



TUGAS AKHIR - MO 141326

**ANALISA PEMODELAN PLTGL TIPE TWIN CHAMBER
DENGAN VARIASI KOLOM MENGGUNAKAN CFD**

Rizkhi Nurirawan

NRP. 04311240000094

DOSEN PEMBIMBING:

Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

2018



TUGAS AKHIR - MO 141326

**ANALISA PEMODELAN PLTGL TIPE TWIN CHAMBER
DENGAN VARIASI KOLOM MENGGUNAKAN CFD**

Rizkhi Nurirawan

NRP. 04311240000094

DOSEN PEMBIMBING:

Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018



FINAL PROJECT - MO 141326

**PLTGL MODELING ANALYSIS OF TWIN CHAMBER TYPE
WITH VARIATION COLUMN USING CFD**

Rizkhi Nurirawan

REG. NUMBER 0431124000094

SUPERVISORS:

Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

DEPARTEMENT OF OCEAN ENGINEERING

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SURABAYA

2018

**ANALISA PEMODELAN PLTGL TIPE TWIN CHAMBER DENGAN
VARIASI KOLOM MENGGUNAKAN CFD**

TUGAS AKHIR


Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Disusun oleh :

Rizkhi Nurirawan

NRP. 0431124000094

Disetujui oleh

- 
1. Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D. (Pembimbing 1)
 2. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. (Pembimbing 2)
 3. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc. (Penguji 1)
 4. Dr. Ir. Wahyudi (Penguji 2)

Surabaya, Januari 2018

**ANALISA PEMODELAN PLTGL TIPE TWIN CHAMBER DENGAN
VARIASI KOLOM MENGGUNAKAN CFD**

Nama : Rizkhi Nurirawan
NRP : 0431124000094
Departemen : Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D
Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

ABSTRAK

Energi gelombang laut merupakan salah satu sumber energi terbarukan. Telah banyak penelitian dalam skala laboratorium maupun skala industry telah dilakukan. Diantaranya adalah teknologi pembangkit listrik tenaga gelombang laut yang memanfaatkan osilasi gelombang air laut dalam suatu kolom untuk menggerakkan turbin. Pada penelitian ini, menggunakan pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan sistem osilasi pada tipe dua kolom, yakni kolom inlet dan kolom outlet. Kemudian dilakukan pemodelan menggunakan software OpenFOAM yang berbasis Computational Fluid Dynamic dengan lisensi open source. Pemodelan dilakukan dengan memodelkan dua tipe model dengan ketinggian kolom yang berbeda. Model A dengan ketinggian kolom (H_k) 1,25 m dan model B dengan ketinggian kolom (H_k) 1,55 m atau model B 27,05 % lebih tinggi daripada model A. Skenario kondisi gelombang yang diberikan ada dua. Skenario gelombang pertama $H_1/gT^2 = 0,00030$ dan skenario gelombang kedua $H_2/gT^2 = 0,00045$. Berdasarkan analisa hasil simulasi PLTGL Twin Chamber menunjukkan model A, dengan tinggi kolom lebih rendah daripada model B, nilai kecepatan dan tekanan aliran fluida yang melalui orifice lebih besar dibanding dengan model B, untuk skenario gelombang H_1/gT^2 dan skenario gelombang H_2/gT^2 . Tekanan aliran yang melalui orifice paling besar adalah pada skenario gelombang H_1/gT^2 dan kecepatan aliran yang melalui orifice paling besar adalah pada skenario gelombang H_2/gT^2 . Nilai potensi daya yang dihasilkan PLTGL Twin Chamber, pada kedua skenario

gelombang menunjukkan bahwa potensi daya model A lebih besar daripada model B. Rata-rata efisiensi daya pada model A adalah 0,47 %, lebih besar daripada model B yang hanya 0,27 %. Sehingga potensi daya yang dihasilkan oleh model A ketika diaplikasikan pada kondisi perairan sebenarnya, lebih besar daripada model B.

Kata kunci: energi gelombang laut, kolom inlet, kolom outlet, OpenFOAM, *computational fluid dynamic* (CFD)

PLTGL MODELING ANALYSIS OF TWIN CHAMBER TYPE WITH VARIATION COLUMN USING CFD

Name : Rizkhi Nurirawan
Reg. Number : 0431124000094
Departement : Ocean Engineering
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Supervisors : Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D
Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

ABSTRACT

Sea wave energy is one of renewable energy sources. Many laboratory and industrial scale studies have been conducted. Among them are marine wave power technology technology that utilizes oscillation of sea water wave in a column to drive turbine. In this research, using ocean wave power plant with oscillation system in two column type, that is inlet column and outlet column. Then do the modeling using OpenFOAM software based Computational Fluid Dynamic with open source license. Modeling is done by modeling two model types with different column heights. Model A with 1.25 m column height (H_k) and model B with a column height (H_k) of 1.55 m or B model 27.05% higher than model A. The given wave condition scenarios are two. First wave scenario $H_1 / gT^2 = 0.00030$ and second wave scenario $H_2 / gT^2 = 0.00045$. Based on the analysis of PLTGL Twin Chamber simulation results shows model A, with lower column height than model B, the velocity value and pressure of fluid flow through orifice is greater than model B, for H_1 / gT^2 wave scenario and H_2 / gT^2 wave scenario. The highest flow pressure through the orifice is in the H_1 / gT^2 wave scenario and the flow velocity through the largest orifice is in the H_2 / gT^2 wave scenario. The power potential value generated by PLTGL Twin Chamber, in both wave scenarios indicates that the power potential of model A is larger than model B. The average power efficiency in model A is 0.47% larger in model B of only 0.27%. So the power

potential generated by model A when applied to actual water conditions is greater than model B

Keywords: ocean wave energy, inlet column, outlet column, OpenFOAM, computational fluid dynamic (CFD)

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkat dan nikmat yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tuga Akhir dengan Judul “ **Pemodelan PLTGL Tipe Twin Chamber Dengan Variasi Kolom Menggunakan CFD**”, dengan optimal. Tugas akhir ini disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Studi Strata-1 di Departemen Teknik Kelautan , Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini , diantaranya:

1. Kedua Orang Tua, atas segala doa dan dukungan yang sangat luar biasa.
2. Bapak Prof. Ir. Mukhtasor, M.Sc.PhD selaku dosen wali dan dosen pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan, masukan dan motivasi bagi penulis selama perkuliahan berlangsung hingga penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Rudi Walujo, M.Eng., Ph.D selaku dosen pembimbing dan selaku kepala Departemen Teknik Kelautan yang telah memberikan bimbingan, masukan, dan motivasi bagi penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc. dan Dr. Ir. Wahyudi, selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan wawasan dalam perbaikan Tugas Akhir ini sehingga lebih baik.
5. Bilqis Nur Chulaimi, yang selalu sabar dalam memberikan dukungan dan motivasi selama penyelesaian tugas akhir.
6. Sahabat terbaik, Faiz Al-Ayubi (NM), Rizqian (NM), Hasyim, M. Zain Fajar R, Gagah A.S, atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan.
7. Teman-teman VARUNA, PMII 1011, UKM Cinta Rebana ITS, CRIS Foundation, Pemuda Masjid Nur Mudrikah, atas doa dan dukungan kepada penulis.

Penulis menyadari masih banyak yang dapat dikembangkan pada tugas akhir ini. Oleh karena itu penulis menerima setiap masukan dan kritik yang diberikan. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat secara luas.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Permasalahan	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan	3
1.4. Manfaat	4
1.5. Batasan Masalah	4
BAB 2	5
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.2. Teori Gelombang Laut	6
2.2.1. Teori Gelombang Cnoidal	7
2.2.2. Teori Gelombang Airy	8
2.2.3. Teori Gelombang Stokes	9
2.3. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut	9
2.3.1. Konstruksi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut	9
2.4. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Twin Chamber	12
2.4.1. Konstruksi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Drakoo	12
2.4.2. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Drakoo	14
2.4.3. Konstruksi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Twin Chamber ..	16
2.4.4. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Twin Chamber	16
2.5. Computational Fluid Dynamic (CFD)	18
2.5.1. Tools pada CFD	19
2.6. OpenFOAM (Open Source Fluid Operations And Manipulation)	20
2.6.1. OlaFOAM Solver	20
2.6.2. Diagram Alir Simulasi CFD pada OpenFOAM dengan Menggunakan OlaFOAM solver	21
2.7. Estimasi Daya Listrik	22
BAB 3	25
METODOLOGI PENELITIAN	25

3.1. Metode Penelitian.....	25
3.2. Prosedur Penelitian.....	25
3.2.1. Studi Literatur.....	25
3.2.2. Pengumpulan Data.....	25
3.2.3. Pemodelan Variasi Dimensi Kolom.....	26
3.2.4. Simulasi CFD.....	26
3.2.5. Analisa Hasil Simulasi CFD	26
3.2.6. Perhitungan Daya Listrik PLTGL Tipe Twin Chamber	26
3.2.7. Kesimpulan.....	26
3.3. Diagram Alir Penelitian.....	27
BAB 4	29
ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1. Umum.....	29
4.2. Pemodelan Geometri Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Twin Chamber	29
4.3. Pemodelan Geometri Flume Gelombang.....	32
4.4. Penggabungan Geometri Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Twin Chamber pada Geometri Flume Gelombang	37
4.5. Running Pemodelan.....	38
4.5.1. Proses Penyesuaian File-File Kriteria Pemodelan Fluida pada OpenFOAM	39
4.5.2. Hasil Simulasi Pemodelan	44
4.6. Perbandingan U dan P antara Model A dan Model B.....	57
4.7. Perhitungan Daya Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Twin Chamber... 	58
BAB V	65
KESIMPULAN	65
DAFTAR PUSTAKA.....	67

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Spesifikasi Teknis Drakoo	13
Tabel 2. 2. Spesifikasi Teknis Power Take-off System	14
Tabel 4. 1. Dimensi PLTGL Twin Chamber dengan Pendekatan 2D.....	30
Tabel 4. 2 Dimensi dari Numerical Wave Tank (NWT).....	33
Tabel 4. 3. Keterangan Bagian-Bagian Numerical Wave Tank (NWT)	33
Tabel 4. 4. Power Output Scatter Diagram (kW).....	40
Tabel 4. 5. Data Gelombang	40
Tabel 4. 6. Teori Gelombang	41
Tabel 4. 7. Skenario Pemodelan.....	47
Tabel 4. 8. Perbandingan Rata-Rata Kecepatan dan Tekanan Aliran Fluida di Orifice Pada Masing-masing Model Twin Chamber untuk Setiap Kondisi Gelombang	58
Tabel 4. 9. Potensi Daya Gelombang yang Ditangkap Model dengan Kondisi Gelombang Skala Pemodelan.....	59
Tabel 4. 10. Perbandingan Daya dari Masing-Masing Model Twin Chamber untuk Setiap Kondisi Gelombang	60
Tabel 4. 11. Rata-rata Efisiensi Pada Masing-Masing Model	60
Tabel 4. 12. Data Gelombang di lima Lokasi Perairan sekitar Pulau Jawa	61
Tabel 4. 13. Potensi Daya Gelombang pada Lima Lokasi di Sekitar Pulau Jawa	61
Tabel 4. 14. Potensi Daya Setiap Model pada Lima Lokasi di Perairan sekitar Pulau Jawa	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. a. Drakoo Tampak Depan, b. Drakoo Tampak Atas	13
Gambar 2. 2. Drakoo Tampak 3 Dimensi	14
Gambar 2. 3. Prinsip Kerja Drakoo ketika Elevasi Permukaan Bebas di dalam Kolom Naik	15
Gambar 2. 4. Prinsip Kerja Drakoo ketika Elevasi Permukaan Bebas di dalam Kolom Turun.....	15
Gambar 2. 5. Konstruksi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL).....	16
Gambar 2. 6. Prinsip Kerja Twin Chamber ketika Elevasi Permukaan Bebas di dalam Kolom Naik..	17
Gambar 2. 7. Prinsip Kerja Twin Chamber ketika Elevasi Permukaan Bebas di dalam Kolom Turun	18
Gambar 2. 8. Diagram Alir Pemodelan CFD pada software OpenFOAM	21
Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 4. 1 Bentuk Geometri Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL).....	30
Gambar 4. 2. Cara Membuka Software SALOME pada Terminal Linux.....	31
Gambar 4. 3. Model Twin Chamber Tipe A yang Telah dibuat dengan Software SALOME	32
Gambar 4. 4. Numerical Wave Tank (NWT).....	32
Gambar 4. 5. Screenshoot File Block Mesh pada OpenFOAM (Dimensi Numerical Wave Tank)	34
Gambar 4. 6. Screenshoot File Block Mesh pada OpenFOAM (Boundary Condition).....	34
Gambar 4. 7. Proses Awal Running Block Mesh pada Terminal LINUX	35
Gambar 4. 8. Proses Akhir Running Block Mesh pada Terminal LINUX	36
Gambar 4. 9. Tampilan Model Numerical Wave Tank (NWT) dengan Kondisi Hasil Meshing Melalui Block Mesh	36
Gambar 4. 10. File Model Twin Chamber Sebelum dan Sesudah di Ekstrak.....	37
Gambar 4. 11. Hasil Penggabungan Model Twin Chamber dengan Model Numerical Wave Tank (NWT).....	38
Gambar 4. 12. Teori Gelombang Laut	41
Gambar 4. 13. Titik-titik Pengambilan Data Elevasi, Kecepatan dan Tekanan.....	45
Gambar 4. 14. Hasil Pemodelan Elevasi Gelombang Air Laut pada Model 2 dengan $H_k = 1,55$ m untuk Skenario Kondisi Gelombang 1 ($H = 0,012$ m, $T = 2$ s).....	46
Gambar 4. 15. Hasil Pemodelan Kecepatan Gelombang Air Laut pada Model 2 dengan $H_k = 1,55$ m untuk Skenario Kondisi Gelombang 1 ($H = 0,012$ m, $T = 2$ s).....	46
Gambar 4. 16. Elevasi Permukaan Gelombang Laut pada Titik A, B dan C mengacu Gambar 4. 13 ($H = 0,012$ m dan $T = 2$ s).....	47
Gambar 4. 17. Kecepatan Aliran Fluida pada Orifice ($H = 0,012$ m dan $T = 2$ s).....	48
Gambar 4. 18. Tekanan Aliran Fluida pada Orifice ($H = 0,012$ m dan $T = 2$ s).....	49
Gambar 4. 19. Elevasi Permukaan Gelombang Laut pada Titik A, B dan C mengacu Gambar 4. 13 ($H = 0,018$ m dan $T = 2$ s).....	50
Gambar 4. 20. Grafik Nilai Kecepatan Aliran Fluida pada Orifice ($H = 0,018$ m dan $T = 2$ s)	51
Gambar 4. 21. Tekanan Aliran Fluida pada Orifice ($H = 0,018$ m dan $T = 2$ s).....	51
Gambar 4. 22. Elevasi Permukaan Gelombang Laut pada Titik A, B dan C mengacu Gambar 4. 13 ($H = 0,012$ m dan $T = 2$ s).....	52
Gambar 4. 23. Kecepatan Aliran Fluida pada Orifice ($H = 0,012$ m dan $T = 2$ s).....	53
Gambar 4. 24. Gambar 4. 256. Tekanan Aliran Fluida pada Orifice ($H = 0,012$ m dan $T = 2$ s)	54

Gambar 4. 25. Elevasi Permukaan Gelombang Laut pada Titik A, B dan C mengacu Gambar 4. 13 ($H = 0,018$ m dan $T = 2$ s).....	55
Gambar 4. 26. Kecepatan Aliran Fluida pada Orifice ($H = 0,018$ m dan $T = 2$ s).....	56
Gambar 4. 27. Tekanan Aliran Fluida pada Orifice ($H = 0,018$ m dan $T = 2$ s).....	57

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Permasalahan

Teknologi pembangkit listrik gelombang laut ada bermacam-macam. Energi gelombang laut dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan pesawat –pesawat yang nantinya bermanfaat bagi kesejahteraan manusia. Upaya untuk memanfaatkan energi gelombang laut telah banyak dilaksanakan baik dengan konsep yang sederhana maupun yang canggih. Sejumlah percobaan telah dilaksanakan oleh para ahli di bidang gelombang laut dan telah ditemukan beberapa konsep pemanfaatannya.

Menurut Sarpkaya (2004) Teknologi konversi energi gelombang laut berdasarkan osilasi permukaan, seperti water column, buoy, atau flap memiliki output energi hanya dalam waktu yang sangat singkat dari gelombang frekuensi resonansi dekat. Pada lokasi tertentu, kemungkinan kecil adanya gelombang acak mempengaruhi terjadinya kinerja yang optimal. Selain itu, terkadang gelombang ekstrim juga menjadi beban pada struktur (dalam Firdaus, 2010).

Konsepsi terbaru dari teknologi pembangkit listrik gelombang laut adalah teknologi pembangkit dengan memanfaatkan osilasi gelombang laut pada dua kolom (*chamber*). Teknologi tersebut diberi nama Drakoo sesuai dengan nama perusahaan komersil yang mengembangkan teknologi tersebut. Terdapat perbedaan antara Drakoo dengan teknologi OWC (*Oscillating Water Column*) pada umumnya.

Pada teknologi Drakoo, terdapat dua kolom, gelombang datang ditangkap oleh satu kolom pertama, osilasi dari gelombang datang yang ditangkap ini langsung dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin. Dan kolom kedua pada Drakoo berfungsi untuk arah keluarnya energi gelombang yang ditangkap. Maka, berdasarkan klaim dari perusahaan penemu teknologi Drakoo, maka potensi energi yang dihasilkan oleh teknologi ini lebih besar dan efisien jika dibandingkan dengan teknologi OWC. Hal tersebut dikarenakan energi gelombang yang datang langsung dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin tanpa harus dikonversi dulu terhadap udara.

Pada penelitian terkait yakni pemodelan numerik menggunakan software (*Computational Fluid Dynamic*) CFD dilakukan untuk memodelkan OWC pada suatu

numerical wave tank (NWT) dengan variasi lebar kolom (Kamath, 2015). Kemudian pengembangan pemodelan *numerical wave tank* (NWT) dengan software CFD yang digunakan pada penelitian ini yakni OpenFOAM, juga telah dilakukan untuk mengetahui keakuratan software OpenFOAM untuk memodelkan gelombang laut pada sebuah *numerical wave tank* (NWT) (Lambert, 2012).

Penelitian dengan pemodelan gelombang pada *numerical wave tank* telah banyak dilakukan pada kasus lain. Pada penelitian terkait yakni pemodelan numerik menggunakan software (*Computational Fluid Dynamic*) CFD dilakukan untuk memodelkan OWC pada suatu *numerical wave tank* (NWT) dengan variasi lebar kolom (Kamath, 2015). Kemudian pengembangan pemodelan *numerical wave tank* (NWT) dengan software CFD yang digunakan pada penelitian ini yakni OpenFOAM, juga telah dilakukan untuk mengetahui keakuratan software OpenFOAM untuk memodelkan gelombang laut pada sebuah *numerical wave tank* (NWT) (Lambert, 2012).

Pada rekayasa kelautan, ada kebutuhan untuk mereplikasi kondisi perbanyakan gelombang laut di laboratorium. Perangkat yang biasa digunakan untuk tujuan ini disebut *flume tank* yang dapat dikategorikan lebih lanjut ke dalam *numerical wave tank* (NWT) dan *experimental wave tank* (Sanicher et al., 2015). Simulasi pemodelan numerik dengan teori gelombang regular linear pada *numerical wave tank* dilakukan dalam pemodelan *motion* kapal akibat interaksi dengan aliran fluida (Wu, 2011).

Pemodelan gelombang berdasarkan prinsip 2D diajukan oleh Schaffer & Klopman (2000) merupakan yang paling tepat untuk implementasi pemodelan gelombang pada *numerical wave tank*, dimana pemodelan dilakukan berdasarkan teori gelombang linear (dalam Van Atruyve, 2016).

Pada penelitian yang lain, simulasi numerik interaksi antara gelombang dan arus dengan teknik *numerical wave tank*. Pemodelan dilakukan dengan skala. Untuk mengetahui karakteristik dan keakuratan numerik dari teknik pembangkitan gelombang, simulasi dilakukan dengan menggunakan gelombang regular (Kim, 2016). Pada penelitian yang lain untuk analisa floating breakwater dilakukan pada *numerical wave tank* dilakukan pada skala tertentu untuk data gelombang agar diperoleh hasil simulasi yang valid (Stehno, 2013).

Penelitian menggunakan simulasi numerik juga pernah dilakukan untuk pemodelan run-up gelombang regular akibat perubahan elevasi dasar pantai menggunakan OpenFOAM. Penelitian dilakukan dengan menggunakan teori gelombang Airy, berdasarkan penelitian ini,

validasi pemodelan gelombang Airy dengan OpenFOAM dibandingkan dengan hasil metode analitik dan menunjukkan hasil yang akurat (Gadzimi et al., 2014).

Berdasarkan kondisi di atas, maka pada penelitian ini menjadikan teknologi Drakoo sebagai acuan. Penelitian ini berusaha melakukan pemodelan numerik menggunakan software CFD yakni OpenFOAM untuk memodelkan PLTGL tipe Twin Chamber yang mengacu pada Drakoo namun dengan variasi tinggi kolom. Pemodelan dilakukan dengan software OpenFOAM dengan cara pemodelan gelombang pada *numerical wave tank*.

Teori gelombang yang digunakan adalah teori gelombang regular linear karena asumsi-asumsi yang digunakan sederhana dan lebih akurat untuk pemodelan numerik dibandingkan dengan teori gelombang yang lain. Data gelombang yang digunakan adalah data gelombang yang dilakukan pada pengujian Drakoo dengan skala laboratorium. Data gelombang yang digunakan disesuaikan dengan cara diskala hingga sesuai dengan teori gelombang Airy.

Parameter yang dicari dari pemodelan adalah karakteristik fluida dan besaran potensi yang dihasilkan berdasarkan kondisi gelombang yang telah ditentukan. Kemudian model PLTGL pada penelitian ini di dilakukan inovasi dari model acuan dengan pertimbangan dinamika aliran fluida di dalam kolom.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi bahan kajian dalam tugas akhir ini antara lain

1. Bagaimana kecepatan dan tekanan aliran fluida di dalam kolom alat konversi gelombang tipe twin chamber akibat variasi ukuran kolom?
2. Berapa potensi daya yang dihasilkan dari masing-masing variasi ukuran kolom pada setiap skenario nilai tinggi dan panjang gelombang yang diberikan?

1.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan tuga akhir ini adalah:

1. Mengetahui kecepatan dan tekanan aliran fluida di dalam kolom alat konversi gelombang tipe twin chamber akibat variasi ukuran kolom
2. Mengetahui potensi daya yang dihasilkan dari masing-masing variasi ukuran kolom pada setiap skenario nilai tinggi dan panjang gelombang yang diberikan

1.4. Manfaat

1. Dapat dijadikan referensi untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga gelombang laut
2. Dapat dijadikan acuan dalam kajian pemilihan bentuk kolom yang sesuai dari sistem dengan tipe twin chamber sebagai teknologi pembangkit listrik tenaga gelombang laut

1.5. Batasan Masalah

1. Penelitian ini dilakukan dengan pemodelan 2D
2. Software berbasis CFD yang digunakan adalah OpenFOAM 4.0 (Open Source Fluid Operation And Manipulation)
3. Solver yang digunakan adalah OlaFOAM
4. Dimensi variasi ukuran kolom ditentukan
5. Teori gelombang yang digunakan adalah teori gelombang regular linear yakni teori gelombang Airy karena paling akurat dalam pemodelan numeric dibanding teori gelombang yang lain
6. Data gelombang yang digunakan adalah data gelombang yang digunakan pada penelitian sebelumnya
7. Pemodelan ini dimaksudkan untuk merepresentasikan model skala laboratorium
8. Data lingkungan yang digunakan untuk estimasi daya adalah data gelombang laut pada perairan Indonesia
9. Tidak memperhitungkan kekuatan struktur alat
10. Tidak memperhitungkan nilai keekonomisan alat
11. Satuan yang digunakan adalah SI

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Salah satu pembangkit teknologi gelombang adalah pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan model kolom osilasi. Dimana teknologinya berupa suatu kolom, biasanya berbentuk kotak yang menangkap energi gelombang laut, lalu ditransfer sebagai energi mekanik melalui sistem *power take-off* yang menjadi penggerak generator listrik dengan menggunakan turbin. Pada teknologi yang dipilih sebagai objek pada penelitian ini, digunakan tipe alat sebagaimana *Oscillating Water Column* atau biasa disebut OWC, namun menggunakan tipe dua kolom. Referensi yang digunakan sebagai acuan adalah teknologi OWC dua kolom.

