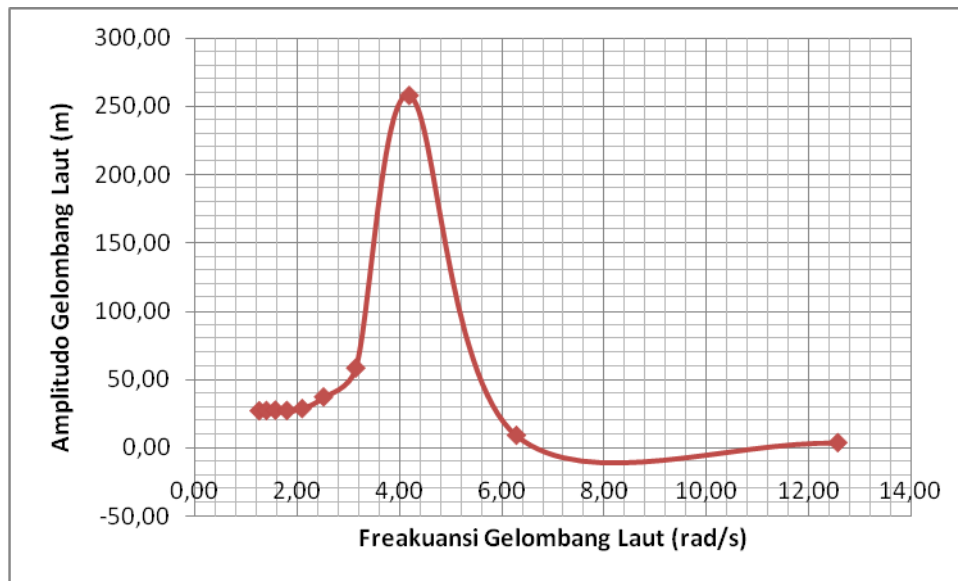


Gambar 4.7 Grafik RAO pada *Buoy* 1 Meter pada *Heading* 45°.

Tabel 4.3 Hasil Uji Numerik *RAO* pada Panjang *Buoy* 1 Meter pada *Heading* 90°.

Frekuensi ( $\omega$ )	Periode (T)	Amplitudo ( $\zeta$ )
rad/s	s	M
1,26	5,00	27,24
1,40	4,50	27,40
1,57	4,00	27,65
1,80	3,50	27,40
2,09	3,00	28,82
2,51	2,50	37,34
3,14	2,00	58,54
<b>4,19</b>	<b>1,50</b>	<b>258,19</b>
6,28	1,00	9,22
12,57	0,50	3,85



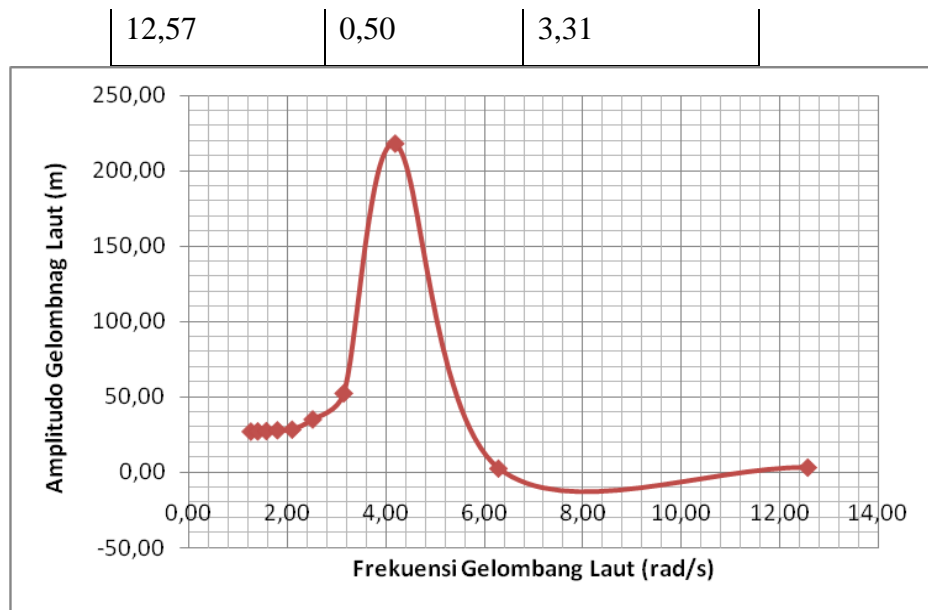


Gambar 4.8 Grafik RAO pada *Buoy* 1 Meter pada *Heading* 90°.

Dari gambar 4.8 dapat dijelaskan bahwa gerakan *pitch* yang terbesar pada *buoy* dengan panjang 1 meter dan arah datang gelombang 90°, terjadi pada periode 1.5 detik atau pada frekuensi 4.2 rad/s yaitu sebesar 258.19 meter.

Tabel 4.4 Hasil Uji Numerik *RAO* pada Panjang *Buoy* 1 Meter pada *Heading* 135°.

Frekuensi( $\omega$ )	Periode (T)	Amplitudo ( $\zeta$ )
rad/s	s	M
1,26	5,00	27,16
1,40	4,50	27,29
1,57	4,00	27,49
1,80	3,50	28,01
2,09	3,00	28,43
2,51	2,50	35,16
3,14	2,00	52,47
<b>4,19</b>	<b>1,50</b>	<b>217,67</b>
6,28	1,00	2,69



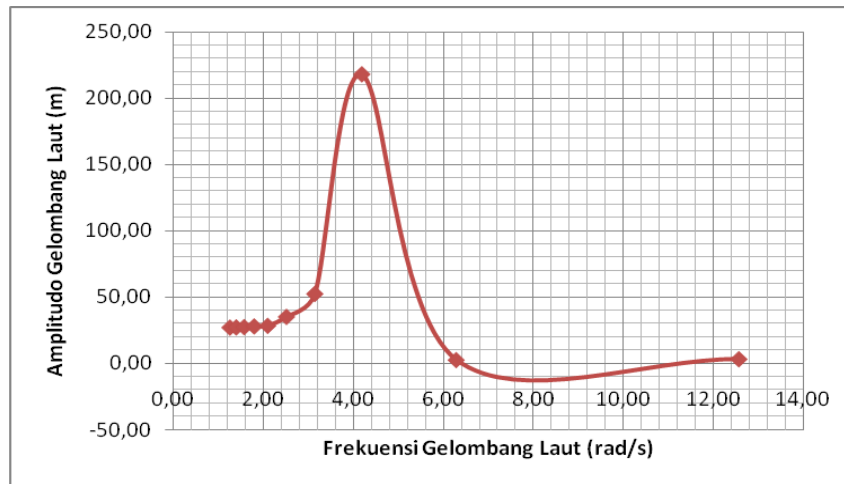
Gambar 4.9 Grafik RAO pada *Buoy* 1 Meter pada *Heading* 135°.

Dari gambar 4.9 dapat dilihat bahwa gerakan *pitch* yang terbesar pada *buoy* dengan panjang 1 meter dan arah datang gelombang 135°, terjadi pada periode 1.5 detik atau pada frekuensi 4.2 rad/s yaitu sebesar 217,67 deg/m.

Tabel 4.5 Hasil Uji Numerik *RAO* pada Panjang *Buoy* 1 Meter pada *Heading* 180°

Frekuensi ( $\omega$ )	Periode (T)	Amplitudo ( $\zeta$ ) □
rad/s	s	M
1,26	5,00	27,16
1,40	4,50	27,29
1,57	4,00	27,49
1,80	3,50	28,01
2,09	3,00	28,43
2,51	2,50	35,16
3,14	2,00	52,47
<b>4,19</b>	<b>1,50</b>	<b>217,67</b>
6,28	1,00	2,69

12,57	0,50	3,22
-------	------	------



Gambar 4.10 Grafik RAO pada *Buoy* 1 Meter pada *Heading* 180°.

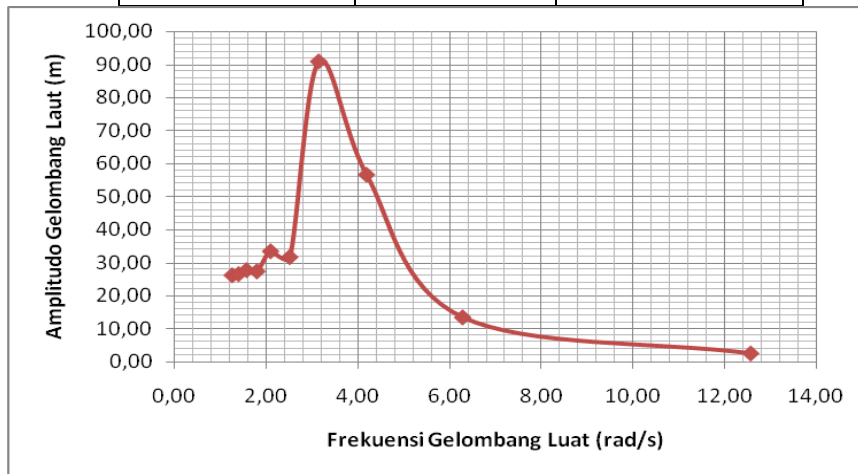
Dari garfik di atas dapat dilihat bahwa gerakan *pitch* yang terbesar pada *buoy* dengan panjang 1 meter dan arah datang gelombang 180°, terjadi pada periode 1.5 detik atau pada frekuensi 4.2 rad/s yaitu sebesar 2127,67 m.

#### 4.2.2 Simulasi *Respons Amplitude Operator* pada *Buoy* dengan panjang 2 meter

Tabel 4.6 Hasil Uji Numerik *RAO* pada panjang *buoy* 2 meter pada *heading* 0°

Frekuensi ( $\omega$ )	Periode (T)	Amplitudo ( $\zeta$ )
rad/s	s	M
1,26	5,00	26,11
1,40	4,50	26,46
1,57	4,00	27,66
1,80	3,50	27,29
2,09	3,00	33,37
2,51	2,50	31,61
<b>3,14</b>	<b>2,00</b>	<b>90,77</b>
4,19	1,50	56,51

6,28	1,00	13,39
12,57	0,50	2,46



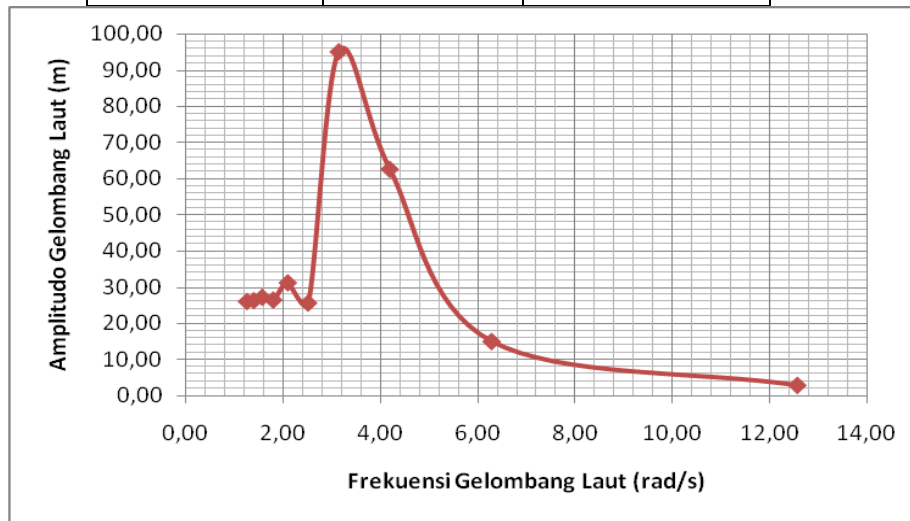
Gambar 4.11 Grafik RAO pada *buoy* 2 meter pada *heading* 0°.

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa gerakan *pitch* yang terbesar pada *buoy* dengan panjang 2 meter dan arah datang gelombang 0°, terjadi pada periode 2 detik atau pada frekuensi 3,14 rad/s yaitu sebesar 90,77 m. Sehingga *buoy* dengan panjang 2 meter dapat diaplikasikan pada perairan yang memiliki periode gelombang 2 detik agar menghasilkan energi yang besar.

Tabel 4.7 Hasil Uji Numerik RAO pada panjang *buoy* 2 meter pada *heading* 45°

Frekuensi ( $\omega$ ) rad/s	Periode (T) s	Amplitudo ( $\zeta$ ) m
1,26	5,00	25,97
1,40	4,50	26,20
1,57	4,00	27,12
1,80	3,50	26,36
2,09	3,00	31,12
2,51	2,50	25,50
<b>3,14</b>	<b>2,00</b>	<b>95,00</b>
4,19	1,50	62,53

6,28	1,00	14,88
12,57	0,50	2,75



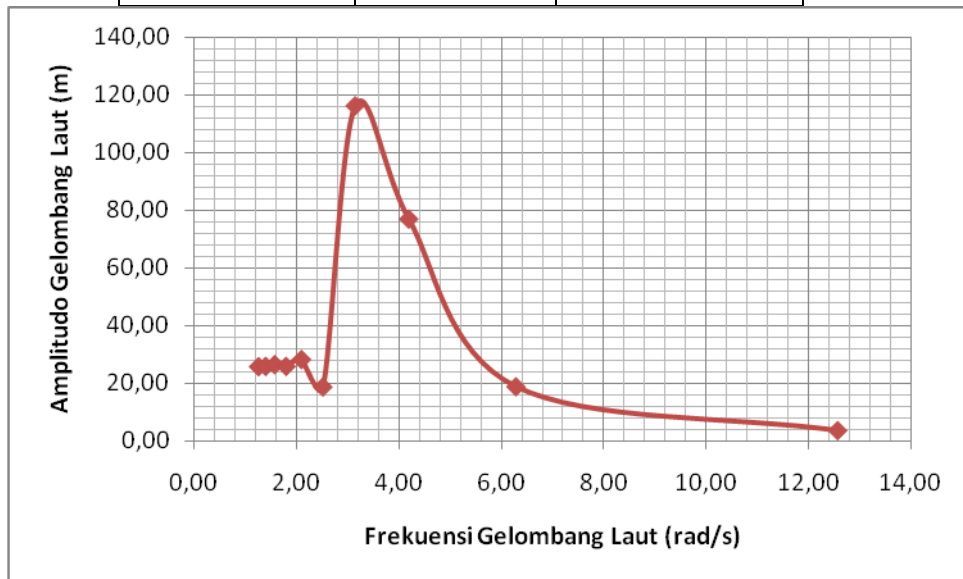
Gambar 4.12 Grafik RAO pada *buoy* 2 meter pada *heading* 45°.

Dari garfik di atas dapat dilihat bahwa gerakan *pitch* yang terbesar pada *buoy* dengan panjang 2 meter dan arah datang gelombang 45°, terjadi pada periode 2 detik atau pada frekuensi 3,14 rad/s yaitu sebesar 95 m. Sehingga *buoy* dengan panjang 2 meter dapat diaplikasikan pada perairan yang memiliki periode gelombang 2 detik agar menghasilkan energi yang besar.