Penelitian dengan pemodelan gelombang pada numerical wave tank telah banyak dilakukan. Pada penelitian terkait yakni pemodelan numerik menggunakan software (*Computational Fluid Dynamic*) CFD dilakukan untuk memodelkan OWC pada suatu *numerical wave tank* (NWT) dengan variasi lebar kolom (Kamath, 2015). Kemudian pengembangan pemodelan *numerical wave tank* (NWT) dengan software CFD yang digunakan pada penelitian ini yakni OpenFOAM, juga telah dilakukan untuk mengetahui keakuratan software OpenFOAM untuk memodelkan gelombang laut pada sebuah *numerical wave tank* (NWT) (Lambert, 2012).

Pada rekayasa kelautan, ada kebutuhan untuk mereplikasi kondisi perbanyakan gelombang laut di laboratorium. Perangkat yang biasa digunakan untuk tujuan ini disebut *flume tank* yang dapat dikategorikan lebih lanjut ke dalam *numerical wave tank* (NWT) dan *experimental wave tank* (Sanicher et al., 2015). Simulasi pemodelan numerik dengan teori gelombang regular linear pada *numerical wave tank* dilakukan dalam pemodelan *motion* kapal akibat interaksi dengan aliran fluida (Wu, 2011).

Pemodelan gelombang laut untuk analisa breakwater dengan metode numerik dilakukan dengan software OpenFOAM dilakukan dengan menggunakan teori gelombang regular dengan skala tertentu menunjukkan hasil yang akurat dengan hasil eksperimen laboratorium (Chenary et al., 2015). Pada penelitian lain, pemodelan gelombang dengan metode numerik, teori gelombang yang digunakan harus ditentukan dengan alasan pemodelan numerik akan mudah dilakukan jika teori gelombang diketahui (Yang, 2015).

Pemodelan gelombang berdasarkan prinsip 2D diajukan oleh Schaffer & Klopman (2000) merupakan yang paling tepat untuk implementasi pemodelan gelombang pada *numerical wave tank*, dimana pemodelan dilakukan berdasarkan teori gelombang linear (dalam Van Atruyve, 2016).

Pada penelitian yang lain, simulasi numerik interaksi antara gelombang dan arus dengan teknik *numerical wave tank*. Pemodelan dilakukan dengan skala. Untuk mengetahui karakteristik dan keakuratan numerik dari teknik pembangkitan gelombang, simulasi dilakukan dengan menggunakan gelombang reguler (Kim, 2016). Pada penelitian yang lain untuk analisa floating breakwater dilakukan pada *numerical wave tank* dilakukan pada skala tertentu untuk data gelombang agar diperoleh hasil simulasi yang valid (Stehno, 2013).

Penelitian menggunakan simulasi numerik juga pernah dilakukan untuk pemodelan run-up gelombang regular akibat perubahan elevasi dasar pantai menggunakan OpenFOAM. Penelitian dilakukan dengan menggunakan teori gelombang Airy, berdasarkan penelitian ini, validasi pemodelan gelombang Airy dengan OpenFOAM dibandingkan dengan hasil metode analitik dan menunjukkan hasil yang akurat (Gadzimi et al., 2014).

Berdasarkan kondisi di atas, maka pada penelitian ini menjadikan teknologi Drakoo sebagai acuan. Penelitian ini berusaha melakukan pemodelan numerik menggunakan software CFD yakni OpenFOAM untuk memodelkan PLTGL tipe Twin Chamber yang mengacu pada Drakoo namun dengan variasi tinggi kolom. Pemodelan dilakukan dengan software OpenFOAM dengan cara pemodelan gelombang pada *numerical wave tank*.

Teori gelombang yang digunakan adalah teori gelombang regular linear karena asumsi-asumsi yang digunakan sederhana dan lebih akurat untuk pemodelan numerik dibandingkan dengan teori gelombang yang lain. Data gelombang yang digunakan adalah data gelombang yang dilakukan pada pengujian Drakoo dengan skala laboratorium. Data gelombang yang digunakan disesuaikan dengan cara diskala hingga sesuai dengan teori gelombang Airy.

Parameter yang dicari dari pemodelan adalah karakteristik fluida dan besaran potensi yang dihasilkan berdasarkan kondisi gelombang yang telah ditentukan. Kemudian model PLTGL pada penelitian ini di dilakukan inovasi dari model acuan dengan pertimbangan dinamika aliran fluida di dalam kolom.

2.2. Teori Gelombang Laut

Gelombang laut merupakan energi dalam transisi, merupakan energi yang terbawa oleh sifat aslinya. Prinsip dasar terjadinya gelombang laut adalah sebagai berikut (Waldopo, 2008):

Jika ada dua massa benda yang berbeda kerapatannya (densitasnya) bergesekan satu sama lain, maka pada bidang geraknya akan terbentuk gelombang. Gelombang merupakan gerakan naik turunnya air laut.

Menurut Pudjasarna (2006) gelombang permukaan merupakan gambaran sederhana untuk menunjukkan bentuk dari suatu energi lautan. Gejala energi gelombang bersumber pada fenomena-fenomena sebagai berikut (dalam Wijaya, 2010):

- Benda (*body*) yang bergerak pada atau dekat permukaan yang menyebabkan terjadinya gelombang dengan periode kecil, energi kecil pula
- Angin merupakan sumber terjadinya gelombang lautan
- Gelombang seismik yang menyebabkan terjadinya pasang atau tsunami. Contoh gangguan seismik adalah gempa bumi, dan lain-lain
- Medan gravitasi bumi dan bulan penyebab gelombang-gelombang besar, terutama penyebab gelombang pasang yang tinggi

Selanjutnya gelombang laut ditinjau dari sifat pengukurannya dibedakan menurut ketinggian serta periode alunannya. Dari kebanyakan data yang ada, tinggi gelombang lautan dapat diukur melalui alat ukur gelombang ataupun dengan cara visual dengan melakukan pengamatan langsung di lapangan

Gelombang laut susah dijabarkan dengan pasti, tetapi dapat diformulasikan dengan pendekatan. Berbagai macam teori pendekatan digunakan untuk memberikan informasi ilmiah tentang sifat gelombang lautan pada suatu fenomena yang aktual. Suatu teori sederhana tentang gelombang lautan dikenal sebagai teori Airy atau teori gelombang linier. Selanjutnya para ahli membedakan sifat gelombang laut sebagai gelombang linier dan gelombang non-linier.

2.2.1. Teori Gelombang Cnoidal

Gelombang Cnoidal adalah jenis gelombang reguler nonlinear dengan bentuk yang khas. Mereka alami ada di alam, ketika panjang gelombang besar dibandingkan dengan kedalaman air. Ini mengarah ke bentuk gelombang tertentu dan sangat dikenali, dengan sangat panjang dan di palung dan puncak gelombang curam.

Karakteristik gelombang telah ditentukan, elevasi permukaan bebas dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (OlaFOAM *Reference Manual*, 2016):

$$\eta = H \left[\frac{1}{m} \left(1 - \frac{E_m}{K_m} \right) - 1 + cn^2 [2K_m \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) | m] \right] \quad (2.1)$$

di mana cn adalah Jacobi fungsi elips. Ekspresi untuk kecepatan melibatkan mengetahui di muka, dan kemampuan untuk menghitung beberapa turunan, yang dilakukan secara numerik. komponen kecepatan disajikan dalam persamaan (OlaFOAM Reference Manual, 2016):

$$u = c \frac{\eta}{h} - c \left(\frac{\eta^2}{h^2} + \frac{\overline{\eta^2}}{h^2} \right) + \frac{1}{2} ch \left(\frac{1}{3} - \frac{z^2}{h^2} \right) \eta_{xx} \quad (2.2)$$

$$w = -c z \left[\frac{\eta_x}{h} \left(2 - \frac{2\eta}{h} \right) + \frac{1}{6} h \left(1 - \frac{z^2}{h^2} \right) \eta_{xxx} \right] \quad (2.3)$$

Dimana η_x , η_{xx} dan η_{xxx} adalah turunan pertama, kedua dan ketiga dari elevasi permukaan bebas sehubungan dengan x . Dan $\frac{\overline{\eta^2}}{h^2}$ adalah rata-rata selama periode gelombang elevasi permukaan bebas kuadrat.

2.2.2. Teori Gelombang Airy

Teori gelombang Airy merupakan teori gelombang amplitudo kecil atau gelombang linear merupakan solusi paling sederhana untuk gelombang air. Hingga saat ini teori Airy paling sering digunakan secara luar, tidak hanya sebab kemudahan dalam aplikasinya tetapi juga karena teori ini cukup akurat untuk beberapa perkiraan rekayasa. Selain batas teori yang sempit untuk pengaplikasian, penggunaan praktis secara luas, juga teori ini bisa dikembangkan lebih jauh dan tepat untuk orde yang lebih tinggi.

Asumsi utama dari teori ini adalah sebagai berikut:

- Kontinyu, homogen, inkompresibel, dan fluida inviscid
- Gaya coriolis diabaikan
- Tegangan permukaan diabaikan
- Tekanan pada permukaan bebas uniform dan konstan
- Aliran irrotasional
- Bagian dasar dianggap diam dan tahan

Solusi untuk teori ini didasarkan pada fungsi potensial, dimana elevasi permukaan bebas dan kecepatan dipertimbangkan. Untuk gelombang 2D, pergerakan gelombang ke arah sumbu x positif diberikan sebagai berikut (OlaFOAM Reference Manual, 2016):

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t) \quad (2.4)$$

$$u = \frac{H}{2} \omega \frac{\cosh(kz)}{\sinh(kz)} \cos(kx - \omega t) \quad (2.5)$$

$$v = \frac{H}{2} \omega \frac{\sinh(kz)}{\sinh(kz)} \sin(kx - \omega t) \quad (2.6)$$

Untuk persamaan ini agar bisa diaplikasikan, asumsi bawah kordinat batas terbawah adalah nol. Namun ini tidak secara umum, dan beberapa simulasi memungkinkan batasnya berbeda dengan batas terbawahnya.

2.2.3. Teori Gelombang Stokes

Teori gelombang Stokes merupakan pengembangan dari teori gelombang Airy. Ada beberapa orde teori gelombang Stokes. Diantaranya adalah teori gelombang Stokes orde II dan teori Stokes orde V. Teori Stokes Orde V untuk analisa gelombang dengan tinggi dan amplitudo gelombang yang lebih tinggi. Untuk teori Stokes orde II ini masih mudah untuk diterapkan karena hanya hubungan dispersi yang mengharuskan untuk diselesaikan secara iterasi. Efek praktis dari teori ini adalah enjumlahan gelombang yang lain karena osilasi dua kali dengan cepat.

Ekspresi persamaan permukaan bebas dan komponen kecepatan adalah sebagai berikut (OlaFOAM Reference Manual, 2016):

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(\theta) + k \frac{H^2}{4} \frac{3-\delta^2}{4\delta^3} \cos(2\theta) \quad (2.7)$$

$$u = \frac{H}{2} \omega \frac{\cosh(kz)}{\sinh(kh)} \cos \theta + \frac{3}{4} \frac{H^2 \omega k \cosh(2kz)}{4 \sinh^4(kh)} \cos 2\theta \quad (2.8)$$

$$u = \frac{H}{2} \omega \frac{\cosh(kz)}{\sinh(kh)} \sin \theta + \frac{3}{4} \frac{H^2 \omega k \cosh(2kz)}{4 \sinh^4(kh)} \sin(2\theta) \quad (2.9)$$

Jika teori ini diterapkan lebih jauh untuk rentang aplikasinya sebuah peuncak gelombang kedua akan muncul pada gelombang melalui komponen gelombang pertama.

2.3. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut

2.3.1. Konstruksi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut

Secara umum konstruksi pembangkit listrik tenaga (PLT) gelombang terdiri dari mesin konversi energi gelombang turbin dan generator. Kemudian konstruksi teknologi tersebut harus memenuhi beberapa kriteria sebagaimana yang ditentukan oleh California Energy

Commission/CEC dan Departemen Energi Amerika Serikat/DOE (2000) yang telah menetapkan persyaratan umum untuk peralatan konversi energi laut harus memenuhi pertimbangan yang sesuai dengan lisensi untuk bisa beroperasi di USA. Persyaratan tersebut meliputi, antara lain: memiliki densitas energi tinggi, tidak mengganggu sistem pelayaran, tidak mengganggu bangunan laut/pantai lainnya, tidak mengganggu kehidupan laut dan ramah lingkungan, pemeliharaan mudah, kekuatan, biaya selama operasi, memiliki minimum umur bangunan antara 10-20 tahun. Tantangan untuk pemenuhan seluruh persyaratan tersebut telah menjadi fokus lebih dari 40 tahun di seluruh dunia usaha, khususnya di Eropa, Jepang, dan Amerika (Pontes and Falcao, 2001 dalam Firdaus, 2010). Penjelasan detail mengenai ketiga bagian konstruksi pembangkit listrik tenaga gelombang laut dijelaskan pada subbab di bawah ini

2.3.1.1. Mesin konversi energi gelombang laut

Energi gelombang laut dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan pesawat-pesawat yang nantinya bermanfaat demi kesejahteraan manusia. Upaya untuk memanfaatkan energi gelombang laut telah banyak dilaksanakan baik dengan konsep yang sederhana maupun yang canggih. Sejumlah percobaan telah dilaksanakan oleh para ahli di bidang gelombang laut dan ditemukan beberapa konsep pemanfaatannya. Energi laut terbarukan dalam hal ini energi gelombang laut menarik banyak pengembang dan peneliti di seluruh dunia yang bertujuan mengurangi emisi karbon dan meningkatkan ekonomi biru. Untuk mempromosikan pengembangan energi laut, perangkatnya perlu bertahan menghadapi laut yang agresif dan korosif lingkungan hidup (Musabikha, 2017).

Menurut Pudjasarna (2006) konsepsi teknologi pembangkit listrik gelombang laut dapat dibedakan menjadi konsepsi yang sederhana dan konsepsi lebih tinggi. Konsepsi yang sederhana adalah sebagai berikut: *Heaving and pitchin bodies, Cavity resonators, Pressure device, Surging wave energi conventors, Particle motion conventors, Float wave-power machine, the dolphin type wave power generators* dan *oscillating water column*. Untuk konsepsi yang lebih tinggi adalah sebagai berikut: *Salter's nodding duck, Cockerell's rafts, Russel rectifier, Wave focusing techniques* (dalam Wijaya, 2010).

Teknologi PLTGL ada yang diinstal di wilayah pantai (onshore) ataupun offshore dengan dipancang atau sistem tambat. Contoh PLTGL yang diinstal dengan sistem tambat adalah PLTGL-SB. Sistem tambat PLTGL-SB dirancang agar ketika ponton tripod PLTGL-

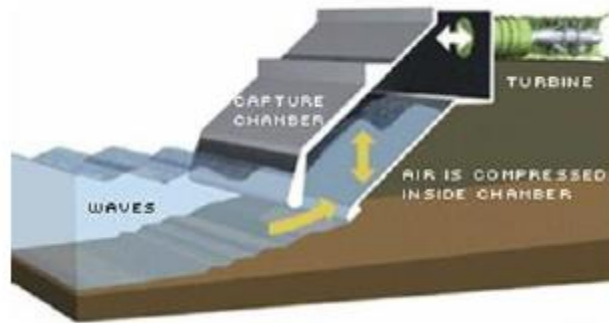
SB terkena gelombang dapat menghasilkan gerakan yang optimal dan aman sehingga dapat mengekstrak jumlah energi yang maksimal (Mukhtasor, 2014).

Beberapa lembaga penelitian milik pemerintah dan universitas di Indonesia sudah mengembangkan beberapa berbagai teknologi konversi energi gelombang laut "PLTGL-SB". Teknologi konversi energi gelombang tersebut merupakan salah satu teknologi yang telah dikembangkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan PLN bekerja sama dengan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Sebuah prototipe dari "PLTGL-SB" telah dipasang sebagai uji coba laut air Tanjung Bumi, Madura, Jawa Timur. PLTGL-SB dirancang untuk menangkap energi dalam gerakan roll, pitch dan yaw dan mengubahnya langsung menjadi gerak putar torsi tinggi menggunakan generator (Mukhtasor *et al.*, 2016).



Gambar 1. 1. PLTGL-SB yang diinstal di Tanjung Bumi, Madura, Jawa Timur.

Kemudian untuk pembangkit listrik tenaga gelombang laut atau OWC adalah struktur berongga dengan sebagian dari struktur terendam. OWC terbuka ke bawah pada permukaan bebas air, sebuah kolom tertutup untuk udara di atas kolom air. Alat ini mengkonversi energi gelombang menjadi energi pneumatic dalam bentuk bergantian dengan aliran udara, yang mana diciptakan oleh osilasi vertikal permukaan air. Ada dua vidang operasi. Inhalasi dan ekshalasi. Selama ekshalasi, level air naik ke kolom mendorong udara keluar kolo dan melalui turbin. Selama inhalasi, gelombang mundur menghisap kembali udara ke dalam OWC. Pergerakan udara melalui turbin menyebabkan turbin berputar yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Gambar 1. di bawah ini menunjukkan contoh pembangkit listrik tenaga gelombang tipe OWC beserta proses sistem OWC.



Gambar 1. 2. Prinsip Kerja Oscillating Water Column (OWC)

2.3.1.2. Turbin

Turbin merupakan bagian penting dalam suatu pembangkit tenaga listrik. Pada pembangkit listrik tenaga gelombang laut ini jenis turbin yang digunakan ada dua jenis turbin yang banyak digunakan yaitu turbin air dan turbin udara. Dimana turbin air menggunakan media air sebagai fluida kerjanya. Sedangkan turbin udara menggunakan udara sebagai fluida konversi aliran gelombang yang mempunyai energi kinetik ini dialirkan menuju turbin. Di dalam turbin ini, energi kinetik yang dihasilkan gelombang digunakan untuk memutar rotor. Kemudian dari perputaran rotor inilah energi mekanik yang kemudian disalurkan menuju generator. Di dalam generator, energi mekanik ini dirubah menjadi energi listrik (daya listrik). Dari generator ini, daya listrik yang dihasilkan dialirkan lagi menuju sistem transmisi (beban) melalui kabel laut. Daya listrik yang disalurkan melalui kabel laut ini adalah daya listrika arus searah (DC). Beberapa pertimbangan dalam penentuan tipe turbin, selain kemampuan mekanis juga haru mempertimbangkan pemilihan material turbin terkait keandalannya menghadapi kondisi lingkungan laut diantaranya adalah korosi. Korosi dapat menyebabkan kerusakan struktural pada struktur komponen utama perangkat energi terbarukan laut, seperti turbin (Musabikha, 2017).

2.4. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Twin Chamber

2.4.1. Konstruksi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Drakoo

PLTGL twin chamber merupakan salah satu pembangkit listrik tenaga gelombang laut. Teknologi ini berdasarkan artikel dan website terkait menyatakan bahwa teknologi ini dapat digunakan di perairan dangkal maupun dalam.

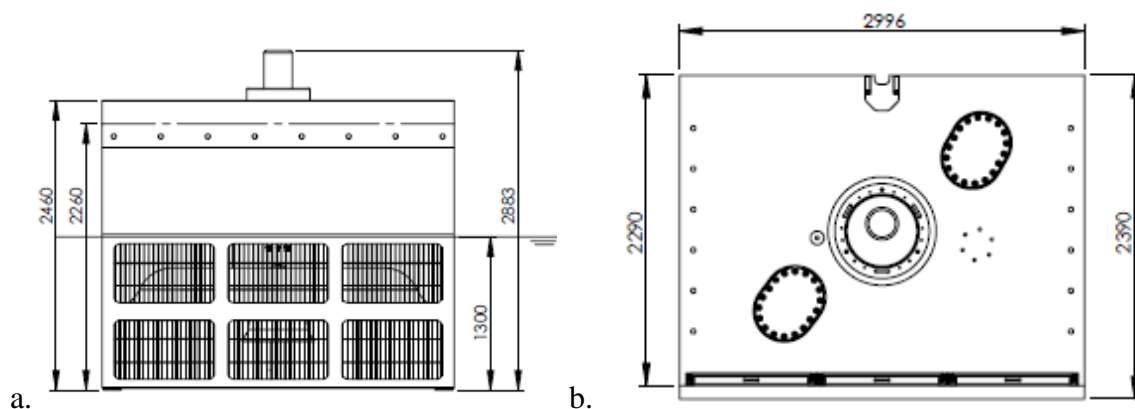
Teknologi drakoo terdiri dari tiga bagian utama:

1. Dua kolom air
2. *Checkboards valves*
3. *Power take-off sistem*

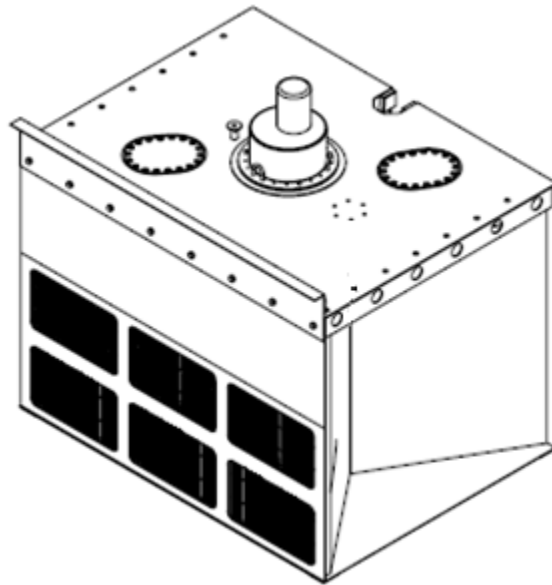
Fungsi dua kolom air adalah menangkap energi gelombang dan meneruskan energi gelombang. *Checkboards valve* berfungsi untuk menjaga agar air laut tidak keluar melalui kolom inlet dan tidak masuk lagi setelah dikeluarkan melalui kolom outlet. *Power take-off sistem* terdiri dari turbin dan generator yang berfungsi sebagai penghasil listrik. Spesifikasi teknis dari Drakoo ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1. Spesifikasi Teknis Drakoo

Parameter Kunci	
Tinggi	2,88 m
Lebar	3,00 m
Kedalaman	2,39 m
Sarat Air	1,30 m
Freeboard	0,96 m



Gambar 2. 1. a. Drakoo Tampak Depan, b. Drakoo Tampak Atas



Gambar 2. 2. Drakoo Tampak 3 Dimensi

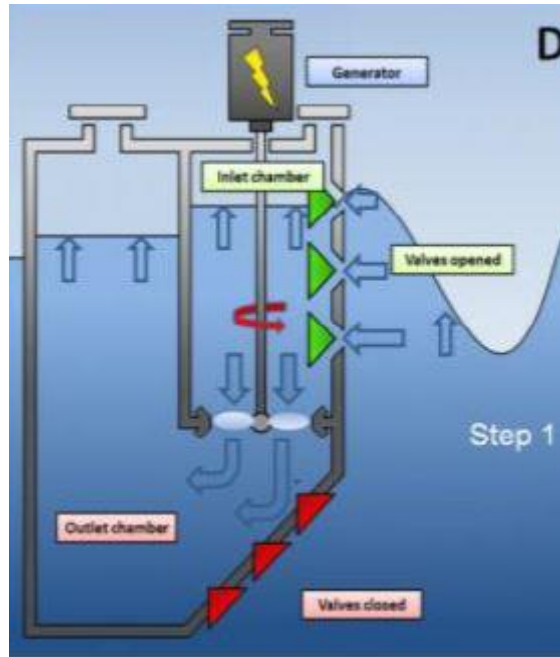
Kemudian untuk spesifikasi teknis Power Take-Off System ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2. Spesifikasi Teknis Power Take-off System

Tipe Turbin	Kaplan Turbin
Generator Listrik	PMSG
Output Nominal	2,6 kW
Output Puncak	4,0 kWp
Tinggi Gelombang dan Periode Minimal untuk Output Puncak	0,9 m & 6 s
Efisiensi Wave Absorption	>80 %
Efisiensi Penghasil Listrik	55 %

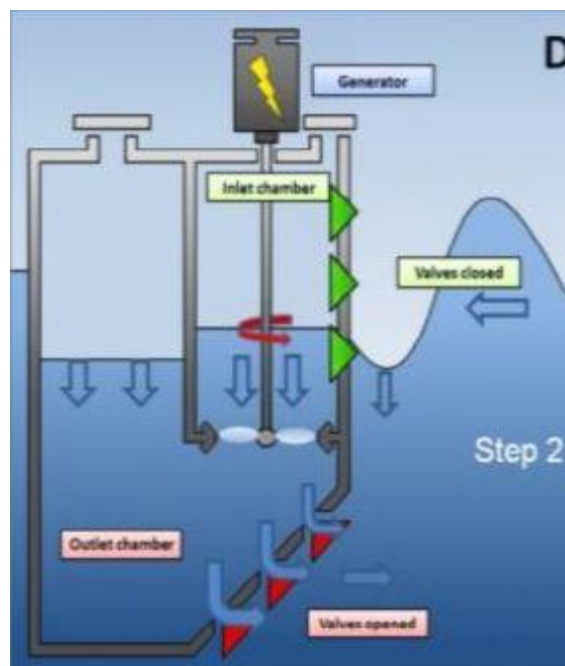
2.4.2. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Drakoo

Prinsip Kerja drakoo adalah dengan adanya dua kolom air untuk sistem osilasi air, mentransformasi aliran air kontinyu yang menggerakkan turbin. Pertama, sebuah gelombang datang meningkatkan level air pada kolom pertama (inlet chamber) dan mentransfer air dari kolom pertama ke kolom kedua (outlet chamber).