Tabel 4.8 Hasil Uji Numerik RAO pada panjang *buoy* 2 meter pada *heading* 90°

Frekuensi ( $\omega$ )	Periode (T)	Amplitudo ( $\zeta$ )
rad/s	s	m
1,26	5,00	25,81
1,40	4,50	25,90
1,57	4,00	26,52
1,80	3,50	25,92
2,09	3,00	28,29
2,51	2,50	18,77
<b>3,14</b>	<b>2,00</b>	<b>116,32</b>
4,19	1,50	77,05

6,28	1,00	18,84
12,57	0,50	3,62



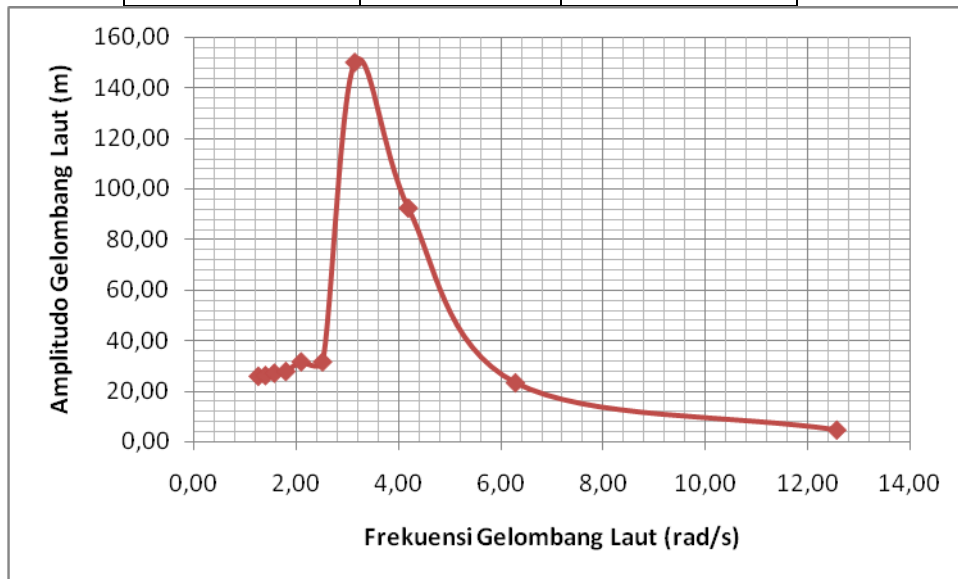
Gambar 4.13 Grafik RAO *Buoy* 2 Meter pada *Heading* 90°.

Dari gambar 4.13 dapat dijelaskan bahwa gerakan *pitch* yang terbesar pada *buoy* dengan panjang 2 meter dan arah datang gelombang 90°, terjadi pada periode 2 detik atau pada frekuensi 3,14 rad/s yaitu sebesar 116,32 m.

Tabel 4.9 Hasil Uji Numerik RAO pada panjang *buoy* 2 meter pada *heading* 135°

Frekuensi ( $\omega$ )	Periode (T)	Amplitudo ( $\zeta$ )
rad/s	s	m
1,26	5,00	25,96
1,40	4,50	26,22
1,57	4,00	27,17
1,80	3,50	27,87
2,09	3,00	31,66
2,51	2,50	31,66
<b>3,14</b>	<b>2,00</b>	<b>150,16</b>
4,19	1,50	92,48

6,28	1,00	23,34
12,57	0,50	4,65



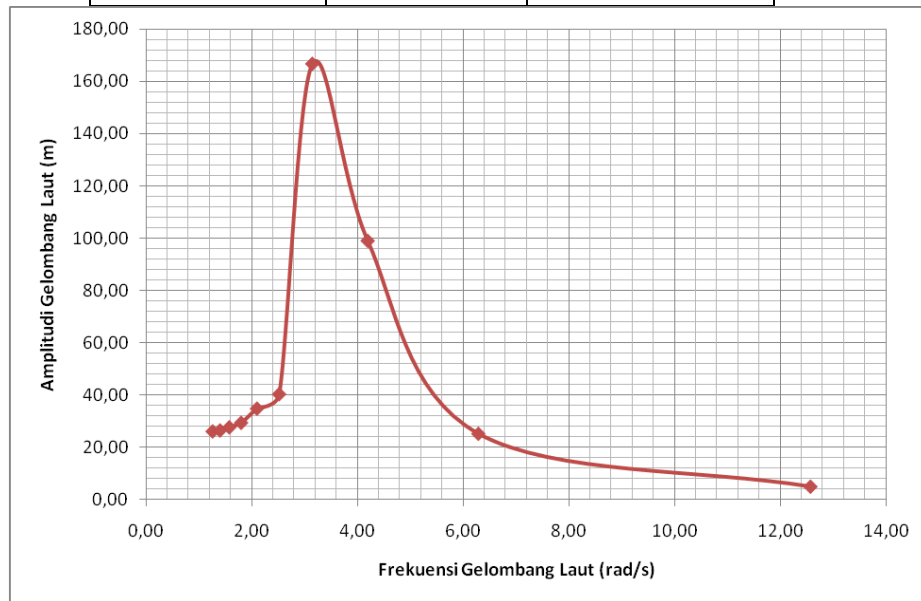
Gambar 4.14 Grafik RAO pada *buoy* 2 meter pada *heading* 135°.

Dari gambar 4.14 diketahui bahwa gerakan *pitch* yang terbesar pada *buoy* dengan panjang 2 meter dan arah datang gelombang 135°, terjadi pada periode 2 detik atau pada frekuensi 3,14 rad/s yaitu sebesar 150,16 m.

Tabel 4.10 Hasil Uji Numerik *RAO* pada panjang *buoy* 2 meter pada *heading* 180°

Frekuensi ( $\omega$ )	Periode (T)	Amplitudo ( $\zeta$ )
rad/s	s	m
1,26	5,00	26,22
1,40	4,50	26,58
1,57	4,00	27,77
1,80	3,50	29,50
2,09	3,00	34,92
2,51	2,50	40,43
<b>3,14</b>	<b>2,00</b>	<b>166,58</b>
4,19	1,50	99,01

6,28	1,00	25,32
12,57	0,50	5,11

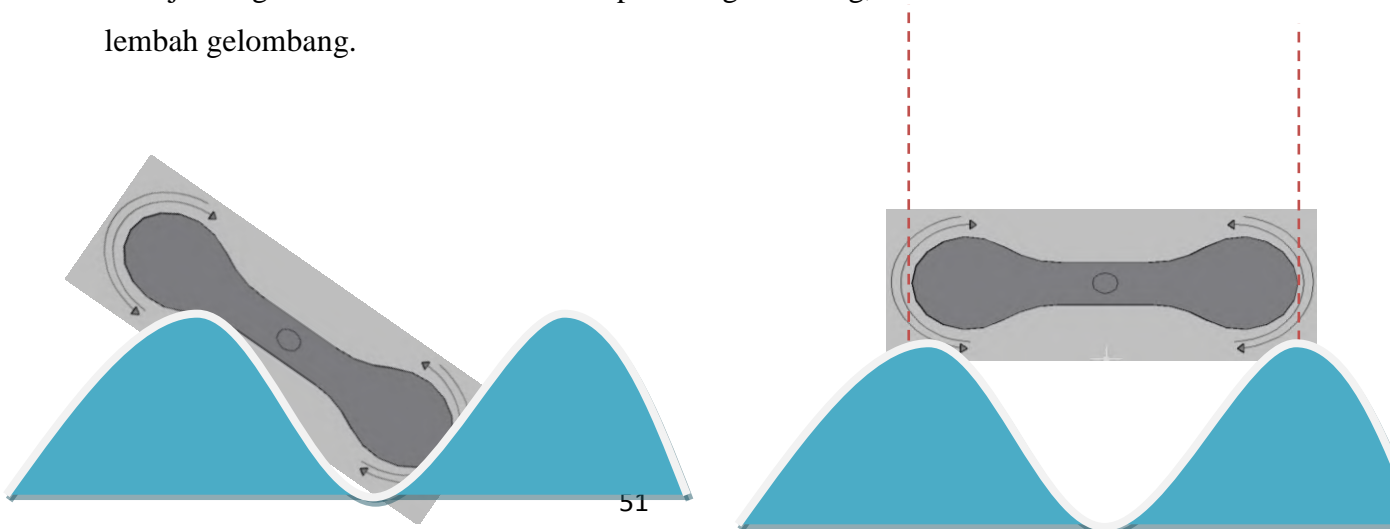


Gambar 4.15 Grafik RAO pada *buoy* 2 meter pada *heading* 180°.

Dari gambar 4.15 dapat dilihat bahwa gerakan *pitch* yang terbesar pada *buoy* dengan panjang 1 meter dan arah datang gelombang 180°, terjadi pada periode 2 detik atau pada frekuensi 4.14 rad/s yaitu sebesar 166,58 m.

### 4.3 Pola Aliran yang Terjadi di Sekitar *Buoy*.

Dalam menganalisa pola aliran yang terjadi di sekitar *buoy*, diestimasi bahwa panjang *buoy* sama dengan panjang gelombang. Hal ini bertujuan agar saat diameter 1 ada di puncak gelombang, diameter 2 berada di lembah gelombang.



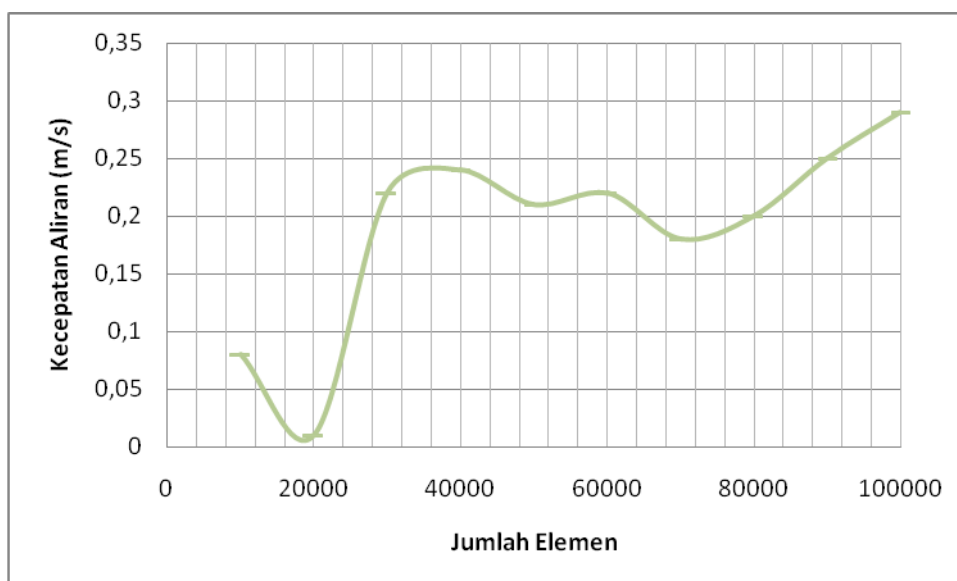


Gambar 4.16 Estimasi panjang *buoy* sama dengan panjang gelombang.

Dalam menganalisa pola aliran di sekitar *buoy*, data yang diinput berupa kedalaman laut, frekuensi gelombang, amplitude gelombang, kecepatan sudut gelombang dan massa jenis air laut. Kedalaman laut divariasikan dari 3 meter dan 4 meter. Frekuensi gelombang diperoleh dari simulasi RAO dengan frekuensi pada amplitude tertinggi di setiap dimensi *buoy*. Kecepatan sudut gelombang laut daiperoleh dari perhitungan seperti yang dijelaskan pada tabel 4.11 di bawah ini. Sedangkan data output yang dihasilkan dari simulasi adalah kecepatan aliran gelombang laut.

Tabel 4.11 Perhitungan Kecepatan Sudut Gelombang pada *buoy* 1 meter.

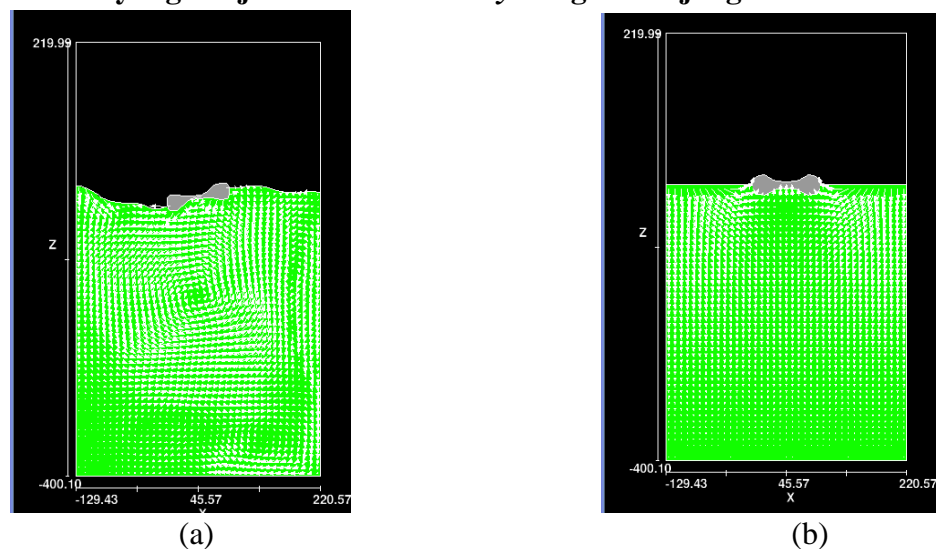
NO	$\lambda$	Kw	d	$\omega$	g	$\pi$	kec. Sudut
	m						m
1	1	6,28	3	4,19	9,81	3,14	26,31
2	1	6,28	4	4,19	9,81	3,14	26,31
3	2	3,14	3	3,14	9,81	3,14	19,72
4	2	3,14	4	3,14	9,81	3,14	19,72
5	1	6,28	5	4,19	9,81	3,14	26,31



Gambar 4.17 Sensitivitas model uji numerik.

Gambar 4.17 merupakan hasil analisis sensitivitas. Proses validasi diperlukan dalam melakukan uji numerik untuk melihat besarnya kesalahan pada proses simulasi. Uji numerik ini dilakukan dengan bantuan *software* yang menggunakan prinsip metode elemen hingga untuk meminimalisir kesalahan akibat berubahnya ukuran *meshing* pada model uji dan untuk mendapatkan konfigurasi *meshing* yang tidak memberatkan memori komputer serta didapat jumlah pemakaian *meshing* yang ideal (menghasilkan kecepatan yang konstan terhadap perubahan jumlah elemen *meshing*).

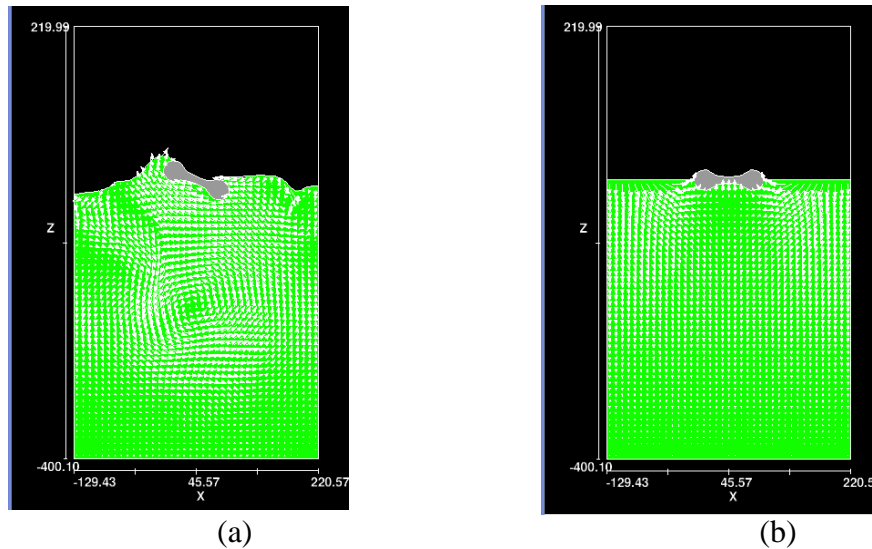
#### 4.3.1 Pola Aliran yang Terjadi di Sekitar *Buoy* dengan Panjang 1 meter.



Gambar 4.18 Simulasi Pola Aliran dengan kedalaman 4 meter dan frekuensi 1,26 rad/s; (a) saat buoy bergerak pitch; (b) saat buoy diam

Gambar 4.18 merupakan hasil simulasi pola aliran di sekitar buoy, koordinat adalah fungsi dari panjang boundary condition, kordinat z merupakan fungsi dari kedalaman laut, dan panah menunjukkan fungsi dari kecepatan aliran. Gambar 4.18 (a) merupakan buoy yang bergerak pitch mempunyai panjang 1 meter dengan frekuensi 1,26 rad/s dan kedalaman 4 meter menghasilkan kecepatan aliran 0.2 m/s. Gambar 4.18

(b) buoy diam yang mempunyai panjang 1 meter dengan frekuensi 1,26 rad/s dan kedalaman 4 meter menghasilkan kecepatan aliran 0.00002 m/s.



Gambar 4.19 Simulasi Pola Aliran dengan Kedalaman 4 Meter dan Frekuensi 1,4 Rad/S; (A) saat Buoy Bergerak Pitch; (B) Saat Buoy Diam

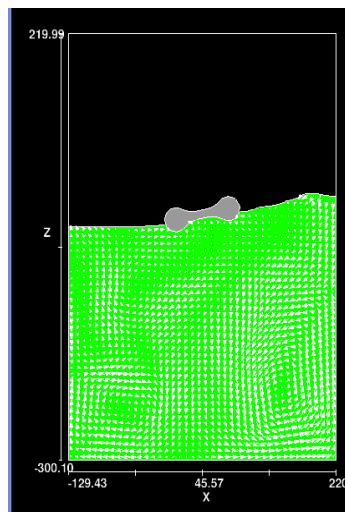
Gambar 4.19 merupakan hasil simulasi pola aliran di sekitar buoy, koordinat adalah fungsi dari panjang boundary condition, kordinat z merupakan fungsi dari kedalaman laut, dan panah menunjukkan fungsi dari kecepatan aliran. Gambar 4.19 (a) merupakan buoy yang bergerak pitch mempunyai panjang 1 meter dengan frekuensi 1,26 rad/s dan kedalaman 4 meter menghasilkan kecepatan aliran 0,041 m/s. Gambar 4.19 (b) buoy diam yang mempunyai panjang 1 meter dengan frekuensi 1,26 rad/s dan kedalaman 4 meter menghasilkan kecepatan aliran 0.000014 m/s.

Pada tabel 4.12, dapat dijelaskan bahwa pola aliran di sekitar *buoy* saat diam merupakan aliran vortex laminer karena nilai Re berada di  $40 < Re < 90$  dan  $90 < Re < 1$ , yaitu Re 94,9 pada frekuensi 1,26 rad/s, serta Re 71,2 pada frekuensi 1.4 rad.s. Pola aliran pada benda bergerak *pitch* dengan frekuensi 1.26 adalah lapisan batas laminar yang mengalami perubahan menjadi turbulen dan aliran

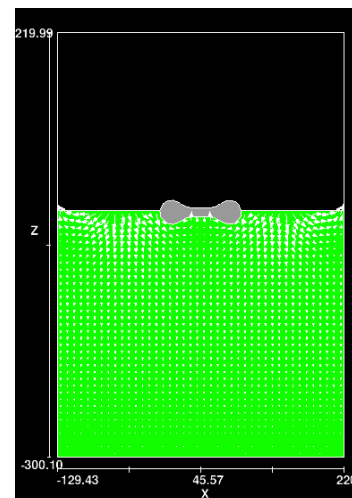
gelombang menjadi lebih sempit dan tidak teratur, karena nilai  $Re$  berada di  $3 \times 10^5 < Re < 3.5 \times 10^6$ . yaitu  $Re$  332282.7. Pola aliran pada benda bergerak *pitch* dengan frekuensi 1.4 adalah aliran vortex turbulen, karena nilai  $Re$  berada di  $300 < Re < 3 \times 10^5$ . yaitu  $Re$  194622.7.

Tabel 4.12 Hasil Uji Numerik *Reynold Number* pada panjang *buoy* 1 meter dengan kedalaman laut 4 meter.

NO	T	$\rho$ air laut	g	d	$\lambda$	$\omega$	$\zeta$	v pitch	$\mu$	Re	v saat diam	Re
	s	kg/m <sup>3</sup>	m/s <sup>2</sup>	m	m	s	m	m/s	Pa.s		m/s	
1	5,0	1021,77	9,81	4	1	1,26	0,125	0,07	0,000861	332282,7	0,00002	94,94
2	4,5	1021,77	9,81	4	1	1,40	0,125	0,041	0,000861	194622,7	0,000015	71,2



(a)

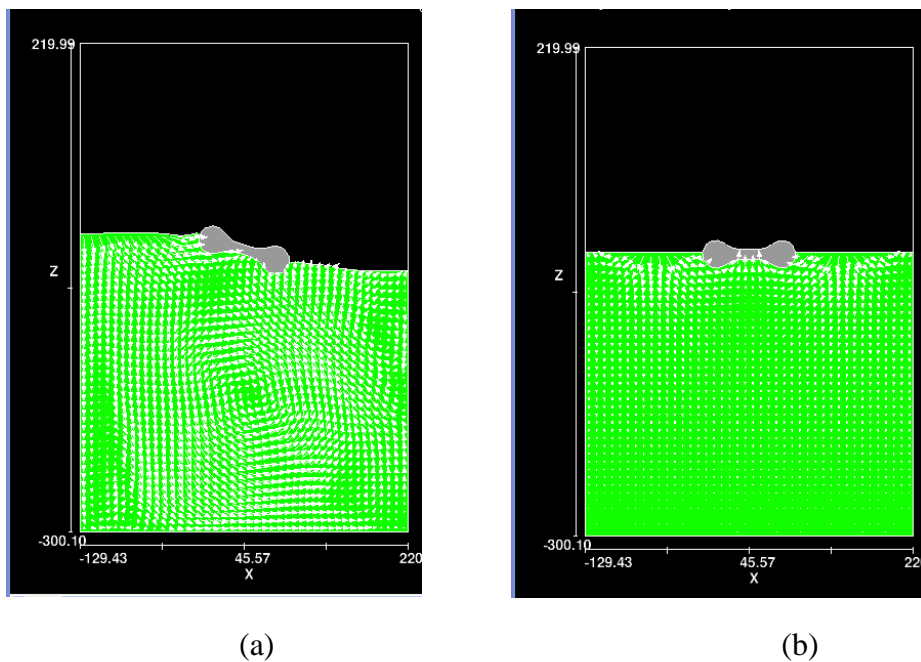


(b)

Gambar 4.20 Simulasi Pola Aliran dengan kedalaman 3 meter dan frekuensi 1,26 rad/s; (a) saat buoy bergerak *pitch*; (b) saat buoy diam.

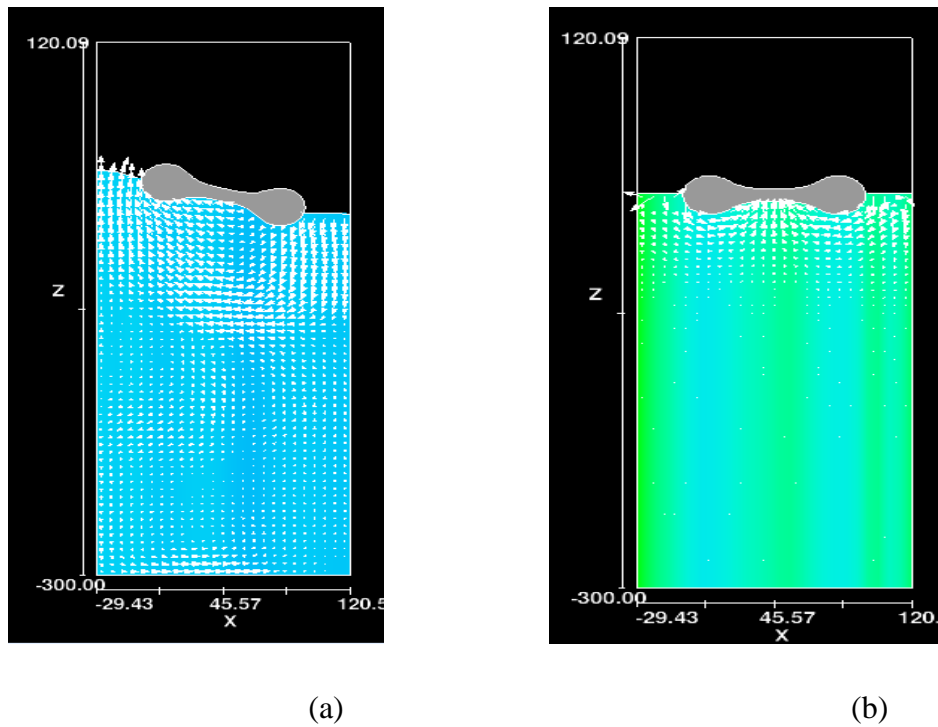
Gambar 4.20 merupakan hasil simulasi pola aliran di sekitar buoy, koordinat adalah fungsi dari panjang boundary condition, kordinat z merupakan

fungsi dari kedalaman laut, dan panah menunjukkan fungsi dari kecepatan aliran. Gambar 4.20 (a) merupakan buoy yang bergerak pitch mempunyai panjang 1 meter dengan frekuensi 1,26 rad/s dan kedalaman 3 meter menghasilkan kecepatan aliran 0.2 m/s. Gambar 4.20 (b) buoy diam yang mempunyai panjang 1 meter dengan frekuensi 1,26 rad/s dan kedalaman 3 meter menghasilkan kecepatan aliran 0.00003 m/s.



Gambar 4.21 Simulasi Pola Aliran dengan kedalaman 3 meter dan frekuensi 1,4 rad/s; (a) saat buoy bergerak pitch; (b) saat buoy diam.

Gambar 4.21 merupakan hasil simulasi pola aliran di sekitar buoy, koordinat adalah fungsi dari panjang boundary condition, kordinat z merupakan fungsi dari kedalaman laut, dan panah menunjukkan fungsi dari kecepatan aliran. Gambar 4.21 (a) merupakan buoy yang bergerak pitch mempunyai panjang 1 meter dengan frekuensi 1,4 rad/s dan kedalaman 3 meter menghasilkan kecepatan aliran 0.5 m/s. Gambar 4.21 (b) buoy diam yang mempunyai panjang 1 meter dengan frekuensi 1,4 rad/s dan kedalaman 3 meter menghasilkan kecepatan aliran 0.00038 m/s.



Gambar 4.22 Simulasi Pola Aliran dengan Kedalaman 3 Meter dan Frekuensi 1,57 Rad/S; (A) Saat Buoy Bergerak Pitch; (B) Saat Buoy Diam.

Gambar 4.22 merupakan hasil simulasi pola aliran di sekitar buoy, koordinat adalah fungsi dari panjang boundary condition, kordinat z merupakan fungsi dari kedalaman laut, dan panah menunjukkan fungsi dari kecepatan aliran. Gambar 4.22 (a) merupakan buoy yang bergerak pitch mempunyai panjang 1 meter dengan frekuensi 1,57 rad/s dan kedalaman 3 meter menghasilkan kecepatan aliran 0.37 m/s. Gambar 4.22 (b) buoy diam yang mempunyai panjang 1 meter dengan frekuensi 1,57 rad/s dan kedalaman 3 meter menghasilkan kecepatan aliran 0.00039 m/s.

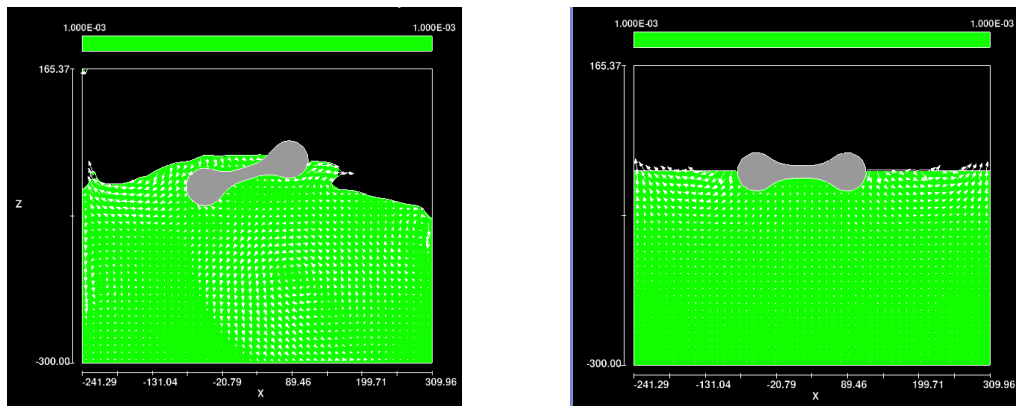
Dari table 4.13, dapat dijelaskan bahwa pola aliran di sekitar *buoy* saat diam merupakan aliran vortex turbulen karena nilai Re berada di  $300 < Re < 3 \times 10^5$  yaitu Re 1353 pada frekuensi 1,4 rad/s, serta Re 1388 pada frekuensi 1.57 rad./s. Pola aliran pada benda bergerak *pitch* dengan frekuensi 1.26 adalah lapisan batas laminar yang mengalami perubahan menjadi turbulen dan aliran gelombang

menjadi lebih sempit dan tidak teratur, karena nilai  $Re$  berada di  $3 \times 10^5 < Re < 3.5 \times 10^6$ . yaitu  $Re$  712034. Pola aliran pada benda bergerak *pitch* dengan frekuensi 1.4 adalah aliran vortex turbulen, karena nilai  $Re$  berada di  $300 < Re < 3 \times 10^5$ . yaitu  $Re$  194622.7.

Tabel 4.13 Hasil Uji Numerik *Reynold Number* pada Panjang *Buoy* 1 Meter dengan Kedalaman Laut 3 Meter.

NO	T	$\rho_{\text{air laut}}$	g	d	$\lambda$	$\omega$	$\zeta$	v pitch	$\mu$	Re	v saat diam	Re
	s	$\text{kg/m}^3$	$\text{m/s}^2$	m	m	s	m	m/s	Pa.s		m/s	
1	5.0	1021.77	9.81	3	1	1.26	0.125	0.2	0.000861	712034.4	0.00003	106.81
2	4.5	1021.77	9.81	3	1	1.4	0.125	0.5	0.000861	1780086	0.00038	1352.87
3	4.0	1021.77	9.81	3	1	1.57	0.125	0.37	0.000861	1317264	0.00039	1388.47

### 4.3.2 Pola Aliran yang Terjadi di Sekitar *Buoy* dengan Panjang 2 meter.



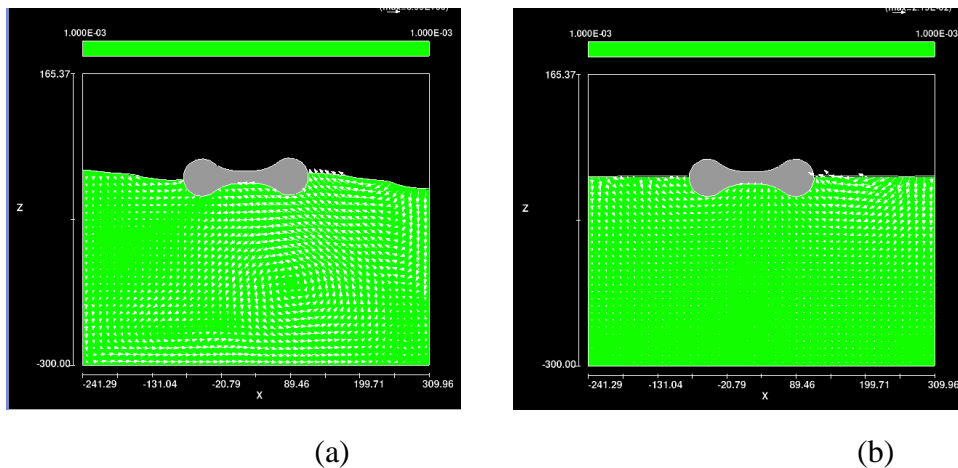
(a)

(b)

Gambar 4.23 Simulasi Pola Aliran dengan kedalaman 3 meter dan frekuensi 1,26 rad/s; (a) saat buoy bergerak *pitch*; (b) saat buoy diam.

Gambar 4.23 merupakan hasil simulasi pola aliran di sekitar buoy, koordinat adalah fungsi dari panjang boundary condition, kordinat z merupakan fungsi dari kedalaman laut, dan panah menunjukkan fungsi dari kecepatan aliran. Gambar 4.23 (a) merupakan buoy yang bergerak *pitch* mempunyai panjang 2 meter dengan frekuensi 1,26 rad/s dan kedalaman 3 meter menghasilkan

kecepatan aliran 0.372 m/s. Gambar 4.23 (b) buoy diam yang mempunyai panjang 2 meter dengan frekuensi 1,26 rad/s dan kedalaman 3 meter menghasilkan kecepatan aliran 0.00023 m/s..