Gambar 2. 3. Prinsip Kerja Drakoo ketika Elevasi Permukaan Bebas di dalam Kolom Naik

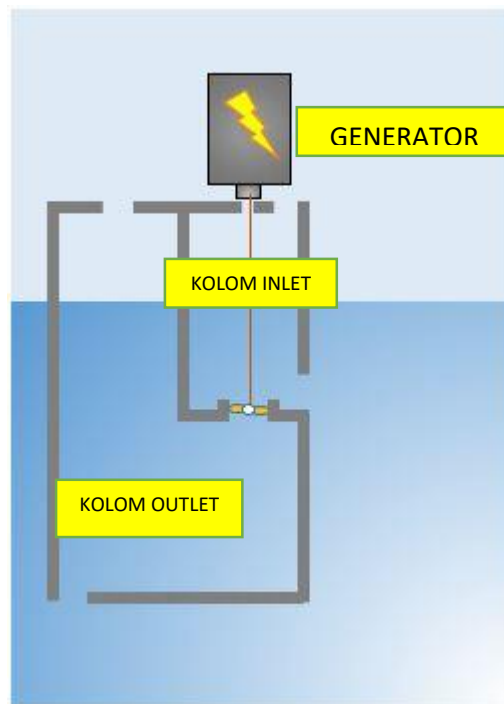
Kedua level air di luar alat akan turun sehingga level air di dalam kedua kolom juga akan turun, dan begitu seterusnya. Proses akan berlangsung terus menerus mengikuti gelombang laut. Sementara itu, checkboard valves, mengatur regulasi aturan air. Aliran air yang mendekati konstan dan satu arah menggerakkan generator listrik secara efisien.



Gambar 2. 4. Prinsip Kerja Drakoo ketika Elevasi Permukaan Bebas di dalam Kolom Turun

2.4.3. Konstruksi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Twin Chamber

Mengacu pada pembangkit listrik tipe Drakoo maka model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe twin chamber pada penelitian ini diberikan sebagaimana di bawah ini. Ada beberapa perubahan dikarenakan ada keterbatasan dalam pemodelan yakni untuk *checking valve* yang mengatur sirkulasi fluida tidak dimodelkan akibat tingkat kesulitan dalam pemodelannya. Sehingga agar fluida tidak mengalir keluar ke arah datang gelombang maka lubang outlet dipindah ke bawah pada sisi bagian yang jauh dari arah datang gelombang. Kemudian untuk bagian lubang outlet, karena tidak dapat dimodelkan *checking valve* akibat tingkat kesulitan pemodelan, maka terjadi dimana fluida keluar ke arah datang gelombang, sehingga mempengaruhi aliran fluida yang masuk melalui lubang inlet. Bentuk konstruksi dari alat ditunjukkan pada Gambar 6.

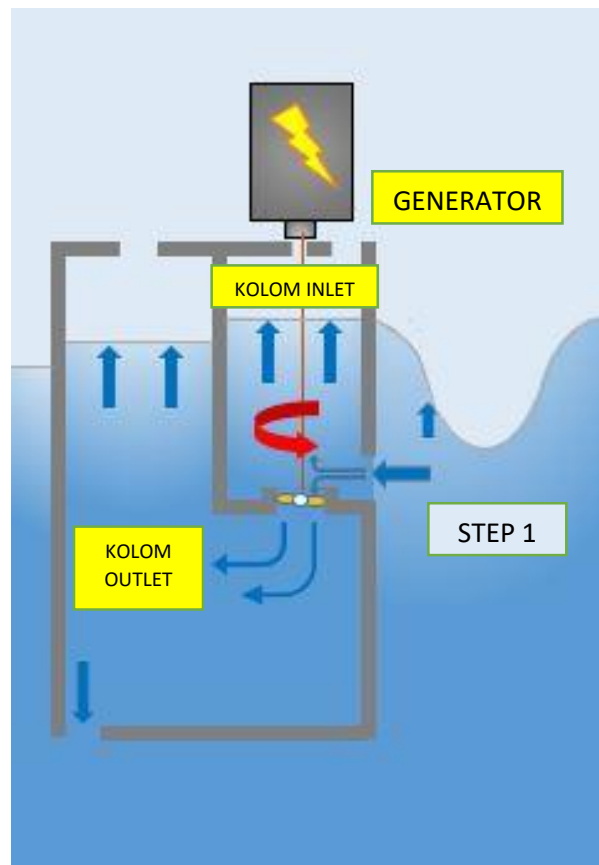


Gambar 2. 5. Konstruksi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL)

2.4.4. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Twin Chamber

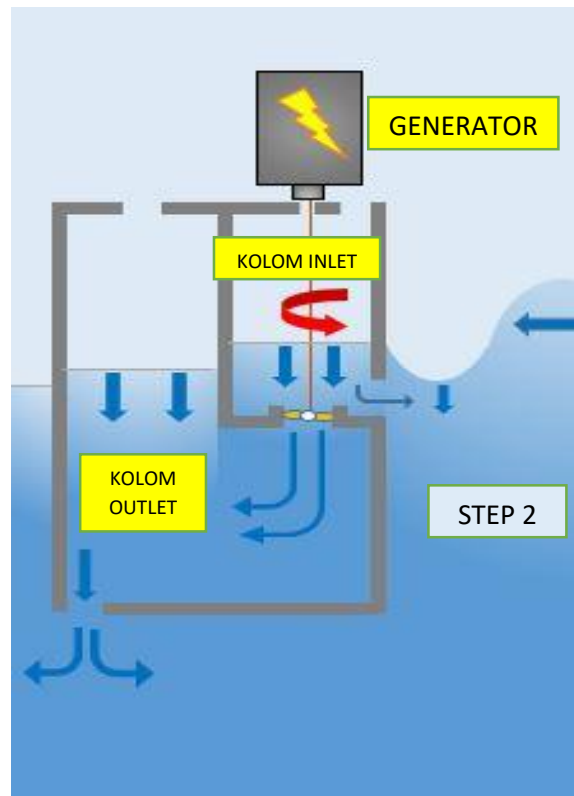
Prinsip kerja dari Twin Chamber adalah dengan adanya dua kolom sebagai sistem osilasi air. Ketika gelombang air laut datang, air laut akan masuk ke dalam kolom inlet, elevasi

air di dalam kolom akan naik dan sekaligus mentransfer air ke dalam kolom outlet melalui orifice. Elevasi permukaan air di dalam kolom outlet juga ikut naik.



Gambar 2. 6. Prinsip Kerja Twin Chamber ketika Elevasi Permukaan Bebas di dalam Kolom Naik

Pada prinsip kedua, ketika level permukaan air di luar kolom turun, maka elevasi air di dalam kolom inlet dan outlet juga akan turun. Ketika level air di dalam kolom inlet turun, air diteruskan melalui inlet dan orifice karena di dalam inlet tidak diberikan sistem *checkboard-valves*.



Gambar 2. 7. Prinsip Kerja Twin Chamber ketika Elevasi Permukaan Bebas di dalam Kolom Turun

2.5. Computational Fluid Dynamic (CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan analisa 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 (Firdaus, 2010).

Pada definisi serupa CFD adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika. Pada dasarnya, persamaan-persamaan pada fluida dibangun dan dianalisis berdasarkan persamaan-persamaan diferensial parsial ($PDE = \textit{Partial Differential Equation}$) yang mempresentasikan hukum-hukum konversi massa, momentum, dan energi. Sebuah perangkat lunak CFD akan memberikan simulasi aliran fluida, perpindahan panas, perpindahan massa, benda-benda bergerak, aliran multi fasa, reaksi kimia, interaksi

fluida dengan struktur, dan sistem akuisisi dengan melakukan pemodelan di komputer (Trimulyono, 2015).

Dengan menggunakan software berbasis CFD dapat dibuat *virtual prototype* dari sebuah sistem atau alat yang akan dianalisa dengan berdasarkan kondisi nyata di lapangan. Software CFD akan memberikan data-data, gambar-gambar, atau kurva-kurva yang menunjukkan prediksi dari performansi keandalan sistem yang didesain (Trimulyono, 2015).

2.5.1. Tools pada CFD

Secara umum terdapat tiga tahapan yang harus dilakukan ketika melakukan simulasi CFD, yaitu:

- *Processing*

Processing merupakan langkah awal dalam membangun dan menganalisis sebuah model CFD. Tekniknya adalah membuat model dalam paket CAD (*Computer Aided Design*), membuat *mesh* yang sesuai, kemudian menerapkan kondisi batas dan sifat-sifat fluidanya

- *Solving*

Solver (program inti pencari solusi) CFD menghitung kondisi-kondisi yang diterapkan pada saat preprocessing

- *Postprocessing*

Adalah langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan dalam langkah ini adalah mengorganisasi dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang bisa berupa gambar, kurva, atau animasi.

Prosedur pada pendekatan program CFD meliputi:

1. Pembuatan geometri dari model/problem
2. Bidang atau volume yang diisi oleh fluida dibagi sel-sel kecil
3. Pendefinisian model fisik
4. Pendefinisian kondisi-kondisi batas, termasuk di dalamnya sifat-sifat dan perilaku dari batas-batas model, untuk kasus transient, kondisi awal juga didefinisikan.
5. Persamaan-persamaan matematika yang membangun VFD diselesaikan secara iteratsi, bisa dalam kondisi tunak (*steady state*) atau tak tunak (*transient*)
6. Analisis dan visualisasi dari solusi CFD

2.6. OpenFOAM (Open Source Fluid Operations And Manipulation)

OpenFOAM adalah merupakan salah satu software CFD dengan menggunakan bahasa pemrograman berbasis C++ untuk mengembangkan solusi pemecah numerik yang telah disesuaikan, baik digunakan sebelum maupun sesudah pengolahan untuk solusi masalah mekanika kontinyuitas.

2.6.1. OlaFOAM Solver

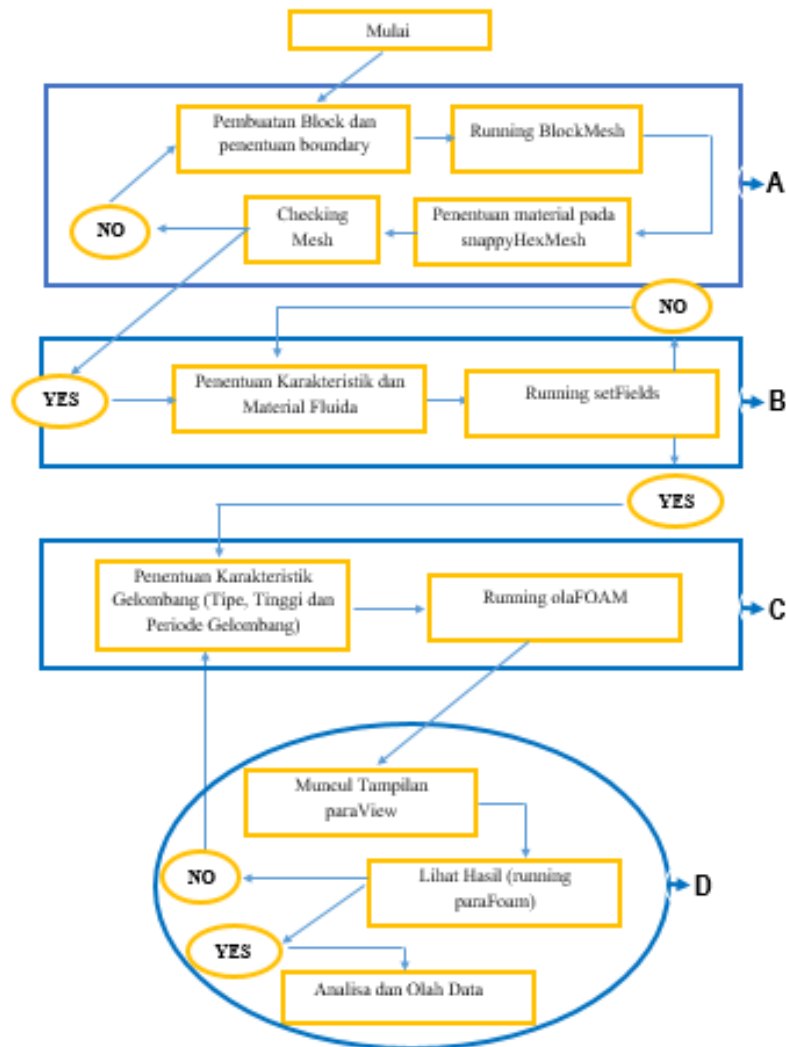
OlaFOAM adalah salah satu solver dalam OpenFOAM. Solver ini memecahkan persamaan *Volume Averaged Reynolds Averaged Navier-Stokes* (VARANS) yang merupakan persamaan untuk dua fase kompressibel menggunakan batas diskrit dari metode *volume of fluids* (VOF). Dalam VOF (Berberovic et al., 2009), setiap tahap dijelaskan oleh fraksi yang terjadi oleh *volume of fluids* dari bahan di dalam sel. Keuntungan utamanya adalah sangat sederhana, konfigurasi permukaan bebas (*free surface*) yang sangat kompleks dapat dilakukan dengan mudah dan tanpa melibatkan gerak mesh. Kerugiannya adalah hal itu menjadi kurang efektif sebagai akibat dari meningkatnya efek tegangan permukaan. Namun, pada sebagian besar praktisi rekayasa pantai, dihadapkan dengan panjang gelombang yang relatif lama, sehingga hanya fenomena-fenomena tertentu yang tidak dapat diabaikan. Mendukung beberapa model turbulensi (mis k-, k- ω SST, LES) (dalam OlaFOAM Reference Manual, 2016).

Untuk langkah-langkah solver awalnya, algoritma pemecahan itu PISO (*Pressure Implicit with Splitting of Operators*); untuk penjelasan rinci tentang solusi numerik dari persamaan tersebut dapat melihat Kissling et al. (2010). Dimana versi terbaru memiliki kode yang telah diperbaiki. Algoritma baru disebut PIMPLE, yang sebenarnya merupakan campuran antara PISO dan SIMPLE (*Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations*). Menurut Jasak (1996) struktur utamanya adalah warisan dari PISO yang asli, tetapi memungkinkan persamaan di bawah-relaksasi untuk memastikan konvergensi dari semua persamaan pada setiap langkah waktu. Kedua algoritma tersebut secara menyeluruh telah dan diterapkan untuk VOF (dalam OlaFOAM Reference Manual, 2016).

Sebuah grafik aliran, telah dikembangkan untuk menunjukkan *loop* yang memecahkan setiap langkah waktu. *Loop* utama disajikan dengan latar belakang gelap. Itu alpha subcycle dan loop PIMPLE yang dikembangkan lebih lanjut di luar itu. Keduanya menyertakan deskripsi dasar dari kondisi batas yang baru dikembangkan. Dalam hal itu, beberapa variabel seperti "nAlphaSubCycles" dan "nCorrectors" telah didefinisikan. Hal ini

ditentukan dalam program pengendalian dan mengatur kinerja prosedur pemecahan model (OlaFOAM Reference Manual, 2016).

2.6.2. Diagram Alir Simulasi CFD pada OpenFOAM dengan Menggunakan OlaFOAM solver



Gambar 2. 8. Diagram Alir Pemodelan CFD pada software OpenFOAM

Keterangan diagram alir:

- A. *Pembuatan Block dan penentuan boundary*: merupakan proses pemodelan *numerical wave tank* dengan menginputkan panjang, lebar dan tingginya. Setelah itu ditentukan ukuran dari meshing yang akan dibuat dan diinputkan kondisi batas dari setiap sisi *numerical wave tank* tersebut.

Running BlockMesh: setelah input pembuatan *numerical wave tank* dan penentuan kondisi batasnya telah selesai. Kemudian dilakukan *running blockMesh* untuk memproses data yang telah diinputkan.

Penentuan material pada snappyHexMesh: *snappyHexMesh* merupakan sebuah fungsi untuk menggabungkan model yang telah dibuat dengan software lain dengan *numerical wave tank* yang dibuat pada *OpenFOAM*

Checking Mesh:

- B. *Penentuan Karakteristik dan Material Fluida*: menentukan jenis aliran fluida yang mengalir melalui *numerical wave tank*. Pada pemodelan *twin chamber* ini, jenis aliran fluida adalah laminar.

Running setFields: setelah itu dilakukan *running setFields*. *setFields* merupakan perintah dengan fungsi melakukan proses setting komposisi fluida yang akan mengalir pada model yang sudah dibuat.

- C. *Penentuan Karakteristik Gelombang (Tipe, Tinggi dan Periode Gelombang)*: memasukkan tinggi dan periode gelombang, serta teori gelombang yang digunakan.

Running olaFOAM: melakukan proses *running model gelombang*.

- D. *Muncul Tampilan paraView*: menampilkan hasil pemodelan gelombang

Analisa dan Olah Data: melakukan analisa pemodelan, merekapitulasi data berdasarkan hasil yang ditampilkan pada *ParaView*.

2.7. Estimasi Daya Listrik

Pada penelitian ini, pertama kali dilakukan perhitungan daya gelombang yang ditangkap oleh kolom model. Data yang digunakan adalah data yang diinputkan pada simulasi pemodelan dengan CFD. Perhitungan daya energi gelombang laut yang ditangkap oleh kolom model tanpa memperhatikan lebar kolom adalah sebagai berikut (Royyana dkk., 2015):

$$P_{\text{gelombang}} = \frac{\rho g^2 T H^2}{32\pi} \quad (3.0)$$

Keterangan:

T = periode gelombang (sec)

H = tinggi gelombang (m)

ρ = massa jenis air laut (kg/m³)

Perhitungan daya menggunakan persamaan yang digunakan pada perhitungan daya turbin air. Daya listrik dihitung setelah menemukan kecepatan aliran air yang melalui turbin. Menurut Grzelak et al. (2007) dapat dihitung daya listrik yang dihasilkan oleh generator turbin menggunakan persamaan 3.1 (dalam Firdaus, 2010).

$$P_{\text{model}} = 0,5 \rho A v^3 C_p \quad (3.1)$$

Keterangan:

ρ = densitas air laut (kg/m³)

A = luas permukaan yang disapu rotor (turbin) (m²)

v = kecepatan aliran air (m/s)

C_p = efisiensi faktor dari turbin

Persamaan di atas sudah sesuai dengan *SI base units* dari satuan daya atau *power*

(Watt = kg.m²/s³)

Setelah diketahui daya yang dihasilkan model dan daya gelombang yang ditangkap oleh model maka efisiensi model dapat dihitung dengan perbandingan daya yang dihasilkan model dengan daya gelombang yang ditangkap oleh model dengan persamaan 3.2 (Karim dkk., 2014).

$$\Pi_{\text{model}} = \frac{P_{\text{model}}}{P_{\text{gelombang}}} \times 100\% \quad (3.2)$$

Perhitungan potensi daya yang ditangkap oleh kolom Twin Chamber dengan kondisi sebenarnya perpanjang gelombang dan lebar kolom datang menggunakan persamaan sebagai berikut (Wijaya, 2010):

$$P_{\text{twinchamber}} \text{ (kW/m}^2\text{)} = \frac{1}{2T} \rho g a^2 \quad (3.3)$$

Dimana *a* adalah amplitudo gelombang. Potensi daya yang dihasilkan oleh model Twin Chamber untuk satu panjang gelombang (L) per lebar kolom (m) untuk beberapa kondisi gelombang perairan di Indonesia menggunakan persamaan 3.3 (Karim dkk., 2014).

$$P_{\text{sesungguhnya}} \text{ (kW/m)} = P_{\text{twinchamber}} \times \Pi_{\text{model}} \times L \quad (3.4)$$

(Halaman ini sengaja di kosongkan)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Pada penelitian ini, diawali dengan melakukan studi pada beberapa literatur yang berkaitan dengan penelitian. Setelah itu dilakukan pemodelan fisik alat dengan menggunakan software berbasis CAD. Software CAD yang digunakan pada penelitian ini adalah software SALOME v.7.8.0. Software ini merupakan software opensource. Setelah dibuat bentuk geometri, dilanjutkan dengan meshing dari geometri. Pembuatan *numerical wave tank* dikerjakan menggunakan fungsi dari software OpenFOAM. Kemudian dilakukan meshing dengan fungsi blockMesh pada OpenFOAM. Hasil pemodelan geometri alat yang telah dimeshing, diimport dalam file format STL. File format STL ini lalu digabungkan dengan NWT yang telah dibuat pada OpenFOAM dengan fungsi refineryMesh pada OpenFOAM. Setelah itu, memilih solver yang ada sebagai penyelesaian pemodelan aliran, yakni OlaFOAM solver, yang berfungsi sebagai solver pemodelan gelombang laut pada OpenFOAM. Hasil dari running solver ini kemudian digunakan sebagai input perhitungan daya yang dihasilkan oleh alat. Untuk selanjutnya dilakukan analisa dan pengambilan kesimpulan.

3.2. Prosedur Penelitian

3.2.1. Studi Literatur

Studi literature dilakukan dengan mempelajari berbagai bahan acuan seperti jurnal, buku, referensi lain seperti Tugas Akhir terdahulu dan artikel internet dalam memahami dan menganalisa permasalahan pada penelitian ini.