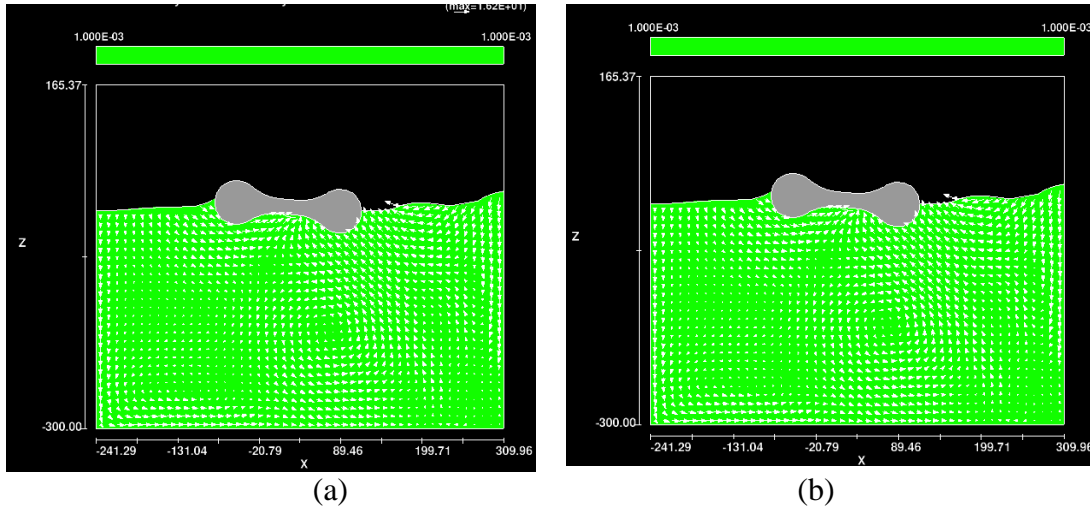
Gambar 4.24 Simulasi Pola Aliran dengan Kedalaman 3 Meter dan Frekuensi 1,4 Rad/S; (A) Saat Buoy Bergerak Pitch; (B) Saat Buoy Diam.

Gambar 4.24 merupakan hasil simulasi pola aliran di sekitar buoy, koordinat x adalah fungsi dari panjang boundary condition, kordinat z merupakan fungsi dari kedalaman laut, dan panah menunjukkan fungsi dari kecepatan aliran. Gambar 4.24 (a) merupakan buoy yang bergerak pitch mempunyai panjang 2 meter dengan frekuensi 1,4 rad/s dan kedalaman 3 meter menghasilkan kecepatan aliran 0,5 m/s. Gambar 4.24 (b) buoy diam yang mempunyai panjang 2 meter dengan frekuensi 1,4 rad/s dan kedalaman 3 meter menghasilkan kecepatan aliran 0.00038 m/s.

Dari gambar 4.25 di bawah dapat dijelaskan bahwa koordinat x adalah fungsi dari panjang boundary condition, kordinat z merupakan fungsi dari kedalaman laut, dan panah menunjukkan fungsi dari kecepatan aliran. Gambar 4.25 (a) merupakan buoy yang bergerak pitch mempunyai panjang 2 meter dengan frekuensi 1,57 rad/s dan kedalaman 3 meter menghasilkan kecepatan aliran 0,379



m/s. Gambar 4.25 (b) buoy diam yang mempunyai panjang 2 meter dengan frekuensi 1,57 rad/s dan kedalaman 3 meter menghasilkan kecepatan aliran 0.00042 m/s.



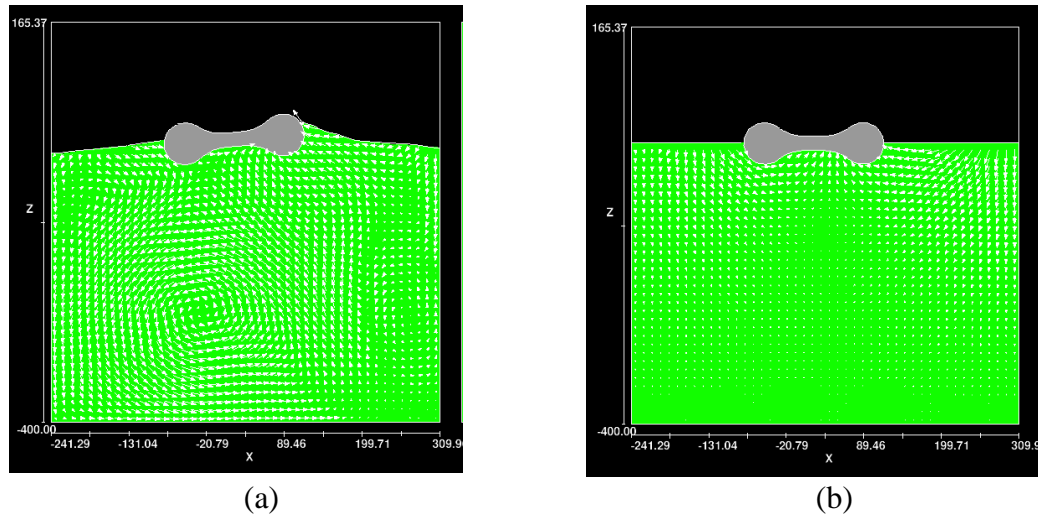
Gambar 4.25 Simulasi Pola Aliran dengan kedalaman 3 meter dan frekuensi 1,57 rad/s; (a) saat buoy bergerak pitch; (b) saat buoy diam.

Tabel 4.14 Hasil Uji Numerik *Reynold Number* pada panjang *buoy* 2 meter dengan kedalaman laut 3 meter.

NO	T	$\rho$ air laut	g	d	$\lambda$	$\omega$	$\zeta$	v pitch	$\mu$	Re	v saat diam	Re
	S	kg/m <sup>3</sup>	m/s <sup>2</sup>	m	m	s	M	m/s	Pa.s		m/s	
1	5.0	1021.77	9.81	3	2	1.26	0.125	0.372	0.000861	1324384.03	0.00023	818.84
2	4.5	1021.77	9.81	3	2	1.40	0.125	0.5	0.000861	1780086.06	0.00038	1352.87
3	4.0	1021.77	9.81	3	2	1.57	0.125	0.379	0.000861	1349305.24	0.00042	1495.27

Dari table 4.14 di atas, dapat dijelaskan bahwa pola aliran di sekitar *buoy* saat diam merupakan aliran vortex turbulen karena nilai Re berada di  $300 < Re < 3 \times 10^5$  yaitu Re 1353 pada frekuensi 1,4 rad/s, serta Re 1495 pada frekuensi 1.57 rad./s. Pola aliran pada benda bergerak *pitch* dengan frekuensi 1.26 adalah lapisan batas laminar yang mengalami perubahan menjadi turbulen dan

aliran gelombang menjadi lebih sempit dan tidak teratur, karena nilai  $Re$  berada di  $3 \times 10^5 < Re < 3.5 \times 10^6$ . yaitu  $Re$  1324384. Pola aliran pada benda bergerak *pitch* dengan frekuensi 1.4 adalah aliran vortex turbulen, karena nilai  $Re$  berada di  $300 < Re < 3 \times 10^5$ . yaitu  $Re$  1349305.

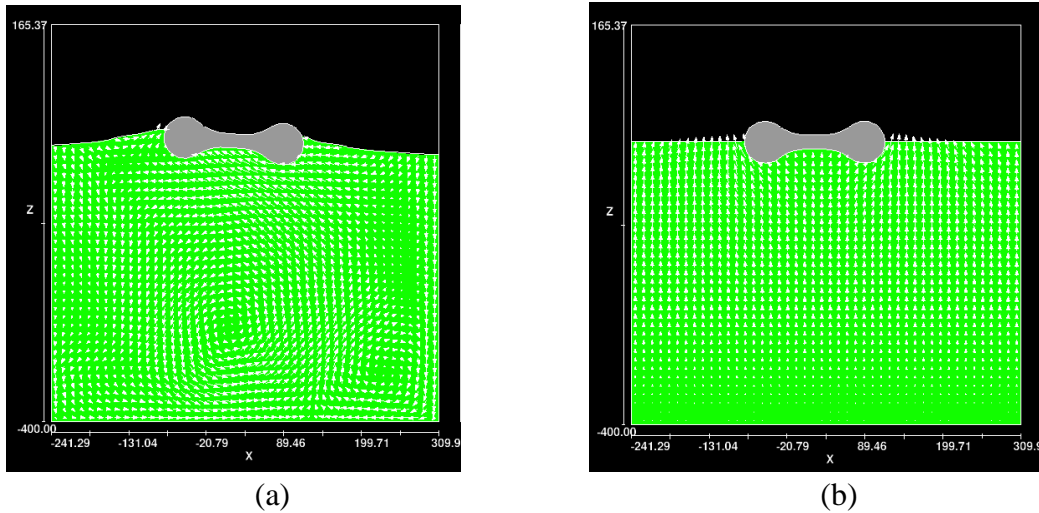


Gambar 4.26 Simulasi Pola Aliran dengan kedalaman 4 meter dan frekuensi 1,26 rad/s; (a) saat buoy bergerak pitch; (b) saat buoy diam.

Gambar 4.26 merupakan hasil simulasi pola aliran di sekitar buoy, koordinat  $x$  adalah fungsi dari panjang boundary condition, kordinat  $z$  merupakan fungsi dari kedalaman laut, dan panah menunjukkan fungsi dari kecepatan aliran. Gambar 4.26 (a) merupakan buoy yang bergerak pitch mempunyai panjang 2 meter dengan frekuensi 1,26 rad/s dan kedalaman 4 meter menghasilkan kecepatan aliran 0,571 m/s. Gambar 4.26 (b) buoy diam yang mempunyai panjang 2 meter dengan frekuensi 1,26 rad/s dan kedalaman 4 meter menghasilkan kecepatan aliran 0.00043 m/s..

Gambar 4.27 menunjukkan hasil simulasi pola aliran di sekitar buoy, koordinat  $x$  adalah fungsi dari panjang boundary condition, kordinat  $z$  merupakan fungsi dari kedalaman laut, dan panah menunjukkan fungsi dari kecepatan aliran. Gambar 4.27 (a) merupakan buoy yang bergerak pitch mempunyai panjang 1 meter dengan frekuensi 1,4 rad/s dan kedalaman 4 meter menghasilkan kecepatan

aliran 0.33 m/s. Gambar 4.27 (b) buoy diam yang mempunyai panjang 2 meter dengan frekuensi 1,4 rad/s dan kedalaman 4 meter menghasilkan kecepatan aliran 0.00024 m/s.



Gambar 4.27 Simulasi Pola Aliran dengan kedalaman 4 meter dan frekuensi 1,4 rad/s; (a) saat buoy bergerak pitch; (b) saat buoy diam.

Tabel 4.14 Hasil Uji Numerik *Froude Number* pada panjang *buoy* 2 meter dengan kedalaman laut 4 meter.

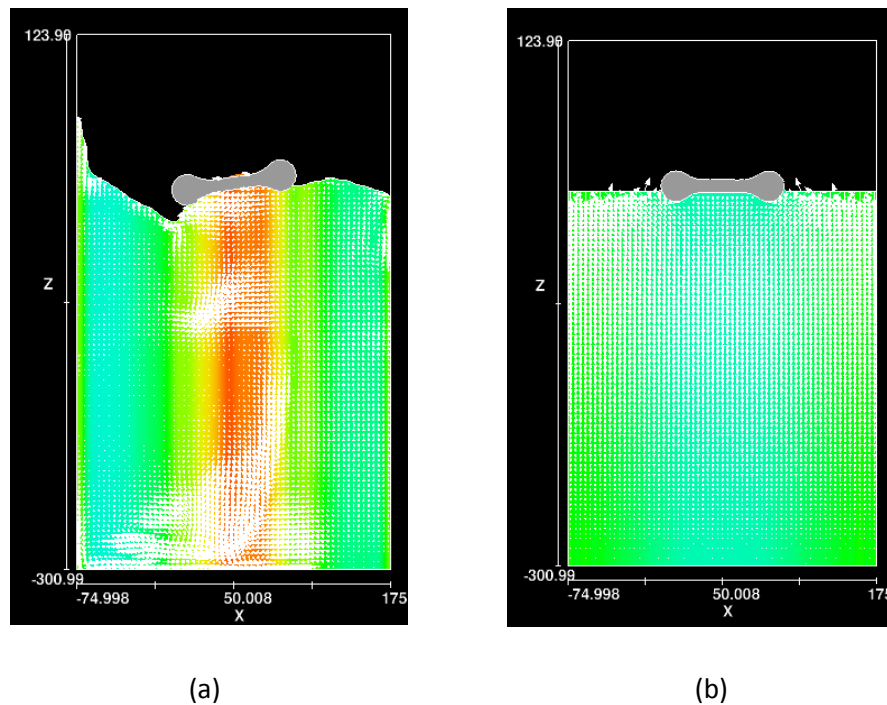
NO	T	$\rho$ air laut	G	d	$\lambda$	$\omega$	$\zeta$	v pitch	$\mu$	Re	v saat diam	Re
	s	kg/m <sup>3</sup>	m/s <sup>2</sup>	m	m	s	m	m/s	Pa.s		m/s	
1	5.0	1021.77	9.81	4	2	1.26	0.125	0.571	0.000861	2710477.71	0.00043	2055.41
2	4.5	1021.77	9.81	4	2	1.40	0.125	0.33	0.000861	1566475.74	0.00024	1153.50

Dari table 4.14 di atas, dapat dijelaskan bahwa pola aliran di sekitar *buoy* saat diam merupakan aliran vortex sepenuhnya turbulen karena nilai Re berada di  $300 < Re < 3 \times 10^5$ , yaitu Re 2055 pada frekuensi 1,26 rad/s, serta Re 1153 pada frekuensi 1.4 rad/s. Pola aliran pada benda bergerak *pitch* dengan frekuensi 1.26 adalah aliran vortex turbulen, karena nilai Re berada di  $Re > 3.5 \times 10^6$ . yaitu Re

2710477. Pola aliran pada benda bergerak *pitch* dengan frekuensi 1.4 adalah aliran vortex turbulen, karena nilai  $Re$  berada di  $Re > 3.5 \times 10^6$ . yaitu  $Re$  1566476.

#### 4.3.3 Pola Aliran yang Terjadi di Sekitar *Buoy* dengan variasi diameter .

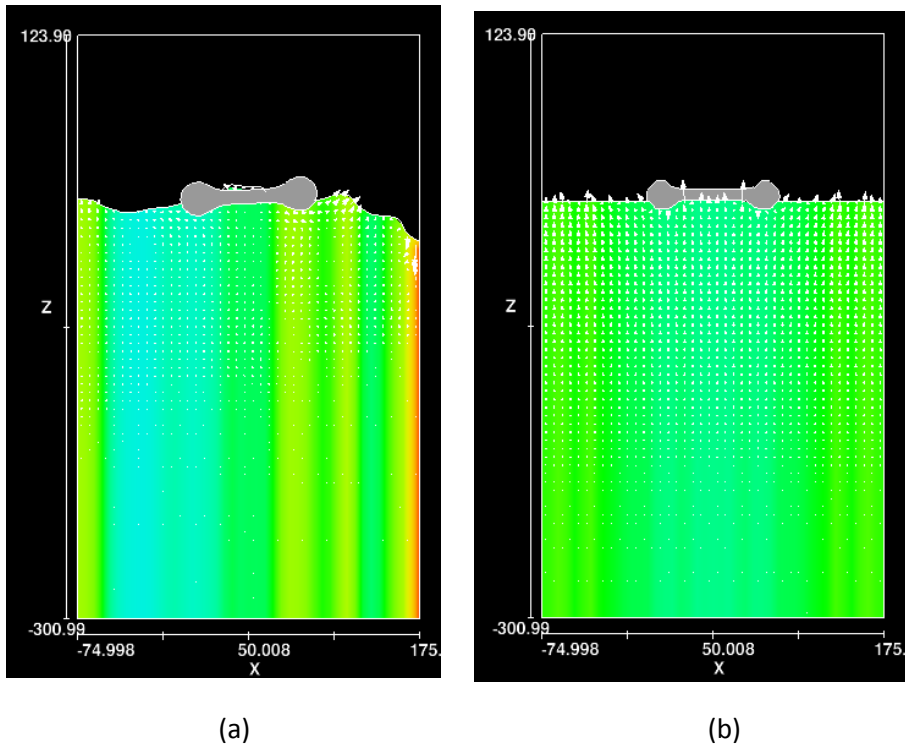
Variasi diameter dilakukan untuk mengetahui pola aliran di sekitar silinder/diameter *buoy*, jika simulasi pertama dilakukan dengan diameter sama dengan  $\frac{1}{3}$  dari panjang *buoy*, maka pada simulasi kedua ini, diameter sama dengan  $\frac{1}{4}$  dari panjang *buoy*.



Gambar 4.28 Simulasi Pola Aliran dengan kedalaman 3 meter dan frekuensi 1,4 rad/s; (a) saat buoy bergerak pitch; (b) saat buoy diam.

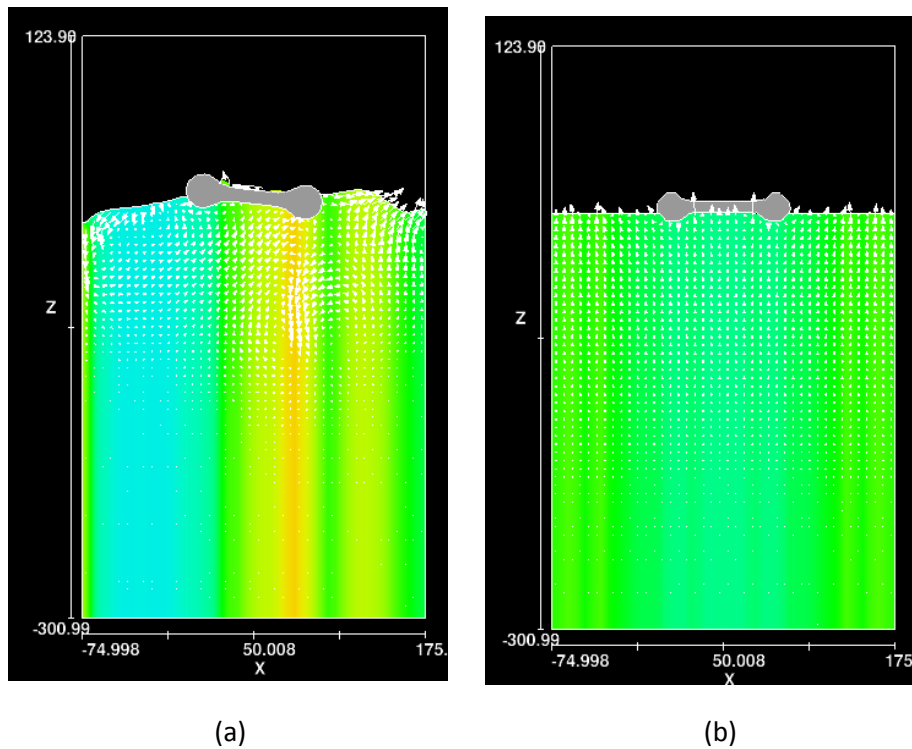
Gambar 4.28 merupakan hasil simulasi pola aliran di sekitar buoy, koordinat  $x$  adalah fungsi dari panjang boundary condition, kordinat  $z$  merupakan fungsi dari kedalaman laut, dan panah menunjukkan fungsi dari kecepatan aliran. Gambar 4.28 (a) merupakan buoy yang bergerak pitch mempunyai panjang 1 meter dengan frekuensi 1,4 rad/s dan kedalaman 3

meter menghasilkan kecepatan aliran 0.85 m/s. Gambar 4.27 (b) buoy diam yang mempunyai panjang 1 meter dengan frekuensi 1,4 rad/s dan kedalaman 4 meter menghasilkan kecepatan aliran 0.00075 m/s.



Gambar 4.29 Simulasi Pola Aliran dengan kedalaman 3 meter dan frekuensi 1,26 rad/s; (a) saat buoy bergerak pitch; (b) saat buoy diam.

Gambar 4.29 merupakan hasil simulasi pola aliran di sekitar buoy, koordinat x adalah fungsi dari panjang boundary condition, kordinat z merupakan fungsi dari kedalaman laut, dan panah menunjukkan fungsi dari kecepatan aliran. Gambar 4.29 (a) merupakan buoy yang bergerak pitch mempunyai panjang 1 meter dengan frekuensi 1,4 rad/s dan kedalaman 3 meter menghasilkan kecepatan aliran 0.24 m/s. Gambar 4.29 (b) buoy diam yang mempunyai panjang 1 meter dengan frekuensi 1,26 rad/s dan kedalaman 3 meter menghasilkan kecepatan aliran 0.00089 m/s.



Gambar 4.30 Simulasi Pola Aliran dengan Kedalaman 3 Meter dan Frekuensi 1,57 Rad/S; (A) saat Buoy Bergerak Pitch; (B) saat Buoy Diam.

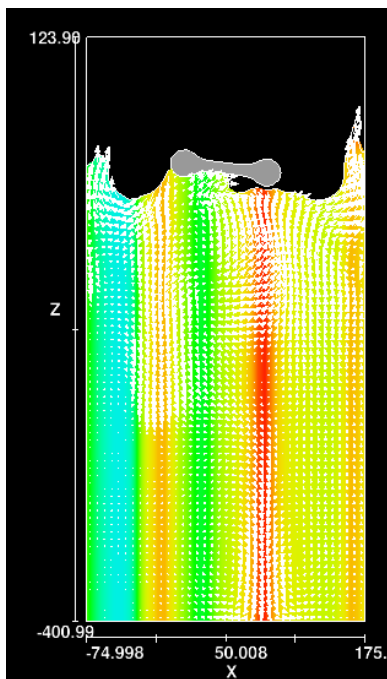
Gambar 4.30 merupakan hasil simulasi pola aliran di sekitar buoy, koordinat x adalah fungsi dari panjang boundary condition, kordinat z merupakan fungsi dari kedalaman laut, dan panah menunjukkan fungsi dari kecepatan aliran. Gambar 4.30 (a) merupakan buoy yang bergerak pitch mempunyai panjang 1 meter dengan frekuensi 1,4 rad/s dan kedalaman 3 meter menghasilkan kecepatan aliran 0.095 m/s. Gambar 4.30 (b) buoy diam yang mempunyai panjang 1 meter dengan frekuensi 1,57 rad/s dan kedalaman 3 meter menghasilkan kecepatan aliran 0.00089 m/s.

Dari table 4.15 di bawah, dapat dijelaskan bahwa pola aliran di sekitar *buoy* saat diam merupakan aliran vortex sepenuhnya turbulen karena nilai Re berada di  $300 < Re < 3 \times 10^5$ , yaitu Re 2670 pada frekuensi 1,26 rad/s, serta Re 3169 pada frekuensi 1.4 rad/s dan frekuensi 1,57 rad/s. Pola aliran pada benda bergerak *pitch* dengan frekuensi 1.26 rad/s dan frekuensi 1,57 rad/s adalah aliran batas laminar mengalami perubahan menjadi turbulen dan aliran gelombang menjadi lebih sempit, karena nilai Re berada di  $3.5 \times 10^5 < RE <$

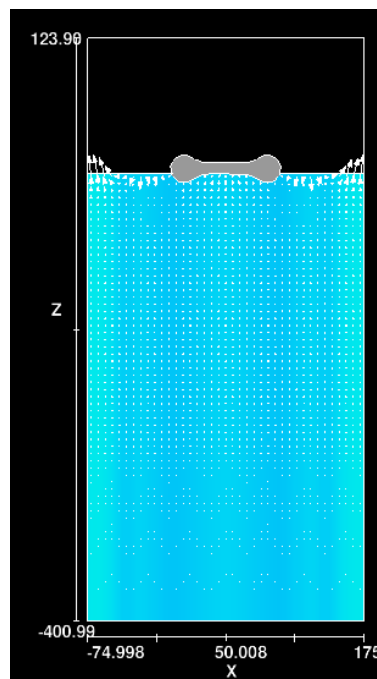
$3.5 \times 10^6$ . yaitu  $Re$  854441 dan  $Re$  338216. Pola aliran pada benda bergerak *pitch* dengan frekuensi 1.4 rad/s adalah aliran vortex turbulen, karena nilai  $Re$  berada di  $Re > 3.5 \times 10^6$ . yaitu  $Re$  3026146.

Tabel 4.15 Hasil Uji Numerik *Froude Number* pada Panjang *Buoy* 1 Meter variasi diameter dengan Kedalaman Laut 3 Meter.

NO	T	$\rho$ air laut	g	d	$\lambda$	$\omega$	$\zeta$	v pitch	$\mu$	Re	v saat diam	Re
	s	$\frac{kg}{m^3}$	$\frac{m}{s^2}$	m	m	s	m	m/s	Pa.s		m/s	
1	5,0	1021,77	9,81	3	1	1,26	0,125	0,24	0,000861	854441,3	0,00089	3168,553
2	4,5	1021,77	9,81	3	1	1,4	0,125	0,85	0,000861	3026146	0,00075	2670,129
3	4,0	1021,77	9,81	3	1	1,57	0,125	0,095	0,000861	338216,4	0,00089	3168,553



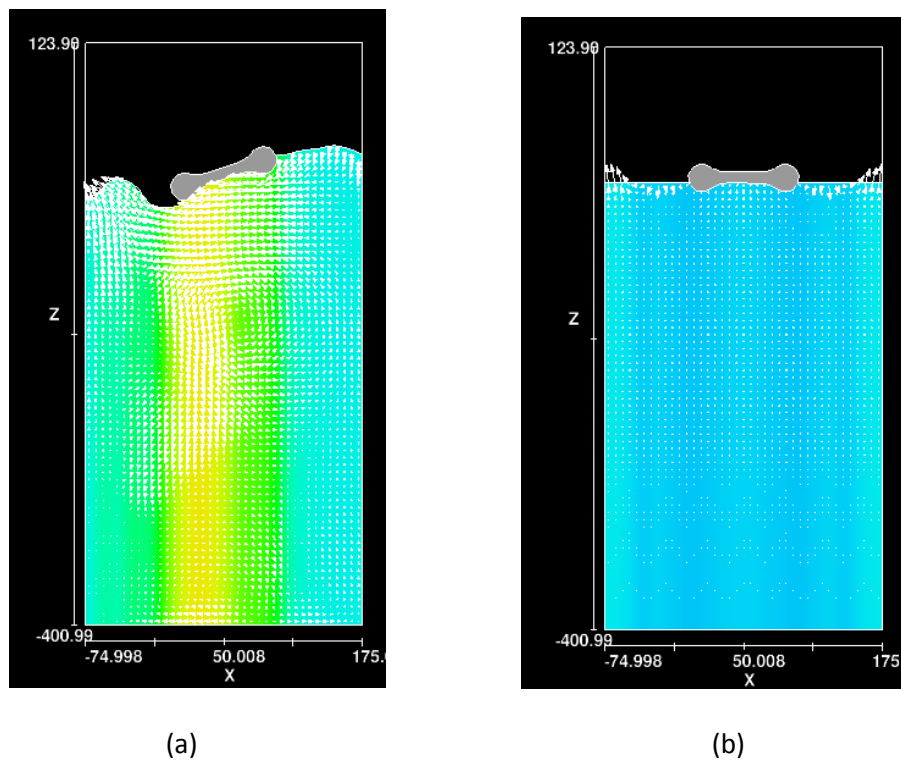
(a)



(b)

Gambar 4.31 Simulasi Pola Aliran dengan kedalaman 4 meter dan frekuensi 1,4 rad/s; (a) saat buoy bergerak *pitch*; (b) saat buoy diam.

Gambar 4.31 merupakan hasil simulasi pola aliran di sekitar buoy, koordinat  $x$  adalah fungsi dari panjang boundary condition, kordinat  $z$  merupakan fungsi dari kedalaman laut, dan panah menunjukkan fungsi dari kecepatan aliran. Gambar 4.31 (a) merupakan buoy yang bergerak pitch mempunyai panjang 1 meter dengan frekuensi 1,4 rad/s dan kedalaman 4 meter menghasilkan kecepatan aliran 0.337 m/s. Gambar 4.31 (b) buoy diam yang mempunyai panjang 1 meter dengan frekuensi 1,4 rad/s dan kedalaman 4 meter menghasilkan kecepatan aliran 0.00125 m/s.



Gambar 4.32 Simulasi Pola Aliran dengan kedalaman 4 meter dan frekuensi 1,26 rad/s; (a) saat buoy bergerak pitch; (b) saat buoy diam.

Gambar 4.32 merupakan hasil simulasi pola aliran di sekitar buoy, koordinat  $x$  adalah fungsi dari panjang boundary condition, kordinat  $z$  merupakan fungsi dari kedalaman laut, dan panah menunjukkan fungsi dari kecepatan aliran. Gambar 4.32 (a) merupakan buoy yang bergerak pitch



mempunyai panjang 1 meter dengan frekuensi 1,26 rad/s dan kedalaman 4 meter menghasilkan kecepatan aliran 0.379 m/s. Gambar 4.321 (b) buoy diam yang mempunyai panjang 1 meter dengan frekuensi 1,26 rad/s dan kedalaman 4 meter menghasilkan kecepatan aliran 0.00125 m/s.

Tabel 4.16 Hasil Uji Numerik *Froude Number* pada Panjang *Buoy* 1 Meter variasi diameter dengan Kedalaman Laut 3 Meter.

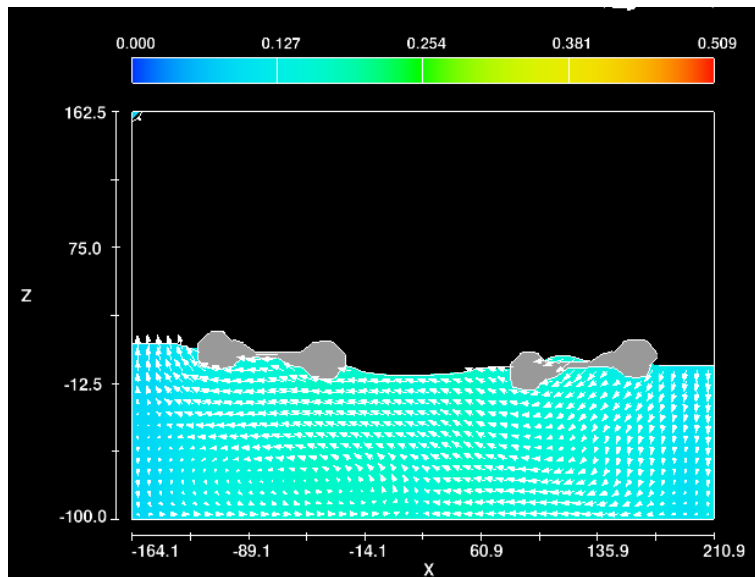
NO	T	r <sub>air laut</sub>	g	d	l	w	z	v <sub>pitch</sub>	m	Re	v saat diam	Re
	s	kg/m <sup>3</sup>	m/s <sup>2</sup>	m	m	s	m	m/s	Pa.s		m/s	
1	5,0	1021,77	9,81	4	1	1,26	0,125	0,379	0,000861	1799074	0,00125	5933,62
2	4,5	1021,77	9,81	4	1	1,40	0,125	0,337	0,000861	1599704	0,00125	5933,62

Dari table 4.16 di atas, dapat dijelaskan bahwa pola aliran di sekitar *buoy* saat diam merupakan aliran vortex sepenuhnya turbulen karena nilai Re berada di  $300 < Re < 3 \times 10^5$ , yaitu Re 5934 pada frekuensi 1,26 rad/s dan frekuensi 1,4 rad/s. Pola aliran pada benda bergerak *pitch* dengan frekuensi 1.26 rad/s dan frekuensi 1,4 rad/s adalah aliran vortex turbulen, karena nilai Re berada di  $Re > 3.5 \times 10^6$ . yaitu Re 1799074 dan Re 1599704.