3.2.2. Pengumpulan Data

Data-data dalam penelitian ini berguna sebagai input terhadap pengaplikasian perangkat lunak CAD dan CFD. Data yang digunakan adalah data yang diperoleh terkait spesifikasi alat dan cara kerjanya.

3.2.3. Pemodelan Variasi Dimensi Kolom

Pemodelan ini adalah pemodelan bentuk geometri dari alat dengan variasi kolom yang berbeda dengan menggunakan software CAD. Kemudian dilakukan meshing pada model geometri yang telah dibuat.

3.2.4. Simulasi CFD

Simulasi ini dilakukan untuk mendapatkan beberapa parameter akibat osilasi fluida di dalam alat oleh adanya gelombang yang datang mengenai alat. Sehingga parameter-parameter tersebut yang akan digunakan untuk perhitungan daya yang mampu dihasilkan oleh alat.

3.2.5. Analisa Hasil Simulasi CFD

Analisa dilakukan untuk menginterpretasi hasil simulasi dan mengetahui ketepatan simulasi. Sekaligus apakah hasil simulasi sesuai dengan yang diharapkan. Jika sudah sesuai maka dilanjutkan pada langkah berikutnya, jika tidak maka dilakukan simulasi ulang.

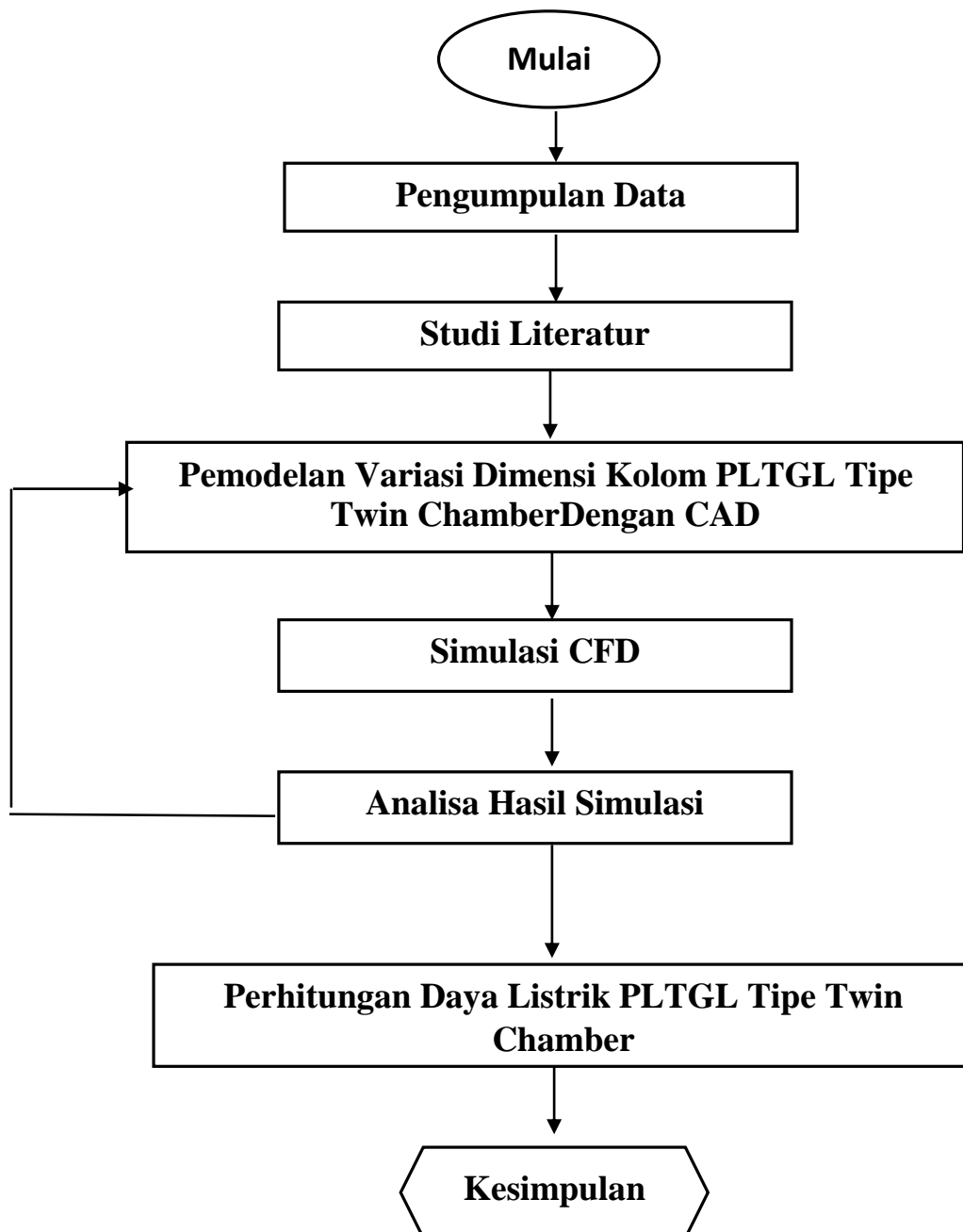
3.2.6. Perhitungan Daya Listrik PLTGL Tipe Twin Chamber

Perhitungan daya listrik PLTGL dihitung berdasarkan asumsi turbin pada area orifice. Nilai kecepatan dan tekanan yang melalui kolom orifice yang merupakan koordinat dimana turbin diletakkan sebagai *power take off*, didapatkan dari simulasi CFD.

3.2.7. Kesimpulan

Setelah langkah-langkah di atas dilalui. Langkah terakhir adalah menarik kesimpulan dari hasil simulasi CFD berdasarkan analisa yang telah dilakukan. Sehingga didapatkan hasil mengenai pengaruh variasi kolom dan gelombang terhadap daya yang dihasilkan.

3.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

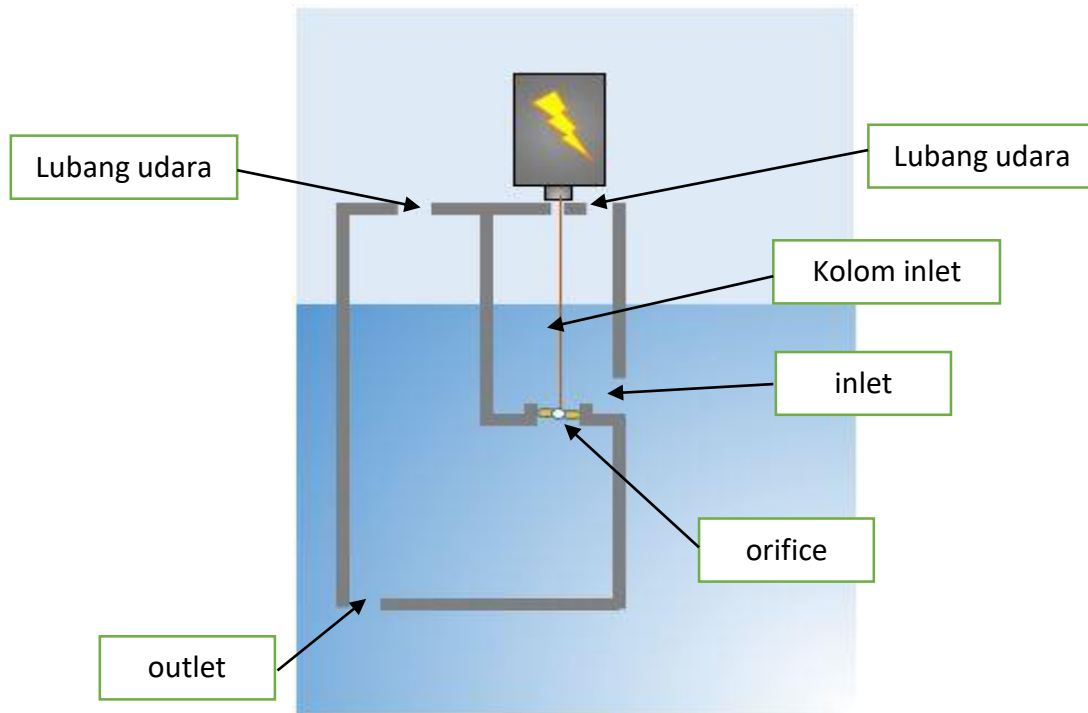
ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Umum

Pada penelitian ini, pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *twin chamber* dimodelkan. Pemodelan dilakukan dengan software berbasis CAD. Software yang digunakan adalah Salome v.7.8.0. Kemudian dilakukan pemodelan *numerical wave tank* yang digunakan untuk simulasi gelombang laut. Pemodelan *numerical wave tank* menggunakan software OpenFOAM. Kondisi batas *numerical wave tank* terdiri dari *inlet*, *outlet*, *atmosphere*, *bottom* dan *front and back*. Input model *twin chamber* pada *numerical wave tank* menggunakan fungsi *snappyHexMesh* pada OpenFOAM. Parameter-parameter dalam pemodelan gelombang disesuaikan diantaranya, tipe aliran, massa jenis fluida, teori gelombang, tinggi dan periode gelombang.

4.2. Pemodelan Geometri Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Twin Chamber

Pemodelan geometri pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *twin chamber* dilakukan dengan memodelkan dua variasi ukuran kolom. Model kolom kedua lebih tinggi daripada kolom pertama. Perbedaan hanya terletak pada tinggi kolom, sedangkan dimensi lain dibuat sama. Pemodelan dibuat dengan pendekatan 2D. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 4. 1 Bentuk Geometri Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL)

Kemudian untuk dimensi dari beberapa bagian di atas ditunjukkan oleh tabel 4.1. Penentuan dimensi mengacu berdasarkan model Drakoo yang merupakan acuan dari model PLTGL Twin Chamber dalam penelitian ini dengan beberapa penyesuaian. Dimensi masing model diberikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1. Dimensi PLTGL Twin Chamber dengan Pendekatan 2D

Keterangan	Dimensi PLTGL Twin Chamber (m)	
	Model A	Model B
Lebar lubang udara	0,05 (m)	0,05 (m)
Kolom orifice (lokasi turbin sebagai power take-off)	0,1 (m)	0,1 (m)
Tinggi lubang inlet	0,075 (m)	0,075 (m)
Tinggi lubang outlet	0,075 (m)	0,075 (m)
Tinggi kolom orifice	0,1 (m)	0,1 (m)
Tinggi kolom inlet	0,675 (m)	0,775 (m)

Tinggi kolom outlet	1,25 (m)	1,55 (m)
Lebar kolom alat searah datangnya gelombang	1,0 (m)	1,0 (m)
Kedalaman air laut	1,9 (m)	1,9 (m)
Kedalaman dasar alat dari dasar laut	0,4 (m)	0,4 (m)

Setelah diberikan masing-masing dimensi dari model tipe A dan tipe B kemudian dilakukan pemodelan dengan software CAD. Pemodelan geometri dilakukan meshing dengan tipe mesing adalah Gmsh 3D. Ukuran minimal cell meshing adalah 0 dan maksimal 0.001.

Pemodelan geometri dari model twin chamber dilakukan menggunakan software berbasis CAD yaitu SALOME versi 7.8.0. Cara membuka software tersebut adalah dengan membukak terminal pada linux. Kemudian ketik cd SALOME (mengikuti nama folder).

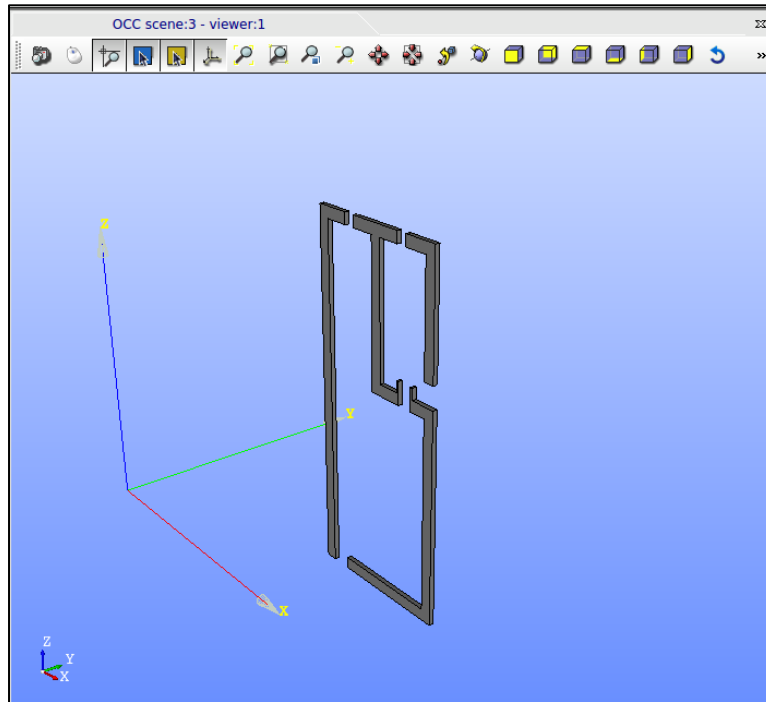
```

rizki@rizki-HP-Notebook: ~/SALOME/SALOME-7.8.0-OPENSOURCE-UB14
rizki@rizki-HP-Notebook:~$ cd SALOME
rizki@rizki-HP-Notebook:~/SALOME$ cd SALOME-7.8.0-OPENSOURCE-UB14
rizki@rizki-HP-Notebook:~/SALOME/SALOME-7.8.0-OPENSOURCE-UB14$ ./salome
runSalome running on rizki-HP-Notebook
Searching for a free port for naming service: 2810 - OK
Searching Naming Service + found in 0.1 seconds
Searching /Kernel/Session in Naming Service +++Warning: this type (Study,objre
f) already exists, it will be ignored.
+ found in 3.0 seconds
Start SALOME, elapsed time : 3.2 seconds

```

Gambar 4. 2. Cara Membuka Software SALOME pada Terminal Linux

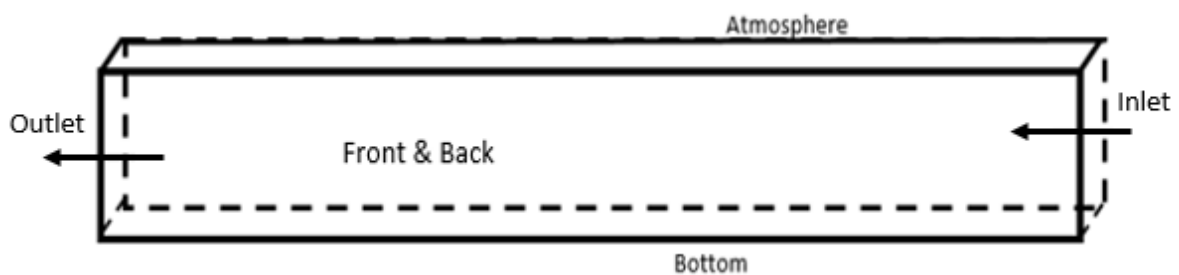
Setelah itu akan muncul tampilan dari SALOME. Klik pada bagian geometry. Dilanjutkan dengan membuat struktur geometri twin chamber berdasarkan dengan dimensi yang telah ditentukan. Hasil pemodelan struktur twin chamber dapat dilihat pada gambar. Hasil pemodelan tersebut kemudian di export ke dalam format .stl agar dapat dirunning pada OpenFOAM.



Gambar 4. 3. Model Twin Chamber Tipe A yang Telah dibuat dengan Software SALOME

4.3. Pemodelan Gemoteri Flume Gelombang

Pemodelan geometri flume disesuaikan dengan tutorial yang ada pada software CFD yang digunakan pada penelitian ini, yakni OpenFOAM. Flume dimodelkan dengan bentuk 3D namun untuk penyelesaiannya dengan prinsip 2D. Pada Gambar 12. menunjukkan kondisi batas dari *numerical wave tank*.



Gambar 4. 4. Numerical Wave Tank (NWT)

Penentuan dimensi dari Numerical Wave Tank mengacu pada penelitian sebelumnya dengan sedikit penyesuaian.

Tabel 4. 2 Dimensi dari Numerical Wave Tank (NWT)

Dimensi	Nilai (m)
Panjang	30
Lebar	0,02
Tinggi	2,2

Tabel 4. 3. Keterangan Bagian-Bagian Numerical Wave Tank (NWT)

No.	Tipe <i>Boundary Condition</i>	Keterangan
1	<i>Inlet</i>	Bagian arah datangnya gelombang
2	<i>Outlet</i>	Bagian arah keluarnya gelombang
3	<i>Bottom</i>	Bagian dasar dari aliran gelombang
4	<i>Atmosphere</i>	Bagian permukaan atas dari NWT yang merupakan batas dari kondisi udara
5	<i>FrontAndBack</i>	Bagian samping dari NWT

Pemodelan geometri Numerical Wave Tank (NWT) dilakukan dengan menggunakan OpenFOAM sebagaimana dilakukan oleh penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Davidson (2015). Kemudian dilakukan meshing dengan fungsi blockMesh. Dalam pemodelan dengan OpenFOAM. Digunakan case existing pada OlaFOAM tutorial solver. Folder case existing tersebut bernama waveBaseFlume. Lalu di copy pada folder run. Kemudian dilakukan beberapa penyesuaian berdasarkan rencana model yang akan dibuat.

Penyesuaian pertama dilakukan pada dimensi numerical wave tank. Merubah dimensi menjadi panjang 30 m, lebar 0,02 m, dan tinggi 3 m. cara memasukkan nilai dimensi numerical water tank dengan fungsi blockMesh

```

blockMeshDict x  fvSchemes x
/*----- C++ -----*/
=====
Field      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
Operation  | Version: 1.7.1
And        | Web: www.OpenFOAM.com
Manipulation
-----*/
FoamFile
{
  version      2.0;
  format       ascii;
  class        dictionary;
  object       blockMeshDict;
}

// *****

convertToMeters 1;

vertices
(
  (0.0 0.02 0.0)
  (30.0 0.02 0.0)
  (30.0 0.02 3)
  (0.0 0.02 3)
  (0.0 0.04 0.0)
  (30.0 0.04 0.0)
  (30.0 0.04 3)
  (0.0 0.04 3)
);

```

Gambar 4. 5. Screenshoot File Block Mesh pada OpenFOAM (*Dimensi Numerical Wave Tank*)

File blockMesh di atas menunjukkan titik-titik (vertices) dari numerical wave tank. Titik pertama disebut titik 0, titik kedua adalah titik 1, sampai titik terakhir adalah titik 7.

```

blocks
(
  hex (0 1 5 4 3 2 6 7) (1000 1 200) simpleGrading (1 1 10)
);
edges
(
);
patches
(
  patch inlet
  (
    (0 4 7 3)
  )
  patch outlet
  (
    (1 5 6 2)
  )
  wall bottom
  (
    (0 1 5 4)
  )
  patch atmosphere
  (
    (3 2 6 7)
  )
  empty frontAndBack
  (
    (0 1 2 3)
    (4 5 6 7)
  )
);

```

Gambar 4. 6. Screenshoot File Block Mesh pada OpenFOAM (*Boundary Condition*)

Kemudian menentukan meshing dari numerical wave tank. Meshing pada numerical wave tank pada pada sumbu x di bagi menjadi 1000 sel, sumbu y 1 sel dan sumbu z 200 sel. Kemudian *boundary condition* dari masing-masing sisi numerical wave tank ditentukan kondisi batasnya.

Patch inlet merupakan sisi masuk dari aliran fluida. Patch outlet merupakan sisi keluar dari aliran fluida. Sisi bawah adalah wall bottom sehingga bersifat seperti dinding yang tidak dapat ditembus oleh aliran fluida. Sisi atas adalah patch atmosphere yang berarti bahwa sisi atas bersifat seperti udara pada atmosfer. Sisi depan dan belakang adalah empty tidak ada sifat apapun dan tidak mempengaruhi kondisi aliran. Setelah itu dilakukan running fungsi blockMesh pada terminal sebagaimana ditunjukkan pada gambar.

```
rizki@rizki-HP-Notebook:~$ run
rizki@rizki-HP-Notebook:~/OpenFOAM/rizki-4.0/run$ cd twinChamber1
rizki@rizki-HP-Notebook:~/OpenFOAM/rizki-4.0/run/twinChamber1$ blockMesh
/*-----*/
|=====|
| \      / | F ield           | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
|  \    /  | O peration      | Version: 4.0
|   \  /   | A nd            | Web:      www.OpenFOAM.org
|    \/    | M anipulation   |
|=====|
/*-----*/
Build : 4.0-665f1db4c1f1
Exec : blockMesh
Date : Dec 26 2017
Time : 02:31:02
Host : "rizki-HP-Notebook"
PID : 5250
Case : /home/rizki/OpenFOAM/rizki-4.0/run/twinChamber1
nProcs : 1
sigFpe : Enabling floating point exception trapping (FOAM_SIGFPE).
fileModificationChecking : Monitoring run-time modified files using timeStampMaster
allowSystemOperations : Allowing user-supplied system call operations

// ***** //
Create time

Creating block mesh from
"/home/rizki/OpenFOAM/rizki-4.0/run/twinChamber1/system/blockMeshDict"
Creating curved edges
Creating topology blocks
Creating topology patches

Reading patches section

Creating block mesh topology

Reading physicalType from existing boundary file

Default patch type set to empty

Check topology
```

Gambar 4. 7. Proses Awal Running Block Mesh pada Terminal LINUX

```
Basic statistics
    Number of internal faces : 0
    Number of boundary faces : 6
    Number of defined boundary faces : 6
    Number of undefined boundary faces : 0
Checking patch -> block consistency

Creating block offsets
Creating merge list .

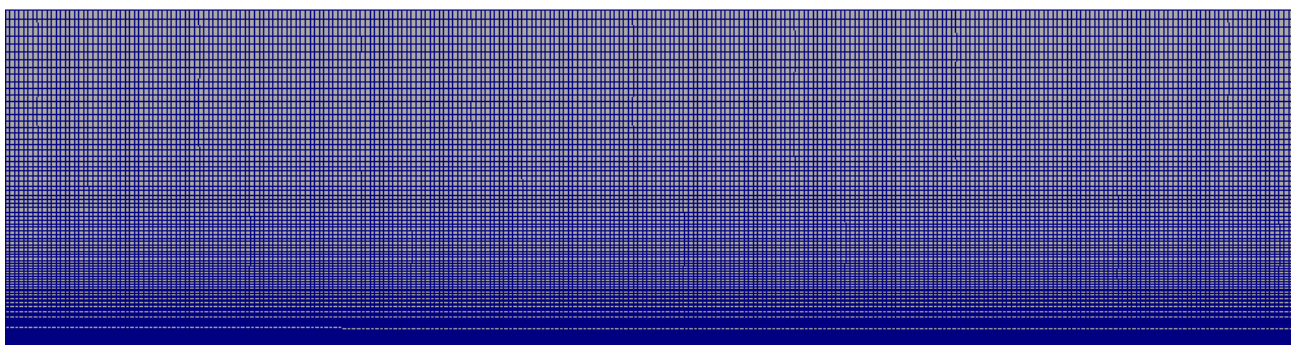
Creating polyMesh from blockMesh
Creating patches
Creating cells
Creating points with scale 1
    Block 0 cell size :
        i : 0.03 .. 0.03
        j : 0.02 .. 0.02
        k : 0.00560547 .. 0.0560547

Writing polyMesh
-----
Mesh Information
-----
    boundingBox: (0 0.02 0) (30 0.04 2.2)
    nPoints: 202202
    nCells: 100000
    nFaces: 401100
    nInternalFaces: 198900
-----
Patches
-----
    patch 0 (start: 198900 size: 100) name: inlet
    patch 1 (start: 199000 size: 100) name: outlet
    patch 2 (start: 199100 size: 1000) name: bottom
    patch 3 (start: 200100 size: 1000) name: atmosphere
    patch 4 (start: 201100 size: 200000) name: frontAndBack

End
rizki@rizki-HP-Notebook:~/OpenFOAM/rizki-4.0/run/twinChamber1$ █
```

Gambar 4. 8. Proses Akhir Running *Block Mesh* pada Terminal LINUX

Setelah itu dapat dilihat hasil dari pemodelan numerical wave tank dengan running fungsi blockMesh menggunakan paraView. Numerical wave tank ditunjukkan pada Gambr 4.9.