#### 4.3.4 Pola Aliran yang Terjadi di Sekitar konfigurasi *Buoy* dengan Panjang 1 meter.

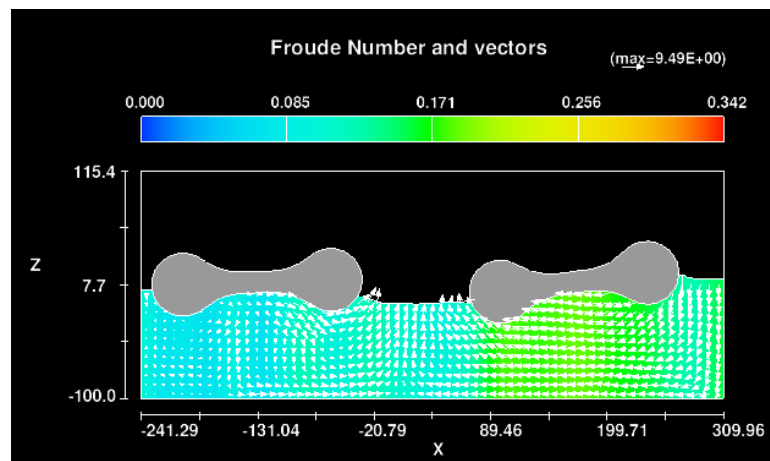
Dalam simulasi pola aliran pada konfigurasi *buoy*, hanya dilakukan pada kedalaman 1 meter, hal ini dikarenakan pada kedalaman > 1 meter terjadi *error*.

Dari gambar 4.33 dapat dijelaskan bahwa pola aliran yang terjadi di sekitar konfigurasi *buoy* dengan panjang 1 meter pada kedalaman 1 meter adalah aliran cepat/ *rapid flow* karena nilai Fn > 1 yaitu 11,2.



Gambar 4.33 Simulasi pola aliran konfigurasi *buoy* saat bergerak *pitch* dengan panjang *buoy* 1 meter pada kedalaman 1 meter.

#### 4.3.5 Pola Aliran yang Terjadi di Sekitar konfigurasi *Buoy* dengan Panjang 2 meter.

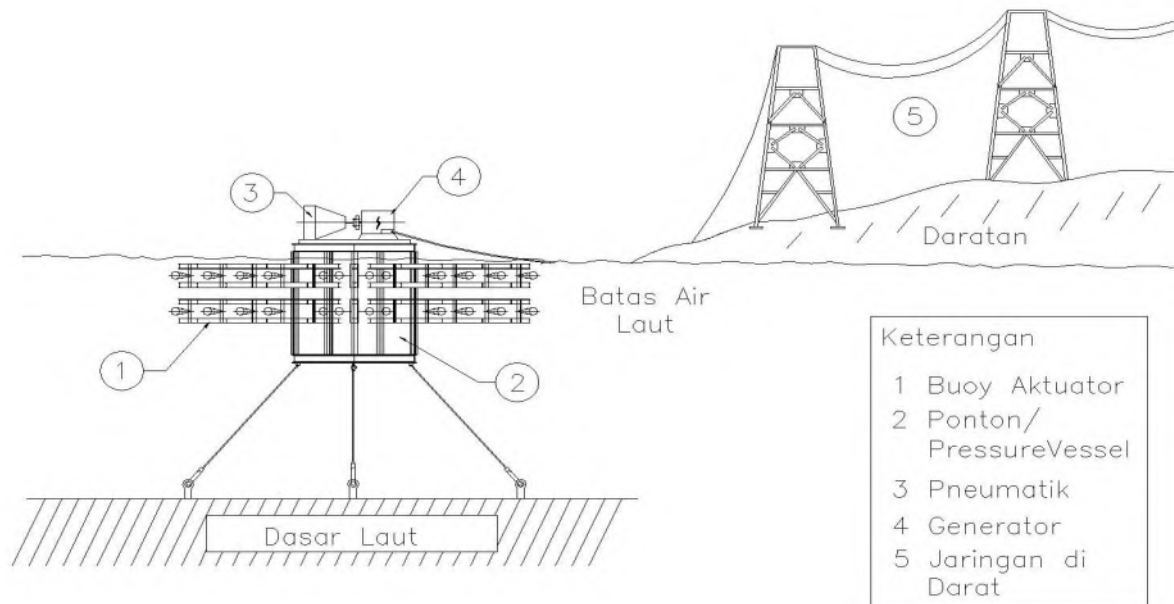


Gambar 4.34 Simulasi pola aliran konfigurasi *buoy* saat bergerak *pitch* dengan panjang *buoy* 2 meter pada kedalaman 1 meter.

Dari gambar 4.34 dapat dijelaskan bahwa pola aliran yang terjadi di sekitar konfigurasi *buoy* dengan panjang 1 meter pada kedalaman 1 meter adalah aliran cepat/ *rapid flow* karena nilai  $F_n > 1$ , yaitu 9,49.

#### 4.4 Analisis penyerapan energy gelombang laut yang berada di *buoy*

Dari hasil simulasi Respons Amplitudo dan analisa pola aliran di sekitar *buoy*, maka dapat dianalisa besarnya energi gelombang laut yang diperoleh *buoy* akibat gerakan *pitch* yang digerakkan oleh gelombang. Energi gelombang laut yang diserap diperoleh dari energi kinetik yang dihasilkan *buoy*. Besarnya energi yang diserap oleh *buoy* nantinya akan digunakan untuk mendorong atau menggerakkan piston, sehingga piston mampu menghasilkan udara bertekanan yang akan disimpan di *pressure vessel*.



Gambar 4.35 Desain Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem *Integrated Concentric Stroke* (Sutoto,2014)

Gambar 4.35 merupakan desain pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem *integrated concentric stroke*. *Buoy* yang digerakkan oleh gelombang laut akan menyerap energi kinetik yang mampu mendorong atau menggerakkan piston hingga menghasilkan udara bertekanan. Sehingga diperlukan analisis besarnya energi gelombang laut yang diserap oleh *buoy*, untuk dapat menentukan spesifikasi piston yang akan digunakan. Namun dalam penelitian ini tidak menghitung spesifikasi yang sesuai dengan *buoy* yang digunakan. Dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan spesifikasi piston.

Tabel 4.17 Analisis besarnya energy gelombang laut yang diserap oleh *buoy* dengan panjang 1 meter.

T	$\lambda$	P	g	L(m)		B	Z(m)		$\pi$	D	L/d	$K_1$	d(m)		C(Nm)				$I_w(\text{kgm}^2)$			
	(m)	( $\text{kg/m}^3$ )	( $\text{m/s}^2$ )	$L_{\text{all}}$	$L_B$	(m)	$Z_{AC}$	$Z_B$		(m)			$d_{AC}$	$d_B$	$C_A$	$C_B$	$C_C$	$C_{\text{tot}}$	$I_{wA}$	$I_{wB}$	$I_{wC}$	$I_{w\text{tot}}$
0.5	1.00	1021.769	9.81	1.00	0.33	0.10	0.3	0.10	3.14	0.3	7	0.9	0.2	0.05	6.07	3.09	6.07	15.24	0.14	0.19	0.14	0.46
1.0	1.00	1021.769	9.81	1.00	0.33	0.10	0.3	0.10	3.14	0.3	7	0.9	0.2	0.05	6.07	3.09	6.07	15.24	0.14	0.19	0.14	0.46
1.5	1.00	1021.769	9.81	1.00	0.33	0.10	0.3	0.10	3.14	0.3	7	0.9	0.2	0.05	6.07	3.09	6.07	15.24	0.14	0.19	0.14	0.46
2.0	1.00	1021.769	9.81	1.00	0.33	0.10	0.3	0.10	3.14	0.3	7	0.9	0.2	0.05	6.07	3.09	6.07	15.24	0.14	0.19	0.14	0.46
2.5	1.00	1021.769	9.81	1.00	0.33	0.10	0.3	0.10	3.14	0.3	7	0.9	0.2	0.05	6.07	3.09	6.07	15.24	0.14	0.19	0.14	0.46
3.0	1.00	1021.769	9.81	1.00	0.33	0.10	0.3	0.10	3.14	0.3	7	0.9	0.2	0.05	6.07	3.09	6.07	15.24	0.14	0.19	0.14	0.46
3.5	1.00	1021.769	9.81	1.00	0.33	0.10	0.3	0.10	3.14	0.3	7	0.9	0.2	0.05	6.07	3.09	6.07	15.24	0.14	0.19	0.14	0.46
4.0	1.00	1021.769	9.81	1.00	0.33	0.10	0.3	0.10	3.14	0.3	7	0.9	0.2	0.05	6.07	3.09	6.07	15.24	0.14	0.19	0.14	0.46
4.5	1.00	1021.769	9.81	1.00	0.33	0.10	0.3	0.10	3.14	0.3	7	0.9	0.2	0.05	6.07	3.09	6.07	15.24	0.14	0.19	0.14	0.46
5.0	1.00	1021.769	9.81	1.00	0.33	0.10	0.3	0.10	3.14	0.3	7	0.9	0.2	0.05	6.07	3.09	6.07	15.24	0.14	0.19	0.14	0.46

Tabel 4.17 Analisis Besarnya Energy Gelombang Laut yang Diserap Oleh *Buoy* dengan Panjang 1 Meter (Lanjutan).

m(kg)			I <sub>y</sub> (kgm <sup>2</sup> )				T <sub>bit</sub>	ω <sub>θ</sub>	ω	H	M <sub>θ</sub>			M <sub>0</sub>	Δ <sub>θ</sub>	σ <sub>θ</sub>	δ	θ	θ <sub>0</sub>	Total Energi Pitching
m <sub>ac</sub>	m <sub>b</sub>	mtot	I <sub>yA</sub>	I <sub>yB</sub>	I <sub>yC</sub>	I <sub>yTot</sub>	(s)	rad/s	rad/s	m	Persegi	silinder	Total							
8.9	1.7	19.5	0.0	0.0	0.0	0.1	1.2	1.3	12.6	0.2	0.0	-1.3	-2.5	791.1		9.7		-0.5	0.6	2.6
8.9	1.7	19.5	0.0	0.0	0.0	0.1	1.2	1.4	6.3	0.2	0.0	-1.3	-2.5	791.1		4.5		-0.6	2.7	60.1
8.9	1.7	19.5	0.0	0.0	0.0	0.1	1.2	1.6	4.2	0.2	0.0	-1.3	-2.5	791.1	0.1	2.5		-7.2	8.8	649.8
8.9	1.7	19.5	0.0	0.0	0.0	0.1	1.2	1.8	3.1	0.2	0.0	-1.3	-2.5	791.1		1.7		-4.5	25.4	5482.9
8.9	1.7	19.5	0.0	0.0	0.0	0.1	1.2	2.1	2.5	0.2	0.0	-1.3	-2.5	791.1		1.2		43.7	120.5	127846.9
8.9	1.7	19.5	0.0	0.0	0.0	0.1	1.2	2.5	2.1	0.2	0.0	-1.3	-2.5	791.1		0.8		115.9	173.7	280646.5
8.9	1.7	19.5	0.0	0.0	0.0	0.1	1.2	3.1	1.8	0.2	0.0	-1.3	-2.5	791.1		0.6		65.2	78.1	62198.2
8.9	1.7	19.5	0.0	0.0	0.0	0.1	1.2	4.2	1.6	0.2	0.0	-1.3	-2.5	791.1		0.4		56.1	60.4	45031.7
8.9	1.7	19.5	0.0	0.0	0.0	0.1	1.2	6.3	1.4	0.2	0.0	-1.3	-2.5	791.1		0.2		53.2	54.6	54531.9
8.9	1.7	19.5	0.0	0.0	0.0	0.1	1.2	12.6	1.3	0.2	0.0	-1.3	-2.5	791.1		0.1		52.2	52.4	138368.7

Tabel 4.18 Analisis besarnya energy gelombang laut yang diserap oleh *buoy* dengan panjang 2 meter.

T	l	P	g	L(m)		B	Z(m)		p	D	L/d	K <sub>1</sub>	d(m)		C(Nm)				I <sub>w</sub> (kgm <sup>2</sup> )			
	(m)	(kg/m <sup>3</sup> )	(m/s <sup>2</sup> )	L <sub>all</sub>	L <sub>B</sub>	(m)	Z <sub>AC</sub>	Z <sub>B</sub>		(m)			d <sub>AC</sub>	d <sub>B</sub>	C <sub>A</sub>	C <sub>B</sub>	C <sub>C</sub>	C <sub>tot</sub>	I <sub>wA</sub>	I <sub>wB</sub>	I <sub>wC</sub>	I <sub>wTot</sub>
0.5	2.00	1021.769	9.81	2.00	0.67	0.10	0.7	0.10	3.14	0.7	13	0.9	0.3	0.05	97.14	24.75	97.14	219.03	4.40	2.98	4.40	11.78
1.0	2.00	1021.769	9.81	2.00	0.67	0.10	0.7	0.10	3.14	0.7	13	0.9	0.3	0.05	97.14	24.75	97.14	219.03	4.40	2.98	4.40	11.78
1.5	2.00	1021.769	9.81	2.00	0.67	0.10	0.7	0.10	3.14	0.7	13	0.9	0.3	0.05	97.14	24.75	97.14	219.03	4.40	2.98	4.40	11.78
2.0	2.00	1021.769	9.81	2.00	0.67	0.10	0.7	0.10	3.14	0.7	13	0.9	0.3	0.05	97.14	24.75	97.14	219.03	4.40	2.98	4.40	11.78
2.5	2.00	1021.769	9.81	2.00	0.67	0.10	0.7	0.10	3.14	0.7	13	0.9	0.3	0.05	97.14	24.75	97.14	219.03	4.40	2.98	4.40	11.78
3.0	2.00	1021.769	9.81	2.00	0.67	0.10	0.7	0.10	3.14	0.7	13	0.9	0.3	0.05	97.14	24.75	97.14	219.03	4.40	2.98	4.40	11.78
3.5	2.00	1021.769	9.81	2.00	0.67	0.10	0.7	0.10	3.14	0.7	13	0.9	0.3	0.05	97.14	24.75	97.14	219.03	4.40	2.98	4.40	11.78
4.0	2.00	1021.769	9.81	2.00	0.67	0.10	0.7	0.10	3.14	0.7	13	0.9	0.3	0.05	97.14	24.75	97.14	219.03	4.40	2.98	4.40	11.78
4.5	2.00	1021.769	9.81	2.00	0.67	0.10	0.7	0.10	3.14	0.7	13	0.9	0.3	0.05	97.14	24.75	97.14	219.03	4.40	2.98	4.40	11.78
5.0	2.00	1021.769	9.81	2.00	0.67	0.10	0.7	0.10	3.14	0.7	13	0.9	0.3	0.05	97.14	24.75	97.14	219.03	4.40	2.98	4.40	11.78

Tabel 4.18 Analisis besarnya energy gelombang laut yang diserap oleh *buoy* dengan panjang 2 meter (lanjutan).

m(kg)			I <sub>y</sub> (kgm <sup>2</sup> )				T <sub>qhit</sub>	ω <sub>q</sub>	ω	H	M <sub>q</sub>			M <sub>0</sub>	D <sub>q</sub>	s <sub>q</sub>	d	q	q <sub>0</sub>	Total Energi Pitching
m <sub>ac</sub>	m <sub>b</sub>	mtot	I <sub>yA</sub>	I <sub>yB</sub>	I <sub>yC</sub>	I <sub>yTot</sub>	(s)	rad/s	rad/s	m	Persegi	silinder	total							
35.6	3.4	74.7	0.1	0.1	0.1	0.4	1.5	1.3	12.6	0.2	-0.1	-5.0	-10.1	3162.6		9.7		-0.2	0.2	2.9
35.6	3.4	74.7	0.1	0.1	0.1	0.4	1.5	1.4	6.3	0.2	-0.1	-5.0	-10.1	3162.6		4.5		-0.2	0.8	69.2
35.6	3.4	74.7	0.1	0.1	0.1	0.4	1.5	1.6	4.2	0.2	-0.1	-5.0	-10.1	3162.6	0.1	2.5		-2.0	2.5	756.6
35.6	3.4	74.7	0.1	0.1	0.1	0.4	1.5	1.8	3.1	0.2	-0.1	-5.0	-10.1	3162.6		1.7		-1.2	7.1	6452.6
35.6	3.4	74.7	0.1	0.1	0.1	0.4	1.5	2.1	2.5	0.2	-0.1	-5.0	-10.1	3162.6		1.2		12.2	33.5	153061.6
35.6	3.4	74.7	0.1	0.1	0.1	0.4	1.5	2.5	2.1	0.2	-0.1	-5.0	-10.1	3162.6		0.8		32.2	48.3	344201.7
35.6	3.4	74.7	0.1	0.1	0.1	0.4	1.5	3.1	1.8	0.2	-0.1	-5.0	-10.1	3162.6		0.6		18.1	21.7	79148.8
35.6	3.4	74.7	0.1	0.1	0.1	0.4	1.5	4.2	1.6	0.2	-0.1	-5.0	-10.1	3162.6		0.4		15.6	16.8	61033.3
35.6	3.4	74.7	0.1	0.1	0.1	0.4	1.5	6.3	1.4	0.2	-0.1	-5.0	-10.1	3162.6		0.2		14.8	15.2	80826.1
35.6	3.4	74.7	0.1	0.1	0.1	0.4	1.5	12.6	1.3	0.2	-0.1	-5.0	-10.1	3162.6		0.1		14.5	14.6	228374.5

Dari hasil analisis energy gelombang laut yang diserap oleh *buoy*, *buoy* dengan 1 meter mampu menyerap energy gelombang laut hingga 138 kN. Sedangkan pada *buoy* dengan panjang 2 meter mampu menyerap energy gelombang laut sebesar 80 kN. Dari hasil analisa dapat disimpulkan bahwa, semakin besar panjang *buoy* maka semakin kecil energi yang dihasilkan, karena tahanan yang dihasilkan *buoy* semakin besar.

# LAMPIRAN



**Hasil simulasi RAO pada Single Buoy dengan panjang 1 meter.**

Draft = 0.1 Meters  
 Trim Angle = 0.00 Deg.  
 Roll Gy. Radius = 0.1 Meters  
 Pitch Gy. Radius = 0.6 Meters  
 Yaw Gy. Radius = 0.6 Meters  
 Heading = 0.00 Deg.

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

Of Point On Body BUOY At X = 0.5 Y = 0.0 Z = 0.1

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

ENCOUNTER		Surge /	Sway /	Heave /	Roll /	Pitch /	Yaw /
-----		Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.
Wave Ampl.							
Frequency	Period	/-----/		/-----/		/-----/	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
Ampl.	Phase						
1.2566	5.00	1.198	128	0.000	0	0.234	9
1.3963	4.50	1.172	128	0.000	0	0.230	11
1.5708	4.00	1.140	129	0.000	0	0.224	14
1.7952	3.50	1.075	122	0.000	0	0.207	19
2.0944	3.00	1.031	133	0.000	0	0.210	26
2.5133	2.50	0.778	134	0.000	0	0.262	21
3.1416	2.00	0.513	130	0.000	0	0.365	17
4.1888	1.50	0.287	117	0.000	0	0.705	13
6.2832	1.00	1.099	-143	0.000	0	1.241	-138
12.5664	0.50	0.128	-156	0.000	0	0.107	-145

**Hasil simulasi RAO pada Single Buoy dengan panjang 1 meter.**

Draft = 0.1 Meters  
 Trim Angle = 0.00 Deg.  
 Roll Gy. Radius = 0.1 Meters  
 Pitch Gy. Radius = 0.6 Meters  
 Yaw Gy. Radius = 0.6 Meters  
 Heading = 45.00 Deg.

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS+++

Of Point On Body BUOY At X = 0.5 Y = 0.0 Z = 0.1

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

ENCOUNTER		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
-----		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
Wave Ampl.		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/	
Frequency	Period	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-												
Ampl.	Phase												
1.2566	5.00	0.996	138	0.724	91	0.232	6	7.199	91	27.345	2	2.429	133
1.3963	4.50	0.980	139	0.723	91	0.227	8	8.830	91	27.566	2	2.477	139
1.5708	4.00	0.960	140	0.722	92	0.220	10	11.102	92	27.901	3	2.921	147
1.7952	3.50	0.917	132	0.559	102	0.201	14	9.768	104	27.056	3	20.102	-
126													
2.0944	3.00	0.896	144	0.722	93	0.197	21	19.369	93	29.486	7	4.738	160
2.5133	2.50	0.665	145	0.564	111	0.248	18	21.091	110	39.411	7	20.391	
170													
3.1416	2.00	0.421	142	0.418	125	0.346	16	23.191	124	64.328	7	23.789	
173													
4.1888	1.50	0.213	129	0.270	135	0.660	14	24.205	134	299.429	8	18.993	
176													
6.2832	1.00	1.026	-139	0.132	144	1.143	-135	21.401	142	15.996	70	10.445	-
179													
12.5664	0.50	0.117	-149	0.034	151	0.097	-141	10.695	149	4.683	-151	2.873	
-173													

**Hasil simulasi RAO pada Single Buoy dengan panjang 1 meter.**

Draft = 0.1 Meters  
 Trim Angle = 0.00 Deg.  
 Roll Gy. Radius = 0.1 Meters  
 Pitch Gy. Radius = 0.6 Meters  
 Yaw Gy. Radius = 0.6 Meters  
 Heading = 90.00 Deg.

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS+++

=====

Of Point On Body BUOY At X = 0.5 Y = 0.0 Z = 0.1

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

ENCOUNTER	Surge / Wave Ampl.	Sway / Wave Ampl.	Heave / Wave Ampl.	Roll / Wave Ampl.	Pitch / Wave Ampl.	Yaw / Wave Ampl.
Wave Ampl.						
Frequency	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/
-(Rad/Sec)-	Ampl.	Ampl.	Ampl.	Ampl.	Ampl.	Ampl.
Period	Phase	Phase	Phase	Phase	Phase	Phase
-(Sec)-						
Ampl.	Phase					
1.2566	5.00	0.745 -178	1.023 90	0.229 1	10.177 90	27.236 1
1.3963	4.50	0.741 -178	1.021 90	0.223 1	12.483 90	27.404 1
1.5708	4.00	0.740 -178	1.018 90	0.214 1	15.674 90	27.653 1
1.7952	3.50	0.698 170	0.775 99	0.196 1	13.459 100	27.397 0
115						
2.0944	3.00	0.745 -177	1.009 90	0.179 5	27.055 90	28.822 4
2.5133	2.50	0.539 -172	0.775 108	0.222 9	28.984 107	37.335 7
170						
3.1416	2.00	0.318 -167	0.572 123	0.300 13	31.655 122	58.537 12
173						
4.1888	1.50	0.130 -158	0.369 134	0.550 17	33.014 133	258.192 16
177						
6.2832	1.00	0.859 -127	0.181 143	0.906 -126	29.243 141	9.216 77
178						
12.5664	0.50	0.097 -128	0.046 150	0.073 -127	14.652 149	3.845 -134
-172						

**Hasil simulasi RAO pada Single Buoy dengan panjang 1 meter.**

Draft = 0.1 Meters  
 Trim Angle = 0.00 Deg.  
 Roll Gy. Radius = 0.1 Meters  
 Pitch Gy. Radius = 0.6 Meters  
 Yaw Gy. Radius = 0.6 Meters  
 Heading = 135.00 Deg.

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS+++

=====

Of Point On Body BUOY At X = 0.5 Y = 0.0 Z = 0.1

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

ENCOUNTER	Surge / Wave Ampl.	Sway / Wave Ampl.	Heave / Wave Ampl.	Roll / Wave Ampl.	Pitch / Wave Ampl.	Yaw / Wave Ampl.
Wave Ampl.						
Frequency Period /-----/ /-----/ /-----/ /-----/ /-----/ /-----/						
-(Rad/Sec)- -(Sec)-	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase
Ampl. Phase						
1.2566 5.00	0.999 -136	0.722 89	0.230 -4	7.187 89	27.155 0	2.199 46
1.3963 4.50	0.985 -136	0.720 89	0.224 -5	8.810 89	27.290 0	2.495 33
1.5708 4.00	0.966 -137	0.717 88	0.215 -7	11.042 88	27.486 0	2.895 21
1.7952 3.50	0.853 -147	0.533 95	0.204 -10	9.219 96	28.014 -2	18.069 -
102						
2.0944 3.00	0.911 -139	0.700 86	0.183 -12	18.758 86	28.430 0	5.342 -7
2.5133 2.50	0.688 -133	0.529 105	0.207 -2	19.769 104	35.157 7	13.470
172						
3.1416 2.00	0.458 -122	0.389 121	0.257 8	21.463 120	52.472 16	19.434
175						
4.1888 1.50	0.269 -107	0.251 133	0.437 20	22.395 132	217.674 25	16.630
178						
6.2832 1.00	0.713 -112	0.123 143	0.678 -114	19.899 141	2.687 107	9.474 -
177						
12.5664 0.50	0.090 -102	0.032 150	0.053 -106	10.007 148	3.313 -112	2.666
-171						

**Hasil simulasi RAO pada Single Buoy dengan panjang 1 meter.**

Draft = 0.1 Meters

Trim Angle = 0.00 Deg.

Roll Gy. Radius = 0.1 Meters

Pitch Gy. Radius = 0.6 Meters

Yaw Gy. Radius = 0.6 Meters

Heading = 180.00 Deg.

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS+++

=====

Of Point On Body BUOY At X = 0.5 Y = 0.0 Z = 0.1

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

ENCOUNTER	Surge / Wave Ampl.	Sway / Wave Ampl.	Heave / Wave Ampl.	Roll / Wave Ampl.	Pitch / Wave Ampl.	Yaw / Wave Ampl.							
Wave Ampl.													
Frequency -(Rad/Sec)-	Period -(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase		
1.2566	5.00	1.201	-126	0.000	0	0.231	-7	0.000	0	27.131	0	0.001	40
1.3963	4.50	1.177	-126	0.000	0	0.225	-8	0.000	0	27.256	-1	0.002	51
1.5708	4.00	1.147	-126	0.000	0	0.218	-11	0.000	0	27.439	-1	0.002	63
1.7952	3.50	1.005	-135	0.000	0	0.211	-15	0.000	0	28.350	-3	0.002	41
2.0944	3.00	1.046	-128	0.000	0	0.192	-19	0.000	0	28.355	-1	0.001	42
2.5133	2.50	0.804	-122	0.000	0	0.205	-8	0.000	0	34.217	7	0.001	41
3.1416	2.00	0.555	-112	0.000	0	0.240	5	0.000	0	49.839	18	0.000	0
4.1888	1.50	0.347	-99	0.000	0	0.388	21	0.001	34	201.126	30	0.001	58
6.2832	1.00	0.662	-104	0.000	0	0.588	-107	0.002	70	1.742	-172	0.001	46
12.5664	0.50	0.091	-90	0.000	0	0.047	-92	0.000	0	3.220	-101	0.000	0

**Hasil simulasi RAO pada Single Buoy dengan panjang 2 meter.**

Draft = 0.3 Meters  
 Trim Angle = 0.00 Deg.  
 Roll Gy. Radius = 0.1 Meters  
 Pitch Gy. Radius = 1.2 Meters  
 Yaw Gy. Radius = 1.2 Meters  
 Heading = 0.00 Deg.

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

=====

Of Point On Body BUOY At X = 1.0 Y = 0.0 Z = 0.3

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

ENCOUNTER		Surge /	Sway /	Heave /	Roll /	Pitch /	Yaw /						
-----		Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.						
Wave Ampl.													
Frequency	Period	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
Ampl.	Phase												
1.2566	5.00	1.173	67	0.000	0	1.072	7	0.005	-58	26.107	-8	0.002	152
1.3963	4.50	1.202	65	0.000	0	1.099	8	0.023	5	26.462	-9	0.005	179
1.5708	4.00	1.252	63	0.000	0	1.128	10	0.018	6	27.664	-12	0.004	174
1.7952	3.50	1.316	57	0.000	0	1.171	13	0.061	-4	27.291	-18	0.011	174
2.0944	3.00	1.452	53	0.000	0	1.262	15	0.023	25	33.470	-24	0.003	-145
2.5133	2.50	1.704	18	0.000	0	1.717	4	0.096	-90	31.614	-57	0.017	87
3.1416	2.00	1.359	-23	0.001	26	2.533	-16	0.193	-153	90.768	-170	0.035	
25													
4.1888	1.50	1.074	-166	0.000	0	0.503	-93	0.097	-14	56.514	176	0.018	
164													
6.2832	1.00	0.384	170	0.000	0	0.172	-126	0.085	-38	13.385	154	0.016	
141													
12.5664	0.50	0.082	156	0.000	0	0.036	-135	0.028	-53	2.461	138	0.005	
125													

**Hasil simulasi RAO pada Single Buoy dengan panjang 2 meter.**

Draft = 0.3 Meters

Trim Angle = 0.00 Deg.

Roll Gy. Radius = 0.1 Meters

Pitch Gy. Radius = 1.2 Meters

Yaw Gy. Radius = 1.2 Meters

Heading = 45.00 Deg.

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS+++

Of Point On Body BUOY At X = 1.0 Y = 0.0 Z = 0.3

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

ENCOUNTER		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
-----		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
Wave Ampl.		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/	
Frequency	Period	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-												
Ampl.	Phase												
1.2566	5.00	0.890	59	0.631	92	1.064	5	1.136	66	25.967	-5	3.665	-106
1.3963	4.50	0.920	56	0.618	92	1.090	6	0.812	18	26.203	-6	4.333	-107
1.5708	4.00	0.971	54	0.601	93	1.116	7	1.817	-44	27.124	-8	5.186	-108
1.7952	3.50	1.057	47	1.116	66	1.160	9	199.047	-133	26.462	-13	30.147	
39													
2.0944	3.00	1.183	43	0.552	96	1.235	10	9.761	-66	31.121	-18	7.946	-114
2.5133	2.50	1.655	10	1.072	8	1.730	0	294.482	169	25.604	-48	54.637	-16
3.1416	2.00	1.415	-20	1.733	-5	2.697	-17	467.752	167	94.996	178	87.136	-
15													
4.1888	1.50	1.168	-168	1.763	-10	0.411	-93	465.913	165	62.531	176	86.974	
-15													
6.2832	1.00	0.426	172	1.189	-12	0.155	-133	309.673	164	14.879	159	57.866	
-15													
12.5664	0.50	0.092	160	0.399	-12	0.034	-144	103.105	165	2.754	145	19.274	
-15													

**Hasil simulasi RAO pada Single Buoy dengan panjang 2 meter.**

Draft = 0.3 Meters  
 Trim Angle = 0.00 Deg.  
 Roll Gy. Radius = 0.1 Meters  
 Pitch Gy. Radius = 1.2 Meters  
 Yaw Gy. Radius = 1.2 Meters  
 Heading = 90.00 Deg.

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS+++

=====

Of Point On Body BUOY At X = 1.0 Y = 0.0 Z = 0.3

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

ENCOUNTER	Surge / Wave Ampl.	Sway / Wave Ampl.	Heave / Wave Ampl.	Roll / Wave Ampl.	Pitch / Wave Ampl.	Yaw / Wave Ampl.
Wave Ampl.						
Frequency -(Rad/Sec)-	Period -(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.
Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.
1.2566	5.00	0.467	0	0.892	90	1.057
1.3963	4.50	0.513	-1	0.873	90	1.082
1.5708	4.00	0.579	-1	0.850	91	1.105
1.7952	3.50	0.721	-1	1.628	71	1.145
2.0944	3.00	0.865	-3	0.780	92	1.212
2.5133	2.50	1.704	-10	1.535	23	1.800
3						
3.1416	2.00	1.595	-13	2.340	9	3.103
-1						
4.1888	1.50	1.374	-173	2.361	4	0.184
-1						
6.2832	1.00	0.519	176	1.597	2	0.120
-1						
12.5664	0.50	0.115	169	0.541	1	0.029
0						



**Hasil simulasi RAO pada Single Buoy dengan panjang 2 meter.**

Draft = 0.3 Meters  
 Trim Angle = 0.00 Deg.  
 Roll Gy. Radius = 0.1 Meters  
 Pitch Gy. Radius = 1.2 Meters  
 Yaw Gy. Radius = 1.2 Meters  
 Heading = 135.00 Deg.