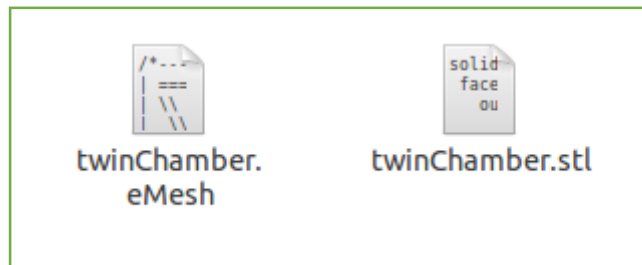


Gambar 4. 9. Tampilan Model *Numerical Wave Tank* (NWT) dengan Kondisi Hasil Meshing Melalui *Block Mesh*

4.4. Penggabungan Geometri Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Twin Chamber pada Geometri Flume Gelombang

Langkah berikutnya sebelum melakukan penggabungan antara model twin chamber dengan model numerical wave tank. Cara pertama yakni mengekstrak file twinChamber.stl menjadi file twinChamber.eMesh dengan surfaceFeatureExtractDict.

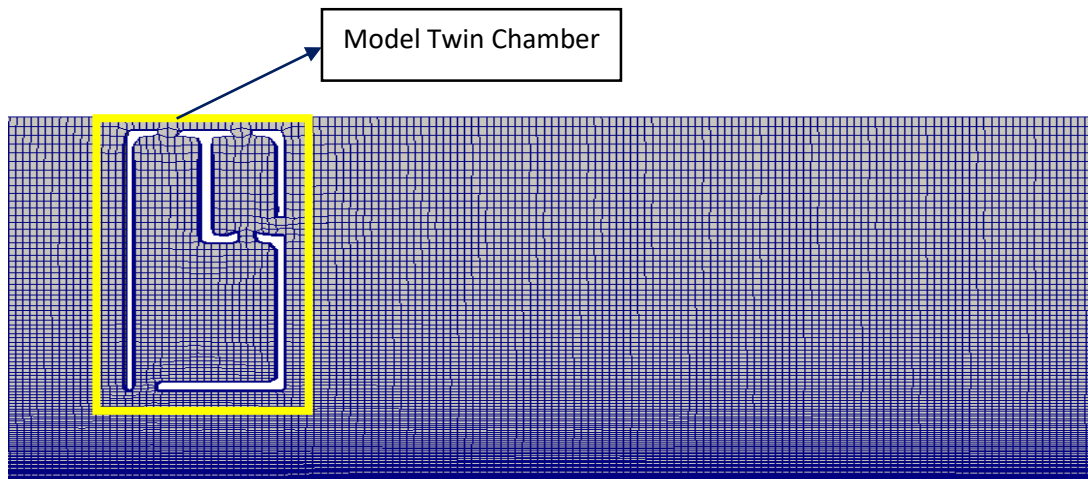
Setelah penyesuaian pada file surfaceFeatureExtractDict telah selesai. Kemudian dilakukan running pada terminal. Proses running dilakukan dengan menjalankan fungsi surfaceFeatureExtract pada terminal Linux. Setelah running selesai didapatkan hasil ekstrak file twinChamber.stl menjadi twinChamber.eMesh ditunjukkan pada gambar. Lokasi kedua file tersebut terletak pada folder dengan nama triSurface.



Gambar 4. 10. File Model Twin Chamber Sebelum dan Sesudah di Ekstrak

Proses selanjutnya adalah menggabungkan model twichamber pada numerical wave tank dengan snappyHexMeshDict. Fungsi snappyHexMesh merupakan fungsi untuk menambahkan suatu obyek baru pada obyek yang telah dibuat pada fungsi blockMesh. Gambar. Menunjukkan file snappyHexMesh yang telah dilakukan beberapa penyesuaian berdasarkan model yang ingin dibuat.

Setelah beberapa penyesuaian telah selesai. Kemudian running fungsi snappyHexMesh pada terminal. Hasil dari running snappyHexMesh dapat dilihat pada paraView. Hasil tersebut ditunjukkan pada gambar. Posisi peletakan PTGL-Twin Chamber Tipe A di dalam Numerical Wave Tank adalah pada posisi 19 m dari bagian inlet dan 0.4 meter dari bagian bottom NWT.



Gambar 4. 11. Hasil Penggabungan Model Twin Chamber dengan Model *Numerical Wave Tank* (NWT)

4.5. Running Pemodelan

Proses running pemodelan pada OlaFOAM solver mengacu pada diagram alir yakni penentuan karakteristik gelombang. Setelah pemodelan geometri model twin chamber selesai. Langkah selanjutnya adalah melakukan penyesuaian skema aliran fluida yang melalui numerical wave tank. Ada beberapa file yang perlu dilakukan penyesuaian:

1. File Pada Folder Constant:
 - a. Dynamic Mesh
 - b. Transport Properties
 - c. Turbulance Properties
 - d. Wave Dict
 - e. g (Gravitasi)
2. File Pada Folder System:
 - a. Fvschemes
 - b. Fvsolution
 - c. setFields
 - d. Control Dict
3. File Pada Folder 0
 - a. Alpha.water
 - b. U (Kecepatan)
 - c. P_rgh (Tekanan)

4.5.1. Proses Penyesuaian File-File Kriteria Pemodelan Fluida pada OpenFOAM

4.5.1.1. File Pada Folder Constant

a. Dynamic Mesh

Pada file dynamic mesh menentukan apakah dinamika meshing ketika dalam running pemodelan merupakan dinami atau statis. Pada pemodelan ini dinamika dari meshing staticFvMesh.

b. Transport Properties

Pada file transport properties ditentukan tipe pemodelan transport yang berfokus pada penilaian, viskositas dinamis (μ), konduktivitas thermal (k), dan diffusitas thermal (α). Transport properties yang ditentukan pada pemodelan ini adalah nilai viskositas dinamis dan massa jenis dari fluida.

Tipe fase pada pemodelan adalah fase antara air dan udara. Untuk fase air tipe transport model adalah Newtonian dengan nilai ν (viskositas kinematik) adalah $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ dan massa jenis fluida adalah $\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$. Untuk fase udara tipe transport model adalah Newtonian dengan nilai ν (viskositas kinematik) adalah $1,48 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ dan massa jenis fluida adalah $\rho = 1 \text{ kg/m}^3$. Dan nilai sigma adalah 0.07 kg/s^2 .

c. Turbulence Properties

Pada file turbulence properties ditentukan tipe pemodelan turbulensi aliran laminar atau turbulans. Pada pemodelan ini tipe turbulensi aliran adalah laminar.

d. waveDict

Pada file ini ditentukan nilai tinggi gelombang, periode gelombang dan fase gelombang. Data gelombang pada file waveDict ditentukan sebagaimana data gelombang yang telah dipilih.

Pada di atas merupakan contoh data gelombang pada simulasi pemodelan twin chamber model A dengan skenario gelombang pertama. Pada OpenFOAM solver, teori gelombang Airy dituliskan sebagai teori Stokes I. beberapa parameter lainnya menggunakan nilai default dari template software.

Pemilihan data gelombang di sini mengacu pada tabel diagram daya Drakoo yang telah diberikan berdasarkan hasil pengujian.

Tabel 4. 4. Power Output Scatter Diagram (kW)

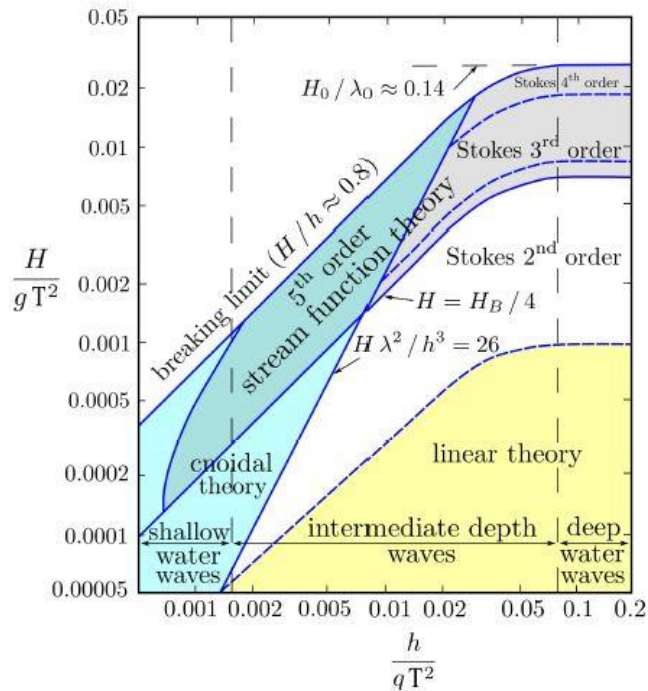
T_p (s) \ H_s (m)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.2	0.04	0.10	0.15	0.17	0.16	0.14	0.11	0.09	0.07	0.01
0.3	0.08	0.25	0.37	0.43	0.41	0.35	0.28	0.20	0.15	0.03
0.4	0.15	0.45	0.68	0.78	0.75	0.64	0.50	0.40	0.29	0.04
0.5	0.26	0.72	1.10	1.30	1.22	1.03	0.81	0.63	0.46	0.07
0.6	0.37	1.07	1.64	1.87	1.80	1.54	1.20	0.93	0.68	0.10
0.7	0.52	1.52	2.24	2.55	2.45	2.10	1.68	1.33	0.95	0.14
0.8	0.68	1.98	2.92	3.33	3.21	2.74	2.19	1.74	1.30	0.18
0.9	0.88	2.51	3.69	4.00	4.00	3.47	2.77	2.21	1.65	0.25
1	0.88	2.51	3.69	4.00	4.00	3.47	2.77	2.21	1.65	0.25
1.1	0.88	2.51	3.69	4.00	4.00	3.47	2.77	2.21	1.65	0.25
1.2	0.88	2.51	3.69	4.00	4.00	3.47	2.77	2.21	1.65	0.25
1.3	0.88	2.51	3.69	4.00	4.00	3.47	2.77	2.21	1.65	0.25

Berdasarkan diagram di atas maka dipilih dua data gelombang. Data gelombang yang dipilih adalah data gelombang yang menghasilkan daya pada awal cut-off kira-kira 1,87 Kw dan daya puncak 4,00 kW. Kemudian skala diperkecil dalam 1:50 untuk tinggi gelombang (H) dan 1:3 untuk periode gelombang (T). Sehingga data gelombang yang dipilih ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4. 5. Data Gelombang

Skenario	Periode T (s)	Tinggi Gelombang H (m)
1	2	0.012
2	2	0.018

Kemudian dicari teori gelombang yang digunakan berdasarkan tabel data gelombang. Tabel data gelombang ditunjukkan pada gambar 4.12.



Gambar 4. 12. Teori Gelombang Laut

Setelah dihitung nilai H/gT^2 dan nilai h/gT^2 berdasarkan tinggi dan periode gelombang yang dipilih. Kemudian dicari teori gelombang yang akan digunakan pada pemodelan menggunakan tabel rentang teori gelombang sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 4.3. Didapatkan bahwa teori gelombang yang digunakan adalah teori gelombang Airy. Berikut ditunjukkan oleh Tabel 4.6.

Tabel 4. 6. Teori Gelombang

Skenario Gelombang	H/gT^2	h/gT^2	Teori Gelombang
1	0.00030	0.045	Airy
2	0.00045	0.045	Airy

e. g (Gravitasi)

Pada file g (gravitasi) menentukan nilai percepatan gravitasi yang dipilih. Nilai percepatan gravitasi pada pemodelan ini adalah $9,8 \text{ m/s}^2$.

4.5.1.2. File Pada Folder Constant

a. fvSchemes

Pada file fvSchemes pada folder *system* berfungsi melakukan setting numerik untuk beberapa terma seperti, turunan suatu persamaan, yang dihitung selama simulasi. Pada penelitian ini skema setting numeric menggunakan default dari software yakni menggunakan skema Gauss Linear.

b. fvSolution

File fvSolution pada folder *system* mengatur penyelesaian-penyelesaian persamaan linear dan algoritma yang digunakan sebagai solusi. Pada penelitian ini skema penyelesaian-penyelesaiannya menggunakan default dari software

c. setFields

File ini berfungsi untuk melakukan setting nilai pada sel-sel yang telah dipilih. Dan setting nilai pada penelitian ini tipe fase dari sel-sel adalah fase air (1) atau udara (0).

d. controlDict

Informasi yang berkaitan dengan control dari waktu silmulasi ditentukan pada file controlDict.

Pada control waktu pemodelan ditentukan tipe simulasi adalah aplikasi olaFoam. Perhitungan interpolasi dilakukan pada tiap deltaT 0,001 s namun penulisan hasil interpolasi tiap mencapai kelipatan 0,05. Running pemodelan dimulai pada waktu ke-0 dan diakhiri pada waktu ke-50. Sedangkan pada parameter-parameter lainnya menggunakan default dari software. Pada hasil pemodelan, waktu simulasi dinyatakan dengan time stepness. Time stepness merupakan hasil pembagian dari `endTime` dibagi `writeInterval`. Sehingga pada pemodelan ini dengan `endTime` 50 s dibagi `writeInterval` 0,05 s maka total time stepness adalah 1000 time stepness.

4.5.1.2. File Pada Folder 0

Folder 0 merupakan folder yang berisi nilai awal dari parameter yang akan disimulasikan dan dicari hasilnya. Pada pemodelan ini parameter yang diukur ada tiga yakni, elevasi gelombang air laut, kecepatan dan tekanan. Nilai awal dan kondisi batas dari tiga parameter tersebut adalah sebagai berikut.

a. `alpha.water`

Pada parameter nilai elevasi gelombang kondisi batas dari Numerical Water Tank adalah sebagaimana di bawah ini. Pada simulasi `alpha.water` tidak dinyatakan tanpa persamaan. Pada sisi `inlet` kondisi batasnya adalah `waveAlpha` yang menunjukkan bahwa inlet merupakan sisi masuk gelombang laut. Pada sisi `frontAndBack` kondisi batasnya adalah `empty` yang menunjukkan bahwa sisi ini seperti kosong dan tidak memberi pengaruh apapun pada simulasi aliran.

Pada sisi `outlet` kondisi batasnya adalah `zeroGradient` yang menunjukkan bahwa sisi outlet yang merupakan sisi keluarnya aliran tidak memberikan pengaruh perubahan pada simulasi aliran. Pada sisi `bottom` kondisi batasnya adalah `zeroGradient` yang menunjukkan juga bahwa sisi ini tidak memberikan pengaruh perubahan pada aliran. Pada sisi `atmosphere` kondisi batasnya adalah `inletOutlet` yang menunjukkan bahwa sisi ini berfungsi sebagai inlet dan outlet selama simulasi gelombang mengikuti elevasi permukaan gelombang air laut. Kemudian pada model `twinChamber` dikondisikan sebagai `zeroGradient` juga, dalam artian tiap sisi model tidak memberikan pengaruh pada aliran namun bentuk geometrinya tetap memberikan perubahan ada simulasi aliran

b. `p_rgh` (tekanan)

Pada parameter tekanan aliran gelombang pada penelitian ini diberikan sebagai berikut. Dengan tekanan aliran satuannya dinyatakan sebagai kg/m.s^2 . nilai awal tekanan aliran fluida adalah uniform 0. Pada sisi `inlet` kondisi batasnya adalah `fixedFluxPressure` yang menunjukkan bahwa inlet tidak memberikan pengaruh pada perubahan tekanan aliran. Pada sisi `frontAndBack` kondisi batasnya adalah `empty` yang menunjukkan bahwa sisi ini seperti kosong dan tidak memberi pengaruh apapun pada simulasi tekanan aliran.

Pada sisi `outlet` kondisi batasnya adalah `fixedFluxPressure` yang menunjukkan bahwa sisi outlet yang merupakan sisi keluarnya aliran tidak memberikan pengaruh perubahan pada simulasi tekanan aliran. Pada sisi `bottom` kondisi batasnya adalah `fixedFluxPressure` yang menunjukkan juga bahwa sisi ini tidak memberikan pengaruh perubahan pada tekanan aliran. Pada sisi `atmosphere` kondisi batasnya adalah `totalPressure` yang menunjukkan bahwa sisi ini berfungsi sebagai tekanan selama simulasi berubah-ubah mengikuti elevasi permukaan gelombang air laut. Kemudian pada model `twinChamber` dikondisikan sebagai `fixedFluxPressure` juga, dalam artian tiap sisi

model tidak memberikan pengaruh pada tekanan aliran namun bentuk geometrinya tetap memberikan perubahan ada simulasi tekanan aliran fluida.

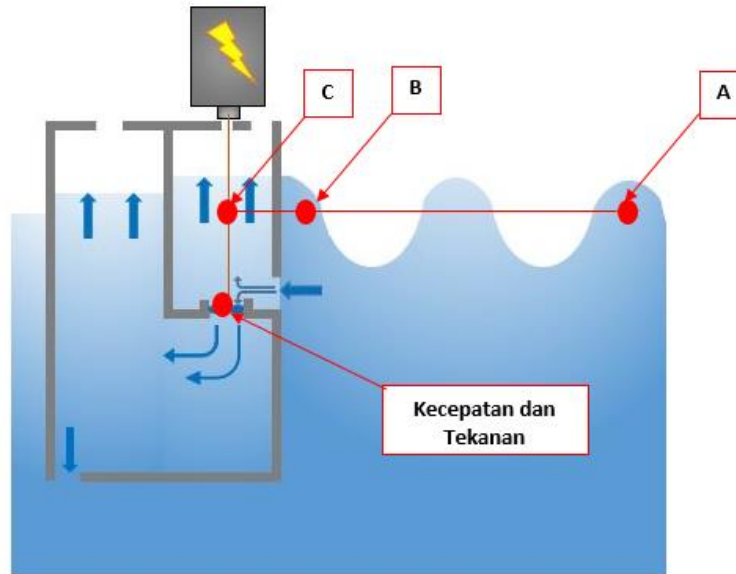
b. u (kecepatan)

Pada parameter tekanan aliran gelombang pada penelitian ini diberikan sebagai berikut. Dengan tekanan aliran satuannya dinyatakan sebagai m/s. nilai awal kecepatan aliran fluida adalah uniform 0 pada arah sumbu-x, sumbu-y, sumbu-z. Pada sisi `inlet` kondisi batasnya adalah `waveVelocity` yang menunjukkan bahwa inlet merupakan awal terjadinya kecepatan gelombang. Pada sisi `frontAndBack` kondisi batasnya adalah `empty` yang menunjukkan bahwa sisi ini seperti kosong dan tidak memberi pengaruh apapun pada simulasi kecepatan aliran.

Pada sisi `outlet` kondisi batasnya adalah `waveAbsorption2DVelocity` yang menunjukkan bahwa sisi outlet yang merupakan sisi yang menjadi daerah serapan kecepatan gelombang. Pada sisi `bottom` kondisi batasnya adalah `fixedValue` yang menunjukkan juga bahwa sisi ini tidak memberikan pengaruh perubahan pada tekanan aliran. Pada sisi `atmosphere` kondisi batasnya adalah `pressureInletOutletVelocity` yang menunjukkan bahwa sisi ini berfungsi sebagai sisi yang fleksibel terhadap simulasi kecepatan aliran berubah-ubah mengikuti elevasi permukaan gelombang air laut. Kemudian pada model `twinChamber` dikondisikan sebagai `fixedValue` juga, dalam artian tiap sisi model tidak memberikan pengaruh pada kecepatan aliran namun bentuk geometrinya tetap memberikan perubahan ada simulasi kecepatan aliran fluida.

4.5.2. Hasil Simulasi Pemodelan

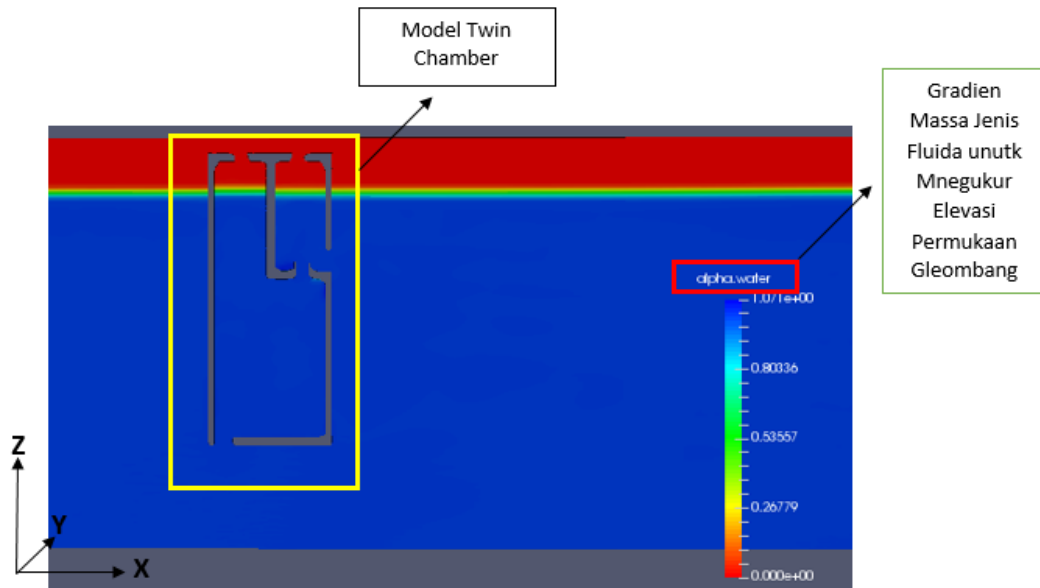
Berikut adalah hasil dari pemodelan. Nilai yang diambil adalah Elevasi Permukaan Gelombang Laut tiga titik, kecepatan, dan tekanan gelombang. Titik elevasi, kecepatan dan tekanan yang diambil ditunjukkan pada Gambar 15.



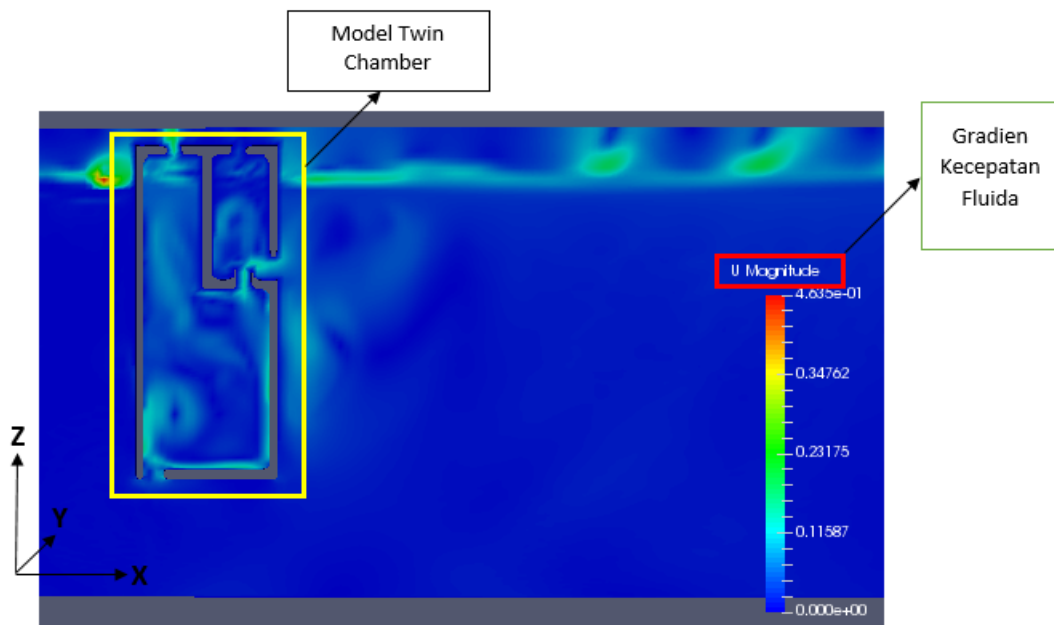
Gambar 4. 13. Titik-titik Pengambilan Data Elevasi, Kecepatan dan Tekanan

Titik pengambilan data elevasi gelombang terbagi menjadi 3, yaitu Titik A (berada 5 m dari model), titik B (berada 0,1 m dari model) dan titik C (berada di dalam kolom inlet model). Untuk pengambilan data kecepatan dan tekanan berada di dalam orifice.