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS+++

=====

Of Point On Body BUOY At X = 1.0 Y = 0.0 Z = 0.3

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

ENCOUNTER	Surge / Wave Ampl.	Sway / Wave Ampl.	Heave / Wave Ampl.	Roll / Wave Ampl.	Pitch / Wave Ampl.	Yaw / Wave Ampl.
Wave Ampl.						
Frequency Period /-----/ /-----/ /-----/ /-----/ /-----/ /-----/						
-(Rad/Sec)- -(Sec)-	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase
Ampl. Phase						
1.2566 5.00	0.911 -58	0.631 89	1.065 -5	1.236 56	25.955 7	3.612 -76
1.3963 4.50	0.954 -56	0.618 88	1.092 -7	1.109 10	26.220 9	4.239 -75
1.5708 4.00	1.012 -54	0.601 88	1.119 -9	2.284 -38	27.169 12	5.015 -75
1.7952 3.50	1.107 -48	1.206 75	1.169 -12	198.583 -112	27.869 13	31.132
58						
2.0944 3.00	1.269 -46	0.551 88	1.250 -17	10.837 -60	31.662 24	7.371 -76
2.5133 2.50	1.970 -28	1.185 35	1.924 -21	263.560 -160	31.729 43	49.297
11						
3.1416 2.00	1.867 -6	1.730 23	3.547 -18	427.209 -163	150.163 139	79.832
13						
4.1888 1.50	1.570 -178	1.733 19	0.088 47	435.632 -164	92.479 178	81.461
13						
6.2832 1.00	0.610 178	1.177 17	0.108 167	296.805 -165	23.338 173	55.522
13						
12.5664 0.50	0.139 173	0.402 16	0.029 165	101.344 -165	4.649 166	18.959
13						

**Hasil simulasi RAO pada Single Buoy dengan panjang 2 meter.**

Draft = 0.3 Meters  
 Trim Angle = 0.00 Deg.  
 Roll Gy. Radius = 0.1 Meters  
 Pitch Gy. Radius = 1.2 Meters  
 Yaw Gy. Radius = 1.2 Meters  
 Heading = 180.00 Deg.

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS+++

=====

Of Point On Body BUOY At X = 1.0 Y = 0.0 Z = 0.3

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

ENCOUNTER	Surge / Wave Ampl.	Sway / Wave Ampl.	Heave / Wave Ampl.	Roll / Wave Ampl.	Pitch / Wave Ampl.	Yaw / Wave Ampl.
Wave Ampl.						
Frequency -(Rad/Sec)-	Period -(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.
Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.
1.2566	5.00	1.197	-66	0.000	0	1.070
1.3963	4.50	1.241	-65	0.000	0	1.100
1.5708	4.00	1.302	-63	0.000	0	1.135
1.7952	3.50	1.386	-58	0.000	0	1.198
2.0944	3.00	1.558	-55	0.000	0	1.285
2.5133	2.50	2.129	-33	0.000	0	1.989
3.1416	2.00	2.014	-3	0.001	-20	3.738
20						
4.1888	1.50	1.641	179	0.001	-162	0.200
162						
6.2832	1.00	0.643	178	0.000	0	0.114
12.5664	0.50	0.148	174	0.000	0	0.030

**Hasil simulasi RAO pada Single Buoy dengan panjang 2 meter.**

Draft = 0.3 Meters  
 Trim Angle = 0.00 Deg.  
 Roll Gy. Radius = 0.1 Meters  
 Pitch Gy. Radius = 1.2 Meters  
 Yaw Gy. Radius = 1.2 Meters

+++ ADDED INERTIA COEFFICIENTS +++

=====

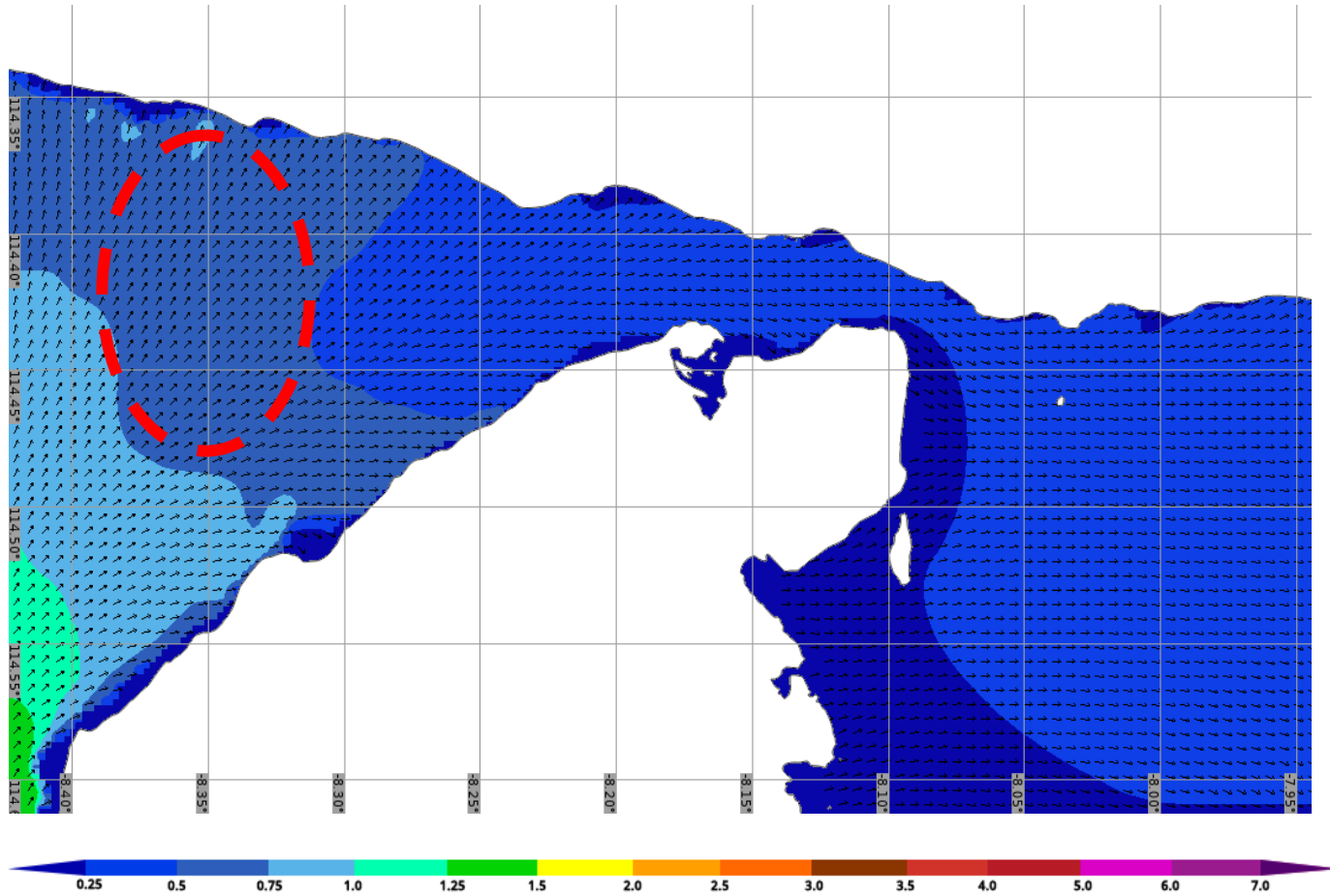
Of Point On Body BUOY At X = 1.0 Y = 0.0 Z = 0.3

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

Encounter Period /-----	Values Normalized By Mass of Apearent Weight = 0.8					
Sec.	-Surge-	-Sway -	-Heave-	-Roll -	-Pitch-	--Yaw--
5.00	-37.1784	-1144.2853	-14.0701	15.0	-4.8	-47.8
4.50	-32.0388	-993.7546	-10.9396	14.6	-4.4	-45.8
4.00	-25.2085	-804.6518	-7.0736	14.1	-3.8	-43.3
3.50	-19.8460	-580.1621	-4.7381	13.5	-3.3	-40.1
3.00	-12.6959	-280.8424	-1.6241	12.7	-2.6	-35.3
2.50	-12.6959	-280.8424	-1.6241	12.7	-2.6	-35.3
2.00	-12.6959	-280.8424	-1.6241	12.7	-2.6	-35.3
1.50	-12.6959	-280.8424	-1.6241	12.7	-2.6	-35.3
1.00	-12.6959	-280.8424	-1.6241	12.7	-2.6	-35.3
0.50	-12.6959	-280.8424	-1.6241	12.7	-2.6	-35.3



**BMKG** Selat Bali » Significant Wave Height



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Untuk menjawab perumusan masalah dalam penelitian ini, dapat diambil beberapa kesimpulan dari hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan, yaitu:

1. Dimensi *buoy* yang digunakan dalam penelitian ini dengan variasi panjang dan diameter *buoy*, yaitu panjang dengan 1 meter dan 2 meter. Sedangkan variasi diameter dari *buoy* diperoleh dengan  $\frac{1}{3}$  dan  $\frac{1}{4}$  dari panjang *buoy*, dan tebal *buoy* dengan  $\frac{1}{3}$  dari diameter *buoy*.
2. Gerakan *pitch* yang terbesar pada *buoy* dengan panjang 1 meter terjadi pada *heading*  $0^\circ$  dengan periode 1,5 detik, frekuensi 4,2 rad/s yaitu sebesar 316,6 meter. Untuk gerakan *pitch* terkecil terjadi saat *heading*  $180^\circ$  sebesar 217,67 meter.
3. Untuk *buoy* dengan panjang 2 meter, gerakan *pitch* terbesar terjadi pada *heading*  $180^\circ$  dengan periode 2 detik, frekuensi 3,14 yaitu sebesar 166,58 meter. Sedangkan gerakan *pitch* terkecil terjadi saat *heading*  $0^\circ$  sebesar 90,77 meter.
4. Pola aliran di sekitar *buoy* 1 meter dengan kedalaman 3 meter saat diam merupakan aliran vortex turbulen karena nilai  $Re$  berada di  $300 < Re < 3 \times 10^5$  yaitu  $Re$  1388 pada frekuensi 1,4 rad/s. Pola aliran pada benda bergerak *pitch* adalah lapisan batas laminar yang mengalami perubahan menjadi turbulen dan aliran gelombang menjadi lebih sempit dan tidak teratur, karena nilai  $Re$  berada di  $3 \times 10^5 < Re < 3.5 \times 10^6$ . yaitu  $Re$  712034.
5. Hasil Uji Numerik *Reynold Number* pada panjang *buoy* 2 meter dengan kedalaman laut 3 meter saat diam merupakan aliran vortex turbulen karena nilai  $Re$  berada di  $300 < Re < 3 \times 10^5$  yaitu  $Re$  1500. Pola aliran pada benda bergerak *pitch* adalah aliran vortex turbulen, karena nilai  $Re$  berada di  $300 < Re < 3 \times 10^5$ . yaitu  $Re$  1349305.

6. Dari hasil analisis energi gelombang laut yang diserap oleh *buoy*, *buoy* dengan 1 meter mampu menyerap energy gelombang laut hingga 138 kN. Sedangkan pada *buoy* dengan panjang 2 meter mampu menyerap energy gelombang laut sebesar 80 kN. Semakin besar panjang *buoy* makan semakin kecil anergi yang dihasilkan, karena tahanan yang dihasilkan *buoy* semakin besar.

## 5.2 Saran

Beberapa hal yang dapat disarankan pada akhir dari tesis ini adalah:

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan uji eksperimen di perairan dangkal.
2. Permodelan CFD dipengaruhi beberapa faktor yaitu diperlukan spesifikasi komputer yang besar, *meshing/grid size* dan lain-lain. Faktor-faktor tersebut akan sangat berpengaruh terhadap hasil simulasi. Studi yang lebih spesifik sangat diperlukan agar diperoleh hasil yang optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Balitbang Ketenagalistrikan PLN dan LPPM ITS, "Studi Pemodelan dan Simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut-Sistem Bandulan (PLTGL-SB)," Surabaya: ITS (2010).
- Blevins, R. D., 2001, *Flow-Induced Vibration*, Krieger Publishing Company, Florida.
- Chakrabarti, S. K. 1987. "Handbook of offshore Engineering: Offshore Structure Analysis". New York: Plainfield, IL USA.
- Djarmiko, E.B. 2012, "Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hutabarat, S., Evans, S., 1984, *Pengantar Oseanografi*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Indiyono, P. 2010. *Hidrodinamika Dasar Bangunan Laut*. Jurusan Teknik Kelautan-FTK. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Lienhard, J. H., 1966, *Synopsis of Lift, Drag and Vortex Frequency Data for Rigid Circular Cylinders*, Washington State University, College of Engineering, Research Division Bulletin 300.
- MCCormick, M.E., 1981, *Ocean Wave Energy Conversion*, New York, Cambridge University.
- MCCormick, M.E., 2010, *Ocean Engineering Mechanics with Applications*, New York, Cambridge University.
- Munson, B.R., Young, D.F., dan Okiishi, T.H., 2002, *Fundamentals of Fluid Mechanics*, ISBN 0-471-44250-X.
- Rachmawati, E., & Adhi, R. K., (2011, September 19), *Kebutuhan Listrik Tumbuh 5500 MW Per Tahun*. Dikutip 2014, Maret 19, dari Kompas Online: [http://bisniskeuangan.kompas.com/read/2011/09/19/16025971/Kebutuhan\\_Listrik\\_Tumbuh\\_5500\\_MW\\_Per\\_Tahun](http://bisniskeuangan.kompas.com/read/2011/09/19/16025971/Kebutuhan_Listrik_Tumbuh_5500_MW_Per_Tahun).
- Samskerta, P., 2012, *Pemanfaatan Energi Gelombang Laut dengan Pompa Gelombang Flap Horizontal*. Jurnal Energi Gelombang. Bandung: Balai Pantai-Puslitbang Sumber Daya Air.

- Wijaya, A., 2010, *Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Teknologi Oscilating Water Column di Perairan Bali*, Tesis, Bali: Universitas Udayana.
- Yamamoto, C. T., dkk., 2004, Numerical Simulations of Vortex-Induced Vibration on Flexible Cylinders, *Journal of Fluids and Structures* 19: 467- 489.
- Zamrisyaf., (2010, September 3), *Zamrisyaf: Penemu Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandulan*. Dikutip 2014, Maret 19, dari: [Zamrisyaf%20%20Penemu%20Listrik%20Tenaga%20Gelombang%20Laut%20Sistem%20Bandulan%20\\_%20Indonesia%20Proud.htm](#).



## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Triyanti Irmiyana, kelahiran Sumenep, Propinsi Jawa Timur pada tanggal 23 Mei 1988, merupakan anak bungsu dari 3 bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan formalnya yaitu TK Pertiwi, SD Negeri Tanamera 1 Saronggi, SMP Negeri 1 Saronggi, SMA Negeri 1 Sumenep. Setelah tamat dari SMA penulis mengambil Jurusan *Marine Engineering* di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya pada tahun 2006, melanjutkan S1 di Lintas Jalur Teknik Sistem Perkapalan-ITS pada tahun 2009. Setelah lulus S1, penulis bekerja di PT. Meratus Line Surabaya. Kemudian melanjutkan S2 Teknik Perancangan Bangunan Laut-ITS pada tahun 2012. Di akhir masa kuliahnya, penulis mengambil tema Tesis mengenai analisis gerakan konfigurasi *buoy* untuk penyerapan energi gelombang laut. Saat ini penulis merupakan salah satu tenaga pendidik di Politeknik Negeri Madura program studi Teknik Bangunan Kapal.

### **Motto:**

“Selalu ada hikmah di balik ujian yang diberikan oleh Allah SWT, jangan pernah berhenti untuk belajar, berusaha, dan berdoa serta buatlah orang tua kita tersenyum walaupun kita tidak akan pernah bisa membalas jasa mereka.”