Hasil pemodelan ditampilkan dalam bentuk dua dimensi dengan software paraView. Hasil pemodelan elevasi permukaan gelombang air laut ditunjukkan pada Gambar 4.5. Warna merah menunjukkan udara dengan nilai $\alpha_{\text{water}} = 0$ dan air laut ditunjukkan dengan warna biru dengan nilai $\alpha_{\text{water}} = 1$. Hasil pemodelan kecepatan aliran fluida sepanjang *numerical wave tank* (NWT) ditunjukkan oleh gambar 4.6. Gradien warna biru tua menunjukkan bahwa kecepatan aliran fluida adalah nol. Satuan kecepatan yang didapatkan adalah meter per satuan detik. Hasil pemodelan tekanan aliran fluida sepanjang *numerical wave tank* ditunjukkan pada Gambar 4.7. Warna biru tua menunjukkan bahwa tekanan tertinggi. Dan warna merah menunjukkan tekanan fluida terendah.



Gambar 4. 14. Hasil Pemodelan Elevasi Gelombang Air Laut pada Model 2 dengan $H_k = 1,55$ m untuk Skenario Kondisi Gelombang 1 ($H = 0,012$ m, $T = 2$ s)



Gambar 4. 15. Hasil Pemodelan Kecepatan Gelombang Air Laut pada Model 2 dengan $H_k = 1,55$ m untuk Skenario Kondisi Gelombang 1 ($H = 0,012$ m, $T = 2$ s)

Variasi kolom untuk penelitian ini ada dua yakni tinggi kolom 1,25 m dan 1,55 m dengan skenario gelombang $H_1/gT^2 = 0,0030$ dan $H_2/gT^2 = 0,0045$ untuk kedua model.

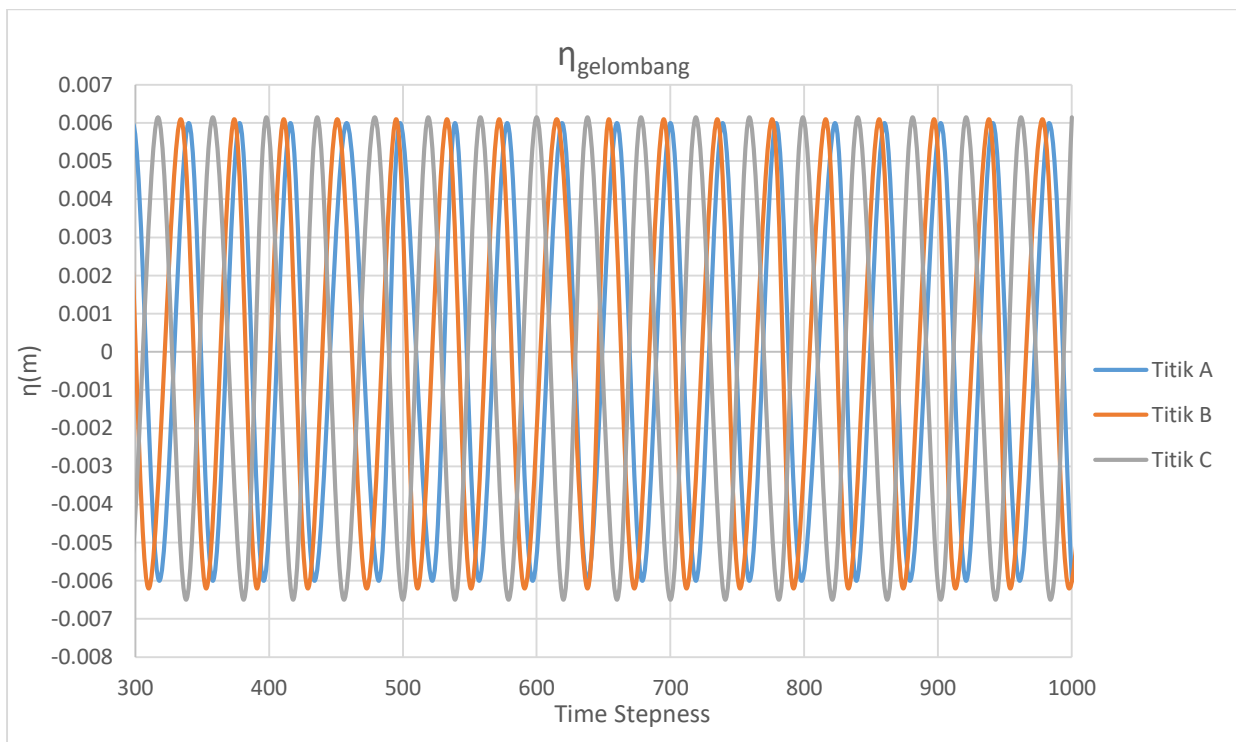
Sehingga skenario pemodelan ada empat sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.7. Data hasil pemodelan secara detail dapat dilihat pada subbab 4.5.1.1. hingga subbab 4.5.1.4.

Tabel 4. 7. Skenario Pemodelan

No.	Tipe Model	Tinggi Kolom H_k (m)	Skenario Gelombang	
			H_1/gT^2	H_2/gT^2
1.	Model A	1,25	0.00030	0.00045
2.	Model B	1,55		

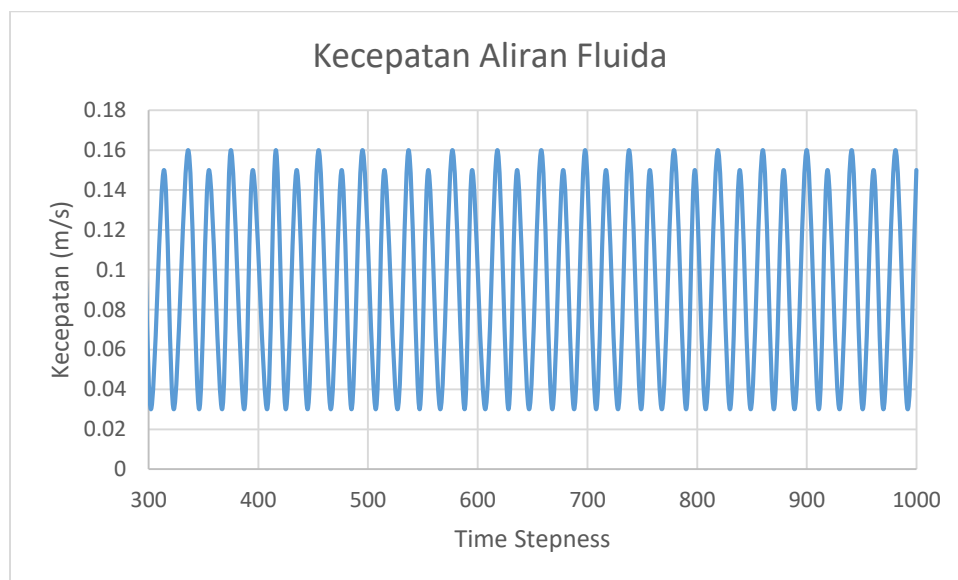
4.5.2.1. Model A Skenario Gelombang H_1/gT^2

Pada pemodelan pertama, ukuran grid untuk akurasi generasi dan propagasi gelombang pada Numerical Wave Tank adalah digunakan menggunakan grid refinement. Gelombang linear dengan periode $T = 2$ s dan tinggi $H = 0.012$ m dengan time steepness 0.05 secara umum terjadi pada Numerical Wave Tank 2-dimensi dengan panjang $L_{\text{tank}} = 30$ m, tinggi $H_{\text{tank}} = 2.20$ m dan kedalaman air $d = 1.9$ m.



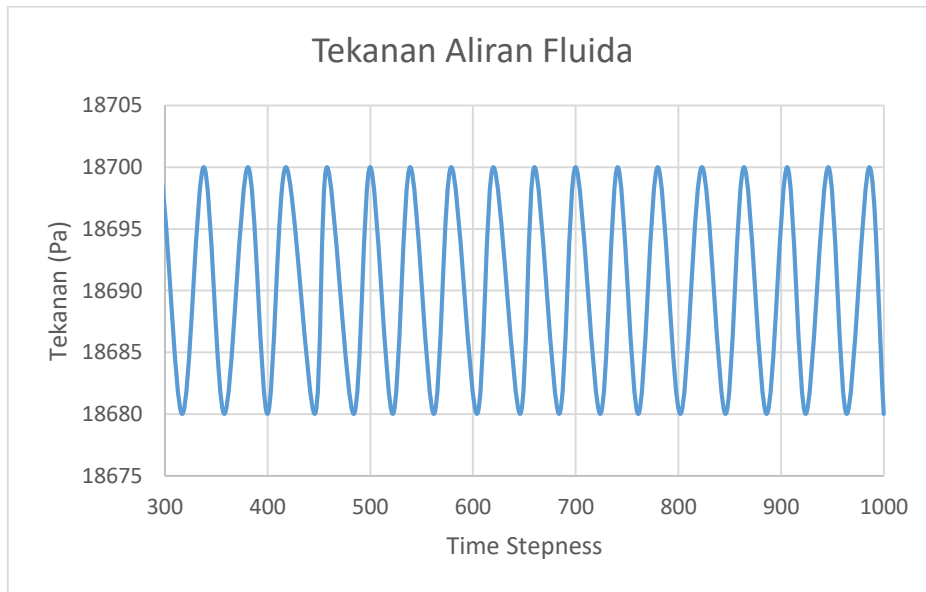
Gambar 4. 16. Elevasi Permukaan Gelombang Laut pada Titik A, B dan C mengacu Gambar 4. 13 ($H = 0,012$ m dan $T = 2$ s)

Hasil dari pemodelan elevasi permukaan bebas untuk kondisi gelombang pertama telah sesuai dengan data gelombang yang diinputkan. Kemudian data direkam untuk tiga titik. Titik pertama adalah titik A yang berada tepat 5 m dari kolom inlet alat. Elevasi gelombang puncak terjadi pada titik tersebut dimulai pada time stepness ke-300. Titik kedua adalah titik B yang berada tepat 0,1 m dari kolom inlet. Elevasi puncak gelombang terjadi pada time stepness ke-330. Kemudian elevasi puncak gelombang pada titik C yakni pada kolom inlet, elevasi terjadi pada time stepness ke-360. Elevasi puncak gelombang dan lembah gelombang pada masing-masing titik mengalami perubahan. Pada titik B, elevasi puncak bertambah sekitar 0,0001 m dan elevasi lembah gelombang bertambah sekitar -0,0002 m. pada titik C, elevasi puncak gelombang bertambah sekitar 0,0002 m dan elevasi lembah gelombang bertambah sekitar -0,0001 m.



Gambar 4. 17. Kecepatan Aliran Fluida pada Orifice ($H = 0,012$ m dan $T = 2$ s)

Kemudian diukur Kecepatan aliran fluida yang melalui kolom orifice. Pada kolom orifice, Kecepatan aliran fluida direkam mulai time stepness ke-300 dengan kecepatan awal sekitar 0,5 m/s. Kecepatan aliran fluida terus berubah naik turun mengikuti osilasi dari gelombang datang yang ditangkap oleh kolom inlet. Pada satu periode gelombang terjadi beberapa perubahan naik turun Kecepatan aliran fluida. Rata-rata kecepatan tertinggi fluida yang melalui orifice antara 0,15 - 0,16 m/s sedangkan rata-rata kecepatan terendah fluida pada orifice adalah 0,03 m/s.

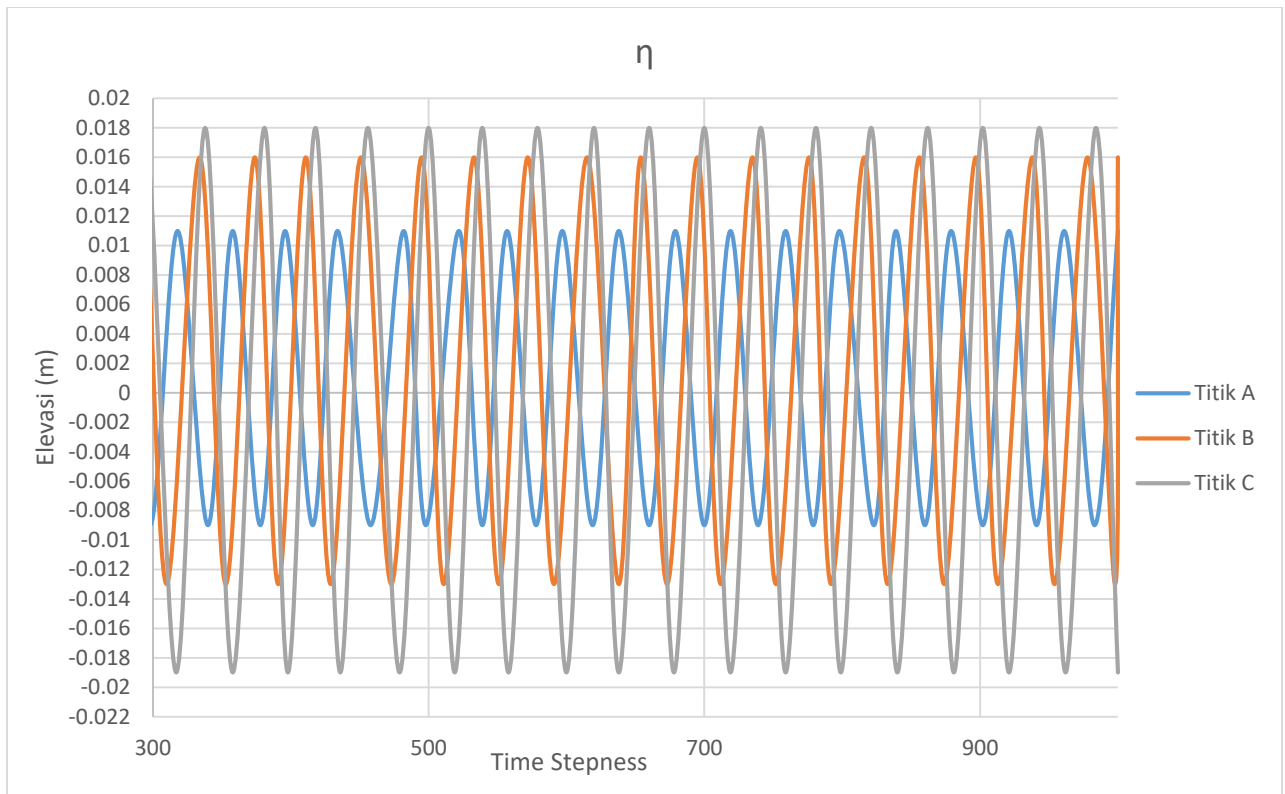


Gambar 4. 18. Tekanan Aliran Fluida pada Orifice ($H = 0,012$ m dan $T = 2$ s)

Tekanan Aliran Fluida diukur hanya pada titik C tepat pada kolom orifice. Dari hasil pengukuran tekanan ini diketahui Tekanan Aliran Fluida yang melalui kolom orifice diukur ketika telah terjadi osilasi permukaan bebas pada kolom inlet. Tekanan yang terukur pertama kali adalah 18700 Pa pada time stepness ke-300. Tekanan naik ketika elevasi permukaan bebas naik dan mengikuti turun nilainya ketika elevasi permukaan bebas turun.

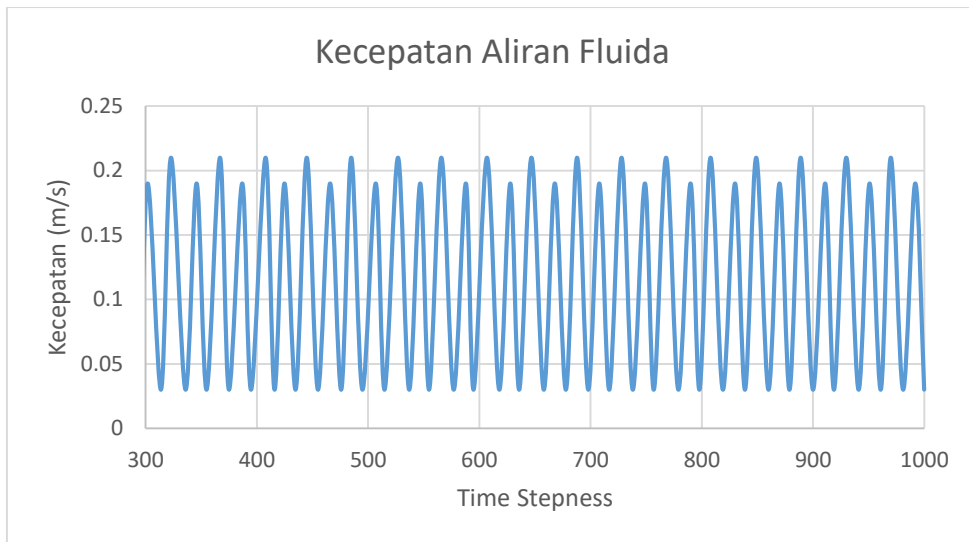
4.5.2.2. Model A Skenario Gelombang H_2/gT^2

Pada pemodelan pertama, ukuran grid untuk akurasi generasi dan propagasi gelombang pada Numerical Wave Tank adalah digunakan menggunakan grid refinement. Gelombang linear dengan periode $T = 2$ s dan tinggi $H = 0,018$ m dengan time steepness 0.05 secara umum terjadi pada Numerical Wave Tank 2-dimensi dengan panjang $L_{\text{tank}} = 30$ m, tinggi $H_{\text{tank}} = 2,20$ m dan kedalaman air $d = 1,9$ m.



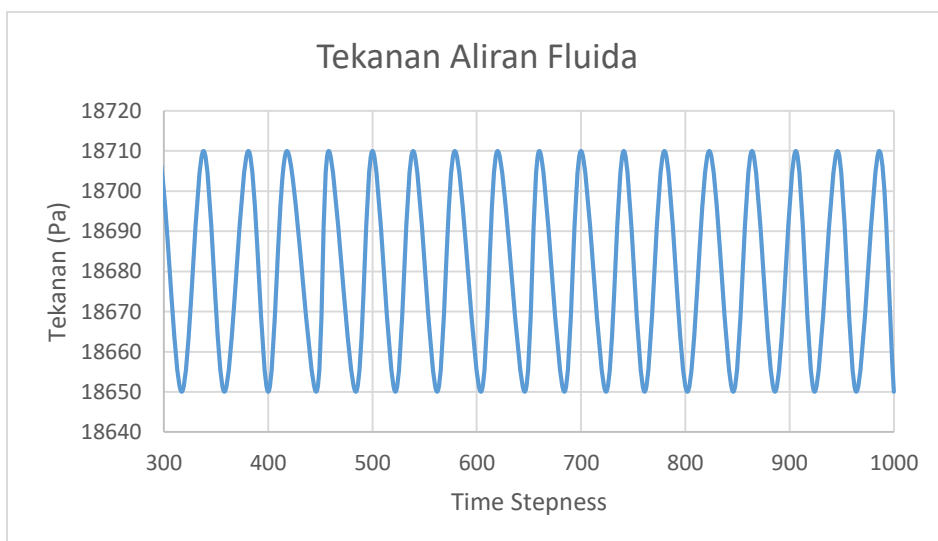
Gambar 4. 19. Elevasi Permukaan Gelombang Laut pada Titik A, B dan C mengacu Gambar 4. 13 ($H = 0,018$ m dan $T = 2$ s)

Ketiga grafik di atas menunjukkan elevasi permukaan bebas pada tiga titik dari pemodelan tipe Twin Chamber A untuk kondisi gelombang kedua. Titik pertama adalah titik A yang terletak pada jarak 5 m dari kolom inlet. Elevasi gelombang pada titik A terjadi pada time stepness ke-280. Tinggi puncak elevasi adalah 0,011 m dan lembah elevasi adalah -0,009 m. titik kedua adalah titik B. Titik B berada tepat 0,1 m dari kolom inlet dengan puncak elevasi yang terjadi adalah 0,016 m dan lembah elevasi adalah -0,013. Terjadi peningkatan ketinggian elevasi ketika menabrak dinding kolom inlet sekitar 0,005 m dan penurunan lembah elevasi permukaan bebas -0,002 m. Titik ketiga adalah titik C yang berada tepat pada kolom inlet. Puncak elevasi permukaan bebas yang terjadi adalah 0,018 m dan elevasi penurunan permukaan bebas adalah -0,019 m.



Gambar 4. 20. Grafik Nilai Kecepatan Aliran Fluida pada Orifice ($H = 0,018$ m dan $T = 2$ s)

Kecepatan aliran fluida yang diukur tepat pada titik pusat kolom orifice. Kecepatan aliran fluida diukur pada time stepness yang sama dengan terjadinya osilasi permukaan bebas di dalam kolom inlet yaitu time stepness ke-300. Kecepatan aliran fluida yang melalui orifice terjadi fluktuasi secara bergantian. Pertama nilai tertinggi Kecepatan aliran fluida yang terjadi adalah 0,19 m/s kemudian 2,1 m/s, setelah itu menjadi 0,19 m/s dan seterusnya. Begitu pula untuk nilai terendah Kecepatan aliran fluida yang melalui orifice. Nilai terendah Kecepatan aliran fluida yang terjadi adalah 0,03 m/s.

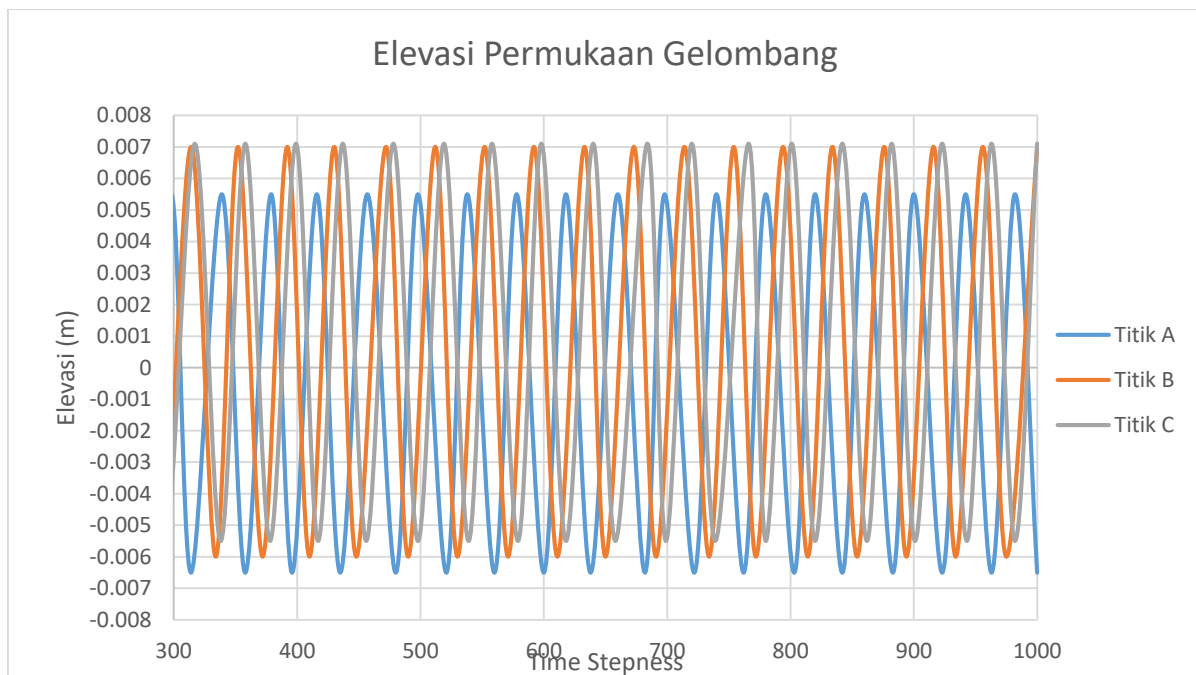


Gambar 4. 21. Tekanan Aliran Fluida pada Orifice ($H = 0,018$ m dan $T = 2$ s)

Untuk pengukuran tekanan yang melalui kolom orifice dilakukan pada titik pusat orifice. Tekanan yang terukur adalah 18710 Pa dan awal terjadi pada time stepness ke-300. Dan nilai terendah adalah 18650 Pa. Tekanan naik terjadi pada saat elevasi permukaan bebas di dalam kolom inlet naik dan tekanan turun ketika elevasi di dalam kolom inlet turun. Hal ini berbeda dengan yang terjadi dengan kecepatan aliran fluida. Kecepatan aliran fluida dalam satu kali kejadian puncak gelombang terjadi dua kali kejadian naik turunnya nilai kecepatan. Ketika pertama kali fluida masuk melalui lubang inlet, ada aliran fluida yang langsung melewati orifice dengan kecepatan yang tinggi bersamaan dengan naiknya elevasi permukaan bebas di dalam kolom inlet. Nilai kecepatan aliran fluida turun hingga elevasi permukaan bebas berada di puncaknya. Kemudian nilai kecepatan aliran fluida yang melalui kolom orifice naik lagi bersamaan dengan turunnya elevasi permukaan bebas di dalam kolom inlet.

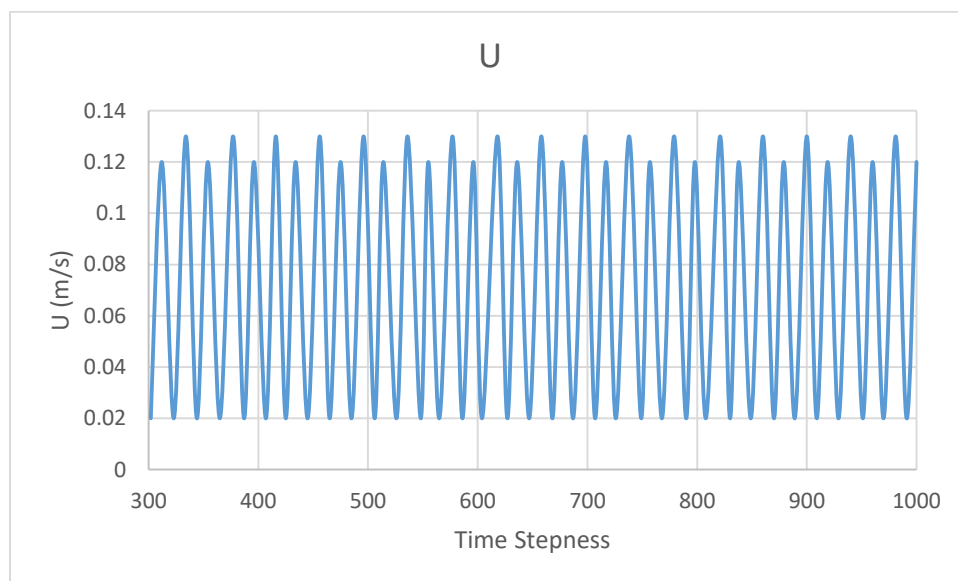
4.5.2.3. Model B Skenario Gelombang H_1/gT^2

Pada pemodelan pertama, ukuran grid untuk akurasi generasi dan propagasi gelombang pada Numerical Wave Tank adalah digunakan menggunakan grid refinement. Gelombang linear dengan periode $T = 2$ s dan tinggi $H = 0,012$ m dengan time steepness 0,05 secara umum terjadi pada Numerical Wave Tank 2-dimensi dengan panjang $L_{\text{tank}} = 30$ m, tinggi $H_{\text{tank}} = 2,20$ m dan kedalaman air $d = 1,9$ m.



Gambar 4. 22. Elevasi Permukaan Gelombang Laut pada Titik A, B dan C mengacu Gambar 4. 13 ($H = 0,012$ m dan $T = 2$ s)

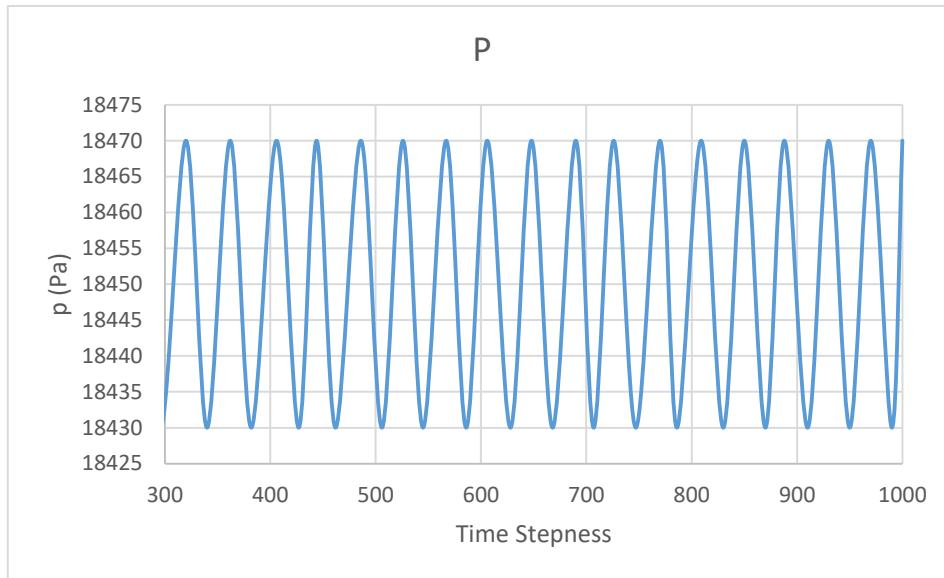
Pada pemodelan tipe Twin Chamber B ini juga diperlakukan dua kondisi gelombang sama dengan tipe pertama. Grafik di atas menunjukkan beberapa hasil rekaman data elevasi gelombang untuk tiga titik. Pada titik pertama yaitu pada titik A menunjukkan bahwa gelombang yang ditunjukkan telah sesuai dengan data yang diinputkan. Kenaikan elevasi permukaan bebas terjadi pada time stepness ke-300 dengan tinggi elevasi 0,0055 m. Sedangkan titik terendah gelombang adalah -0,0065 m. kemudian rambatan gelombang mencapai titik B yakni tepat pada jarak 0,1 m dari dinding kolom inlet pada time stepness ke-310. Dengan ketinggian puncak gelombang mencapai 0,007 m dengan titik terendah dari elevasi gelombang adalah -0,006 m. terjadi penambahan kenaikan puncak gelombang dan penurunan titik terendah akibat dari tabrakan gelombang dengan dinding kolom inlet. Kemudian nilai elevasi permukaan bebas akibat osilasi fluida di dalam kolom inlet yang disebabkan oleh gelombang datang adalah 0,009 m sedangkan titik terendahnya lebih tinggi daripada titik terendah yang terjadi pada titik B.



Gambar 4. 23. Kecepatan Aliran Fluida pada Orifice ($H = 0,012$ m dan $T = 2$ s)

Nilai kecepatan yang melalui orifice dapat direkam pada time stepness ke-300 dengan nilai kecepatan awal adalah 0,12 m/s. kemudian nilai kecepatan terus berubah naik turun mengikuti elevasi permukaan bebas di dalam kolom inlet. Besar kecepatan aliran fluida tertinggi yang melalui kolom orifice pada awalnya tinggi kemudian turun sebentar dan kemudian berfluktuasi besarnya. Pada satu periode gelombang dapat terjadi dua hingga tiga

kali naik turun besar kecepatan aliran fluida yang melalui orifice. Pada pemodelan ini, nilai kecepatan tertinggi adalah 0,13 m/s dan nilai kecepatan terendah adalah 0,02 m/s.



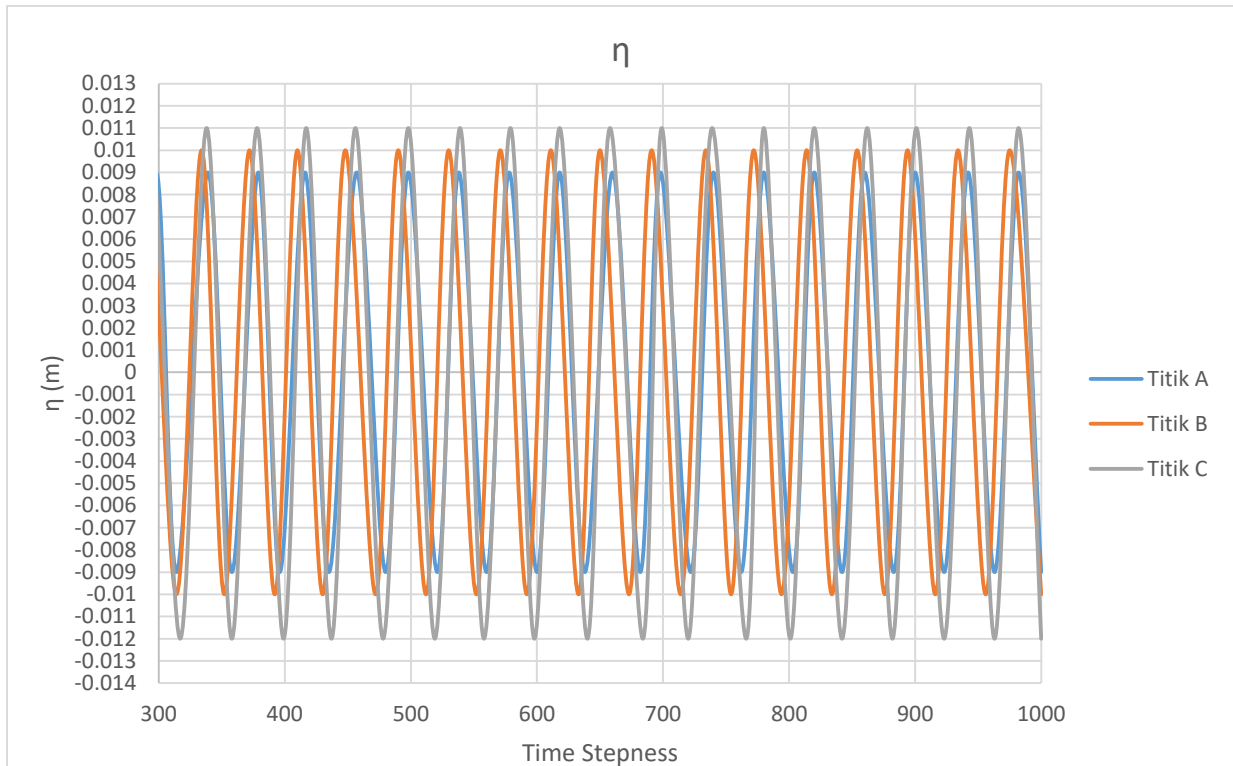
Gambar 4. 24. Tekanan Aliran Fluida pada Orifice (H =0,012 m dan T=2 s)

Untuk pengukuran tekanan yang melalui kolom orifice dilakukan pada titik pusat orifice. Kecepatan yang terukur adalah 18470 Pa dan awal terjadi pada time stepness ke-300. Dan nilai terendah adalah 18430 Pa. Tekanan naik terjadi pada saat elevasi permukaan bebas di dalam kolom inlet naik dan tekanan turun ketika elevasi di dalam kolom inlet turun. Hal ini berbeda dengan yang terjadi dengan Kecepatan aliran fluida. Kecepatan aliran fluida dalam satu kali kejadian puncak gelombang terjadi dua kali kejadian naik turunnya nilai kecepatan. Ketika pertama kali fluida masuk melalui lubang inlet, ada aliran fluida yang langsung melewati orifice dengan kecepatan yang tinggi bersamaan dengan naiknya elevasi permukaan bebas di dalam kolom inlet. Nilai Kecepatan aliran fluida turun hingga elevasi permukaan bebas berada di puncaknya. Kemudian nilai Kecepatan aliran fluida yang melalui kolom orifice naik lagi bersamaan dengan turunnya elevasi permukaan bebas di dalam kolom inlet.

4.5.2.4. Model B Skenario Gelombang H_2/gT^2

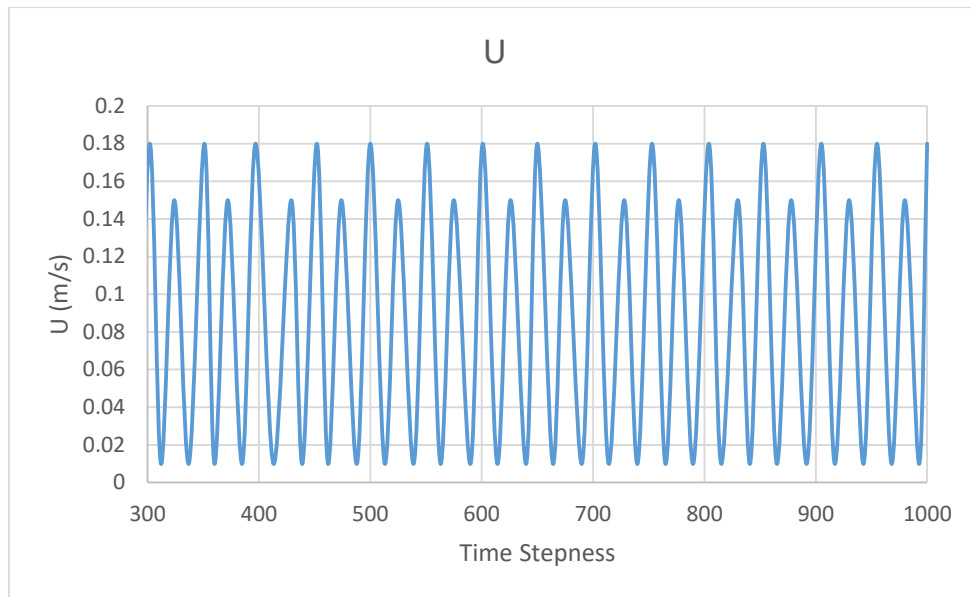
Pada pemodelan pertama, ukuran grid untuk akurasi generasi dan propagasi gelombang pada Numerical Wave Tank adalah digunakan menggunakan grid refinement. Gelombang linear dengan periode $T = 2$ s dan tinggi $H = 0,018$ m dengan time steepness 0,05 secara umum

terjadi pada Numerical Wave Tank 2-dimensi dengan panjang $L_{\text{tank}} = 20$ m, tinggi $H_{\text{tank}} = 2,20$ m dan kedalaman air $d = 1,8$ m.



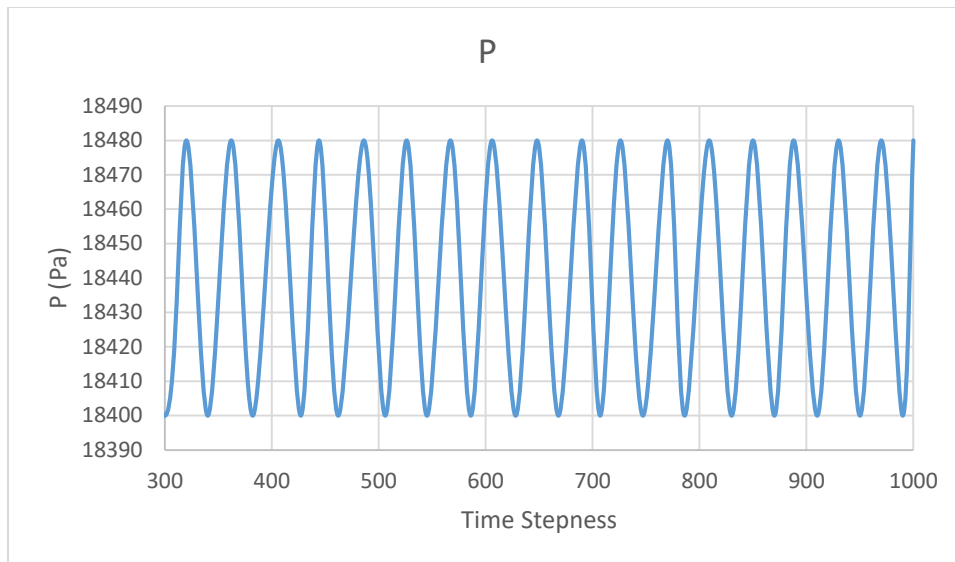
Gambar 4. 25. Elevasi Permukaan Gelombang Laut pada Titik A, B dan C mengacu Gambar 4. 13 ($H = 0,018$ m dan $T = 2$ s)

Gambar di atas menunjukkan grafik elevasi permukaan bebas pada tiga titik dari pemodelan tipe Twin Chamber A untuk kondisi gelombang kedua. Titik pertama adalah titik A yang terletak pada jarak 5 m dari kolom inlet. Elevasi gelombang pada titik A terjadi pada time stepness ke-290. Tinggi puncak elevasi adalah 0,009 m dan lembah elevasi adalah -0,009 m. Titik kedua adalah titik B. Titik B berada tepat 0,1 m dari kolom inlet dengan puncak elevasi yang terjadi adalah 0,01 m dan lembah elevasi adalah -0,01 m dan pada time stepness ke-295. Terjadi peningkatan ketinggian elevasi ketika menabrak dinding kolom inlet sekitar 0,005 m dan penurunan lembah elevasi permukaan bebas -0,002 m. Titik ketiga adalah titik C yang berada tepat pada kolom inlet. Puncak elevasi permukaan bebas yang terjadi adalah 0,011 m dan elevasi penurunan permukaan bebas adalah -0,012 m dan tepat pada time stepness ke-300.



Gambar 4. 26. Kecepatan Aliran Fluida pada Orifice ($H = 0,018$ m dan $T = 2$ s)

Kecepatan aliran fluida yang diukur tepat pada titik pusat kolom orifice. Kecepatan aliran fluida diukur pada time stepness yang sama dengan terjadinya osilasi permukaan bebas di dalam kolom inlet yaitu time stepness ke-300. Kecepatan aliran fluida yang melalui orifice terjadi fluktuasi secara bergantian. Pertama nilai tertinggi Kecepatan aliran fluida yang terjadi adalah $0,18$ m/s kemudian $0,15$ m/s, setelah itu menjadi $0,8$ m/s dan seterusnya. Begitu pula untuk nilai terendah Kecepatan aliran fluida yang melalui orifice. Nilai terendah Kecepatan aliran fluida yang terjadi adalah $0,01$ m/s.



Gambar 4. 27. Tekanan Aliran Fluida pada Orifice ($H = 0,018$ m dan $T = 2$ s)

Tekanan aliran fluida diukur hanya pada titik C tepat pada kolom orifice. Dari hasil pengukuran tekanan ini diketahui Tekanan Aliran Fluida yang melalui kolom orifice diukur ketika telah terjadi osilasi permukaan bebas pada kolom inlet. Tekanan yang terukur pertama kali adalah 18900 Pa pada time stepness ke-320. Tekanan naik ketika elevasi permukaan bebas naik dan mengikuti turun nilainya ketika elevasi permukaan bebas turun.

4.6. Perbandingan U dan P antara Model A dan Model B

Setelah diketahui nilai-nilai kecepatan dan tekanan aliran fluida yang melalui orifice selanjutnya mencoba dibandingkan nilai-nilai tersebut untuk model A dan tipe B untuk dua kondisi gelombang. Hal ini untuk mengetahui alat dengan Kecepatan aliran fluida yang tertinggi dan skenario gelombang yang menghasilkan kecepatan tertinggi yang melalui orifice. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 8. Perbandingan Rata-Rata Kecepatan dan Tekanan Aliran Fluida di Orifice Pada Masing-masing Model Twin Chamber untuk Setiap Kondisi Gelombang

Keterangan	U (m/s)		P (Pa)	
	H_1/gT^2	H_2/gT^2	H_1/gT^2	H_2/gT^2
Skenario Gelombang				
Tipe Model				
A	0,09	0,11	18690	18680
B	0,07	0,08	18450	18440

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui. Untuk model A memiliki nilai kecepatan dan tekanan aliran fluida lebih besar daripada model B pada kondisi gelombang pertama dan kedua. Kemudian untuk kedua skenario gelombang, dengan periode yang sama, namun tinggi skenario gelombang H_1/gT^2 lebih rendah daripada tinggi gelombang H_2/gT^2 , menunjukkan bahwa kecepatan aliran fluida yang melalui orifice lebih kecil pada skenario gelombang H_1/gT^2 daripada skenario gelombang H_2/gT^2 untuk model A maupun model B. Sedangkan nilai tekanan aliran fluida yang melalui orifice yang dihasilkan skenario gelombang H_1/gT^2 lebih besar daripada skenario gelombang H_2/gT^2 baik untuk model A maupun tipe B.

4.7. Perhitungan Daya Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Twin Chamber

Pertama kali dilakukan perhitungan daya gelombang yang ditangkap oleh kolom model. Data yang digunakan adalah data yang diinputkan pada simulasi pemodelan dengan CFD. Perhitungan daya energi gelombang laut yang ditangkap oleh kolom model tanpa memperhatikan lebar kolom adalah dengan persamaan 3.0.

$$P_{\text{gelombang}} = \frac{\rho g^2 T H^2}{32\pi}$$

Hasil perhitungan daya gelombang yang ditangkap oleh model dengan kondisi gelombang skala pemodelan ditunjukkan pada Tabel. 4.9.

Tabel 4. 9. Potensi Daya Gelombang yang Ditangkap Model dengan Kondisi Gelombang Skala Pemodelan

Keterangan	P _{gelombang} (Watt)	
	H ₁ /gT ²	H ₂ /gT ²
Skenario Gelombang Tipe Model		
Model A	0.28	0.63
Model B	0.28	0.63

Rata-rata kecepatan digunakan untuk menghitung rata-rata daya yang dihasilkan masing-masing alat untuk kedua kondisi gelombang. Rumus yang digunakan ditunjukkan pada persamaan 3.0. Rumus yang digunakan adalah rumus daya turbin yang menggunakan nilai kecepatan yang melalui turbin dengan luas daerah yang disapu turbin. Efisiensi turbin mengacu pada efisiensi turbin. Perhitungan daya listrik dengan persamaan 3.0. dilakukan sebagai berikut.

$$P = 0,5 \rho A v^3 C_p$$

Perhitungan pertama yakni pada model A dengan kondisi gelombang H= 0,012 m dan T = 2s. Nilai ρ menggunakan nilai masa jenis air laut yakni, sebesar 1025 kg/m³. Luasan yang disapu turbin dihitung dengan mengasumsikan luasannya berbentuk lingkaran. Dengan diameter orifice 0,1 m maka jari-jari 0,05 kemudian didapatkan luas lingkaran dengan persamaan 3.4.

$$A = \pi r^2 \tag{3.4}$$

Didapatkan luasan orifice dengan persamaan 3.1. adalah 0,00785 m². Nilai kecepatan diketahui adalah 0,09 m/s. efisiensi turbin menggunakan efisiensi turbin 50%. Sehingga hasil output daya yang didapatkan adalah 0,0015 watt. Cara yang sama dilakukan untuk menghitung daya yang dihasilkan pada model A dan B pada kondisi gelombang yang berbeda. Hasil perhitungan daya ditunjukkan pada tabel 4.10.

Tabel 4. 10. Perbandingan Daya dari Masing-Masing Model Twin Chamber untuk Setiap Kondisi Gelombang

Keterangan Skenario Gelombang Tipe Model	P _{model} (Watt)	
	H ₁ /gT ²	H ₂ /gT ²
Model A	0,0015	0,0026
Model B	0,0007	0,0011

Berdasarkan Tabel 4.10. output daya menunjukkan bahwa model B menghasilkan daya yang lebih besar daripada model A untuk kondisi gelombang pertama maupun kedua. Sedangkan pengaruh dari skenario gelombang, untuk periode gelombang yang sama namun tinggi gelombang yang berbeda, menunjukkan bahwa kondisi gelombang kedua menghasilkan daya yang lebih tinggi daripada kondisi gelombang pertama.

Setelah diketahui daya yang dihasilkan model dan daya gelombang yang ditangkap oleh model maka efisiensi model dapat dihitung dengan perbandingan daya yang dihasilkan model dengan daya gelombang yang ditangkap oleh model dengan persamaan 3.2.

$$\Pi_{\text{model}} = \frac{P_{\text{model}}}{P_{\text{gelombang}}} \times 100\%$$

Rata-rata efisiensi data gelombang ditunjukkan oleh Tabel .11. Rata-rata efisiensi pada model A dengan presentase 0,47 % lebih besar daripada model B dengan presentase 0,21 %.

Tabel 4. 11. Rata-rata Efisiensi Pada Masing-Masing Model

Keterangan Skenario Gelombang Tipe Model	Π _{model} (%)		Π _{model} Rata-rata (%)
	H ₁ /gT ²	H ₂ /gT ²	H ₁ /gT ² & H ₂ /gT ²
H ₁ /gT ²	0,53	0,41	0,47
H ₁ /gT ²	0,25	0,17	0,21

Potensi daya yang ditangkap oleh model untuk beberapa kondisi gelombang perairan di sekitar Pulau Jawa, Indonesia, dengan menggunakan persamaan 3.3 dan menggunakan data gelombang pada Tabel 2. Data yang digunakan adalah data gelombang di lima lokasi perairan sekitar Pulau Jawa yang diambil dari BMKG pada tahun 2015 dalam jurnal penelitian sebelumnya (Anggraini et al., 2017).

Tabel 4. 12. Data Gelombang di lima Lokasi Perairan sekitar Pulau Jawa

No	Lokasi	H (m)		T (s)		L (m)	
		Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks
1	Selat Sunda	0,4	2	2,25	5,02	7,9	39,32
2	Pantai Selatan Banten hingga Jawa Barat	0,6	2.25	2,75	5,33	11,8	44,33
3	Pantai Selatan Jawa Tengah	1	2.5	3,55	5,61	19,6	49,11
4	Pantai Selatan Jawa Timur	1	2.25	3,55	5,33	19,6	44,33
5	Laut Jawa	0,75	2	3,07	5,02	14,7	39,32

Potensi daya gelombang ditunjukkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4. 13. Potensi Daya Gelombang pada Lima Lokasi di Sekitar Pulau Jawa

No.	Lokasi	$P_{\text{twinchamber}}$ (kW/m ²)	
		Min	Maks
1.	Selat Sunda	0,09	1,00
2.	Pantai selatan Banten hingga Jawa Barat	0,16	1,19
3.	Pantai selatan Jawa Tengah	0,35	1,39
4.	Pantai selatan Jawa Timur	0,35	1,19
5.	Laut Jawa	0,23	1,00

Potensi daya yang dihasilkan oleh setiap model pada lima lokasi perairan sekitar pulau Jawa dihitung dengan mengalikan efisiensi model dengan potensi daya gelombang yang

dihasilkan pada lima lokasi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.11. Persamaan yang digunakan adalah persamaan 3.4.

Hasil perhitungan potensi daya setiap model Twin Chamber untuk satu panjang gelombang per lebar kolom pada skala 1:1 di lima lokasi sekitar pulau Jawa ditunjukkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4. 14. Potensi Daya Setiap Model pada Lima Lokasi di Perairan sekitar Pulau Jawa

No.	Lokasi	P_{model} (kW/m)			
		Model A		Model B	
		Min	Maks	Min	Maks
1.	Selat Sunda	0,33	18,49	0,14	8,26
2.	Pantai selatan Banten hingga Jawa Barat	0,91	24,84	0,40	11,10
3.	Pantai selatan Jawa Tengah	3,26	32,28	1,46	14,42
4.	Pantai selatan Jawa Timur	3,26	24,84	1,46	11,10
5.	Laut Jawa	1,59	18,49	0,71	8,26

Berdasarkan Tabel 4.14. Potensi daya pada model A tertinggi untuk tinggi gelombang minimal adalah 3,26 kW/m berada di lokasi Pantai selatan Jawa Tengah dan Jawa Timur sedangkan potensi daya model A terendah adalah 0,33 kW/m berada di lokasi selat Sunda untuk tinggi gelombang minimal. Potensi daya pada model A tertinggi untuk tinggi gelombang maksimal adalah 32,28 kW/m berada di lokasi Pantai selatan Jawa Tengah sedangkan potensi daya model A terendah adalah 18,49 kW/m berada di lokasi selat Sunda dan laut Jawa untuk tinggi gelombang maksimal.

Potensi daya pada model B tertinggi untuk tinggi gelombang minimal adalah 1,46 kW/m berada di lokasi Pantai selatan Jawa Tengah dan Jawa Timur sedangkan potensi daya model B terendah adalah 0,40 kW/m berada di lokasi pantai selatan Banten hingga Jawa Barat untuk tinggi gelombang minimal. Potensi daya pada model B tertinggi adalah 14,42 kW/m

berada di lokasi Pantai selatan Jawa Tengah sedangkan potensi daya model B terendah adalah 8,26 kW/m berada di lokasi selat Sunda dan laut Jawa untuk tinggi gelombang maksimal.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah didapatkan bahwa variasi ukuran kolom dan besaran gelombang yang diberikan juga terlihat memberikan hasil yang berbeda pada masing-masing alat. Berdasarkan analisa hasil simulasi PLTGL Twin Chamber menunjukkan model A, dengan tinggi kolom lebih rendah daripada model B, nilai kecepatan dan tekanan aliran fluida yang melalui orifice lebih besar dibanding dengan model B, untuk skenario gelombang H_1/gT^2 dan skenario gelombang H_2/gT^2 . Tekanan aliran yang melalui orifice paling besar adalah pada skenario gelombang H_1/gT^2 dan kecepatan aliran yang melalui orifice paling besar adalah pada skenario gelombang H_2/gT^2 .

Nilai potensi daya yang dihasilkan PLTGL Twin Chamber, pada kedua skenario gelombang menunjukkan bahwa potensi daya model A lebih besar daripada model B. Rata-rata efisiensi daya pada model A adalah 0,47 %, lebih besar daripada model B yang hanya 0,27 %. Sehingga potensi daya yang dihasilkan oleh model A ketika diaplikasikan pada kondisi perairan sebenarnya, lebih besar daripada model B.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Andriano, M.W. 2009. *Studi Teknis Pemilihan Turbin Kobold pada Pemabngkit Listrik Tenaga Arus Bawah Laut di Selat Madura*. Surabaya: ITS.
- Anggraini, Dita., et al. "Quantitative Analysis Of Indonesian Ocean Wave Energy Potential Using Oscillating Water Column Energy Converter". *MATTER: International Journal of Science and Technology, Special Issue*, vol.1, 1, 228-239
- B. Chenari, S. S. Saadatian, & Almerindo D. "Ferreira. Numerical Modelling of Regular Waves Propagation and Breaking Using Waves2Foam". *Journal of Clean Energy Technologies*, vol. 3, no. 4
- Davidson, John. 2015. *Implementation of an OpenFOAM Numerical Wave Tank for Wave Energy Experiments*. France: Proceeding.
- Firdaus, Yustisia dan Mukhtasor. 2010. *Analysis of effect oscillating part transformation in vortex conversion energy using numerical model*. Tugas Akhir. ITS. Surabaya
- Firdaus, Yustisia. 2010. *Analisa Pengaruh Bentuk Oscillating Part Pada Konversi Energi Vorteks dengan Pemodelan Numerik*. Tugas Akhir. ITS. Surabaya
- Ghadimi, Parviz. et al. "Numerical Simulation of Regular Waves Run-Up Over Slopping Beach by OpenFOAM". *Civil Engineering and Urban Planning: An International Journal (CiVEJ)*, vol.1, no.1, 83-89
- Holzhauser, Eva. 2012. *Assessment of the Power Available in a Fixed Offshore Oscillating Water Column Plant*. Cranfiled Univrstity
- Kamath, Arun. 2015. "Numerical modeling of power take-off damping in an Oscillating Water Column device". *Elsevier, International Journal of Marine Energy*, 10, 1-16
- Karim, Mochamad K., Sardono S., dan Indra R. K. 2014. "Perancangan Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Oscilating Water Column di Pantai Bandedalit Jember". *JURNAL TEKNIK POMITS*, vol. 3, no. 1, 138-141
- Kim, Sung-Yong, et al. 2016. "Numerical simulation of wave and current interaction with a fixed offshore substructure". *Sciencedirect, International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 8, 188-197
- Lambert, Roseburd Jasmine. 2012. *Development of A Numerical Wave Tank Using OpenFOAM*. Janeiro: Universida De Coimbra.
- Lorenzini, Girulio. 2015. "Constructal Design Applied to The Study of The Geometry and Submergence of an Odcillating Water Column". *IIETA*, vol. 33, 2
- Mukhtasor, Rudi W.P., Irfan S.A., Harus L.G, Mauludiyah, & Hadi S. 2016. "Performance Modeling of a Wave Energy Converter: Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandulan ("PLTGL-SB")". *ARPN Journal Of Engineering and Applied Science*, vol. 11, 4, 2775-2778
- Mukhtasor, Rudi W.P., Irfan S.A., Harus L.G. 2014. *Perancangan Sistem Tambat untuk Mendukung Peningkatan Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Sistem Bandul*. Seminar Ilmiah Nasional INSINAS
- Mukhtasor, Tony B.M., Irfan S.A., & Ardika W.C.S. 2017. "Horizontal Pendulum Performance Analysis with Multilevel Model Plate on Ocean Wave Electric Power Plant (PLTGL)". *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, vol. 1(2), 114-119

- Mukhtasor.2014. *Studi Eksperimen Karakteristik Putaran Single dan Triple Pendulum pada Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut-Sistem Pendulum*. Seminar Nasional Teknik Mesin 9
- OlaFOAM. 2016. *Reference Manual*
- OpenFOAM. 2014. *Manual Guide OpenFOAM 4.1*
- Orhan, Kadir & Roberto M. 2017. “Assessment of the tidal stream power potential and impacts of tidal current turbines in the Strait of Larantuka, Indonesia”. *ScienceDirect, Energy Procedia*, vol. 125, 230-239
- Royyana, Mita Buwana Noor. 2015. *Analisa Bentuk Oscillating Water Column untuk Pemanfaatan Gelombang Laut Sebagai Sumber Energi Terbarukan dengan Metode Computational Fluid Dynamic (CFD)*. Semarang: Jurusan Teknik Perkapalan. UNDIP.
- Sanicher, Shaswat & Jyotirmay. 2015. “Design of a numerical wave tank and wave flume for low steepness waves in deep and intermediate water”. *ScienceDirect, Procedia Engineering*, vo.116, 221–228
- Schillaci E. *A Free Surface Model For The Numerical Simluation of Oscillating Water Column Systems*. 11th Congress on Computational Mechanics
- Siti Musabikha, I Ketut A.P.U., & Mukhtasor. 2017. “Corrosion in the Marine Renewable Energy: A Review”. *International Journal of Environment Research and Clean Energy*, vol. 7, 1, 1-9
- Stehno, Abigail Lynn. 2013. *A Physical and Computational Comparison of Floating Breakwater Design Efficiencies for Habitat Restoration in the Indian River Lagoon*. Thesis. Florida Institute of Technology
- Trimulyono. 2015. *Analisis Efisiensi Propeller B-Series dan Kaplan pada Kapal TagBoat ARII 400 HP dengan Variasi Jumlah Daun, Sudut Rake Menggunakan CFD*. Semarang: UNDIP
- Van Atryve, Pablo. 2016. *Validation of The Simulated Porous Flow Field inside a Rubble-Mound Break Water under Wave Loading in Numerical Wave Flume using OpenFOAM*. GHENT University, Department of Civil Engineering
- Waldopo. 2008. *Perairan Darat dan Laut*. Modul
- Wijaya, I Wayan Karta. 2010. “Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Teknologi Oscillating Water Column di Perairan Bali”. *Jurnal Teknik Elektro*, Universitas Udayana, vol. 9, 2, 165-174
- Wu, Cheng-sheng, De-cai Zhou, Lei Gao and Quan-ming Miao. 2011. “CFD computation of ship motions and added resistance for a high speed trimaran in regular head waves”. *Inter J Nav Archit Oc Engng*, vol.3, 105-110
www.hans-ocean.com
- Yang, In-Jun, Young-Gill Lee & Kwang-Leol Jeong. 2015. “Numerical simulation of the free surface around a circular column in regular waves using modified marker-density method”. *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, vol.7, 610-625

FILE-FILE PEMODELAN PADA FOLDER “SYSTEM”

FILE BLOCK MESH DICT

```
/*-----*- C++ -*-----
-----*\
| ===== |
|
| \\      / F i e l d      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
|
| \\      / O p e r a t i o n      | Version:  1.7.1
|
|  \\    /   A n d           | Web:         www.OpenFOAM.com
|
|   \\/      M a n i p u l a t i o n   |
|
\*-----
-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format        ascii;
    class         dictionary;
    object        blockMeshDict;
}

// * * * * *
* * * //

convertToMeters 1;

vertices
(
    (0.0  0.02  0.0)
    (30.0  0.02  0.0)
    (30.0  0.02  2.2)
    (0.0  0.02  2.2)
    (0.0  0.04  0.0)
    (30.0  0.04  0.0)
    (30.0  0.04  2.2)
)
```

```

    (0.0 0.04 2.2)
);

blocks
(
    hex (0 1 5 4 3 2 6 7) (1000 1 200) simpleGrading (1 1 10)
);

edges
(
);

patches
(
    patch inlet
    (
        (0 4 7 3)
    )
    patch outlet
    (
        (1 5 6 2)
    )
    wall bottom
    (
        (0 1 5 4)
    )
    patch atmosphere
    (
        (3 2 6 7)
    )
    empty frontAndBack
    (
        (0 1 2 3)
        (4 5 6 7)
    )
);

mergePatchPairs
(

```

);

//

** //

FILE CONTROL DICT

```
/*-----*
-----*\
| ===== |
|
| \\ / F i e l d | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
|
| \\ / O p e r a t i o n | Version: 1.3
|
| \\ / A n d | Web: http://www.openfoam.org
|
| \\ / M a n i p u l a t i o n |
|
\*-----*
-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format       ascii;
    location     "system";
    class        dictionary;
    object       controlDict;
}

// * * * * *
* * * //

application     olaFoam;

startFrom       latestTime;

startTime       0;

stopAt          endTime;

endTime         50;
```

```
deltaT      0.001;

writeControl adjustableRunTime;

writeInterval 0.05;

purgeWrite  0;

writeFormat  ascii;

writePrecision 6;

writeCompression uncompressed;

timeFormat   general;

timePrecision 6;

runTimeModifiable yes;

adjustTimeStep yes;

maxCo        0.5;
maxAlphaCo   0.5;

maxDeltaT    0.025;

//
*****
** //
```

FILE FVSCHEMES

```
/*-----*- C++ -*-----*
-----*\
| ===== |
|
| \\ / F i e l d | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
|
| \\ / O p e r a t i o n | Version: 2.3.0
|
| \\ / A n d | Web: www.OpenFOAM.org
|
| \\ / M a n i p u l a t i o n |
|
\*-----*
-----*/
FoamFile
{
    version 2.0;
    format ascii;
    class dictionary;
    location "system";
    object fvSchemes;
}
// * * * * *
* * * //

ddtSchemes
{
    default Euler;
}

gradSchemes
{
    default Gauss linear;
}

divSchemes
```

```

{
    div(rhoPhi,U)  Gauss limitedLinearV 1;
    div(U)  Gauss linear;
    div((rhoPhi|interpolate(porosity)),U)  Gauss limitedLinearV 1;
    div(rhoPhiPor,UPor)  Gauss limitedLinearV 1;
    div(rhoPhi,UPor)  Gauss limitedLinearV 1;
    div(rhoPhiPor,U)  Gauss limitedLinearV 1;
    div(phi,alpha)  Gauss vanLeer;
    div(phirb,alpha)  Gauss interfaceCompression;
    div((muEff*dev(T(grad(U))))  Gauss linear;
    div(phi,k)  Gauss upwind;
    div(phi,epsilon)  Gauss upwind;
    div((phi|interpolate(porosity)),k)  Gauss upwind;
    div((phi|interpolate(porosity)),epsilon)  Gauss upwind;
    div(phi,omega)  Gauss upwind;
    div((phi|interpolate(porosity)),omega)  Gauss upwind;
}

```

laplacianSchemes

```

{
    default  Gauss linear corrected;
}

```

interpolationSchemes

```

{
    default  linear;
}

```

snGradSchemes

```

{
    default  corrected;
}

```

fluxRequired

```

{
    default  no;
    p_rgh;
    pcorr;
    alpha.water;
}

```

}

//

** //

FILE FVSOLUTION

```
/*-----*- C++ -*-----
-----*\
| ===== |
|
| \\      / F i e l d      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
|
| \\      / O p e r a t i o n      | Version: 2.3.0
|
|  \\    /   A n d           | Web:      www.OpenFOAM.org
|
|   \\/      M a n i p u l a t i o n   |
|
\*-----*
-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format       ascii;
    class        dictionary;
    location     "system";
    object       fvSolution;
}
// * * * * *
* * * //

solvers
{
    "alpha.water.*"
    {
        nAlphaCorr      1;
        nAlphaSubCycles 2;
        alphaOuterCorrectors yes;
        cAlpha          1;

        MULESCorr       no;
        nLimiterIter    3;
    }
}
```

```

        solver          smoothSolver;
        smoother        symGaussSeidel;
        tolerance       1e-8;
        relTol          0;
    }

    pcorr
    {
        solver          PCG;
        preconditioner   DIC;
        tolerance       1e-5;
        relTol          0;
    }

    p_rgh
    {
        solver          PCG;
        preconditioner   DIC;
        tolerance       1e-07;
        relTol          0.05;
    }

    p_rghFinal
    {
        $p_rgh;
        relTol          0;
    }

    U
    {
        solver          smoothSolver;
        smoother        symGaussSeidel;
        tolerance       1e-06;
        relTol          0;
    }
}

```

PIMPLE

```
{
    momentumPredictor    no;
    nOuterCorrectors     1;
    nCorrectors          3;
    nNonOrthogonalCorrectors 0;
}
```

relaxationFactors

```
{
    fields
    {
    }
    equations
    {
        "."* 1;
    }
}
```

//

```
*****
** //
```


FILE SETFIELDS DICT

```
/*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*
-----*\
| ===== |
|
| \\      /  F i e l d      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
|
| \\      /  O p e r a t i o n      | Version: 1.3
|
| \\      /  A n d      | Web:      http://www.openfoam.org
|
| \\/      M a n i p u l a t i o n      |
|
\*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*
-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format      ascii;
    class      dictionary;
    location     "system";
    object      setFieldsDict;
}
// * * * * *
* * * //

defaultFieldValues
(
    volScalarFieldValue alpha.water 0
);

regions
(
    boxToCell
    {
        box (-10 -1 -1) (60 1 1.8);

        fieldValues
```

```
(  
    volScalarFieldValue alpha.water 1  
);  
}  
);
```

FILE SNAPPYHEXMESH DICT

```
/*-----*- C++ -*-----
-----*\
| ===== |
|
| \\      / F i e l d      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
|
| \\      / O p e r a t i o n      | Version: 4.0
|
|  \\    /   A n d           | Web:      www.OpenFOAM.org
|
|   \\/      M a n i p u l a t i o n   |
|
\*-----*
-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format        ascii;
    class         dictionary;
    object        snappyHexMeshDict;
}

// * * * * *
* * * //

// Which of the steps to run
castellatedMesh true;
snap            true;
addLayers       true;

// Geometry. Definition of all surfaces. All surfaces are of class
// searchableSurface.
// Surfaces are used
// - to specify refinement for any mesh cell intersecting it
// - to specify refinement for any mesh cell inside/outside/near
// - to 'snap' the mesh boundary to the surface
```

```

geometry
{
    twinChamber.stl
    {
        type triSurfaceMesh;
        name twinChamber;

        patchInfo
        {
            type patch;
        }
    }
};

// Settings for the castellatedMesh generation.
castellatedMeshControls
{
    // Refinement parameters
    // ~~~~~

    // If local number of cells is >= maxLocalCells on any processor
    // switches from from refinement followed by balancing
    // (current method) to (weighted) balancing before refinement.
    maxLocalCells 100000;

    // Overall cell limit (approximately). Refinement will stop
    immediately
    // upon reaching this number so a refinement level might not
    complete.
    // Note that this is the number of cells before removing the part
    which
    // is not 'visible' from the keepPoint. The final number of cells
    might
    // actually be a lot less.
    maxGlobalCells 2000000;
}

```

```

// The surface refinement loop might spend lots of iterations
refining just a
// few cells. This setting will cause refinement to stop if <=
minimumRefine
// are selected for refinement. Note: it will at least do one
iteration
// (unless the number of cells to refine is 0)
minRefinementCells 0;

// Number of buffer layers between different levels.
// 1 means normal 2:1 refinement restriction, larger means slower
// refinement.
nCellsBetweenLevels 3;

// Explicit feature edge refinement
// ~~~~~

// Specifies a level for any cell intersected by its edges.
// This is a featureEdgeMesh, read from constant/triSurface for
now.
features
(
    {
        file "twinChamber.eMesh";
        level 0;
    }
);

// Surface based refinement
// ~~~~~

// Specifies two levels for every surface. The first is the minimum
level,
// every cell intersecting a surface gets refined up to the minimum
level.

```

```

// The second level is the maximum level. Cells that 'see' multiple
// intersections where the intersections make an
// angle > resolveFeatureAngle get refined up to the maximum level.

refinementSurfaces
{
    twinChamber
    {
        // Surface-wise min and max refinement level
        level (0 0);
    }
}

resolveFeatureAngle 45;

// Region-wise refinement
// ~~~~~

// Specifies refinement level for cells in relation to a surface.
One of
// three modes
// - distance. 'levels' specifies per distance to the surface the
//   wanted refinement level. The distances need to be specified in
//   descending order.
// - inside. 'levels' is only one entry and only the level is used.
All
//   cells inside the surface get refined up to the level. The
surface
//   needs to be closed for this to be possible.
// - outside. Same but cells outside.

refinementRegions
{
}

// Mesh selection
// ~~~~~

```

```

    // After refinement patches get added for all refinementSurfaces
and
    // all cells intersecting the surfaces get put into these patches.
The
    // section reachable from the locationInMesh is kept.
    // NOTE: This point should never be on a face, always inside a
cell, even
    // after refinement.
    locationInMesh (0 0.02 0);

    // Whether any faceZones (as specified in the refinementSurfaces)
    // are only on the boundary of corresponding cellZones or also
allow
    // free-standing zone faces. Not used if there are no faceZones.
    allowFreeStandingZoneFaces true;
}

// Settings for the snapping.
snapControls
{
    //- Number of patch smoothing iterations before finding
correspondence
    // to surface
    nSmoothPatch 3;

    //- Relative distance for points to be attracted by surface feature
point
    // or edge. True distance is this factor times local
    // maximum edge length.
    // tolerance 4.0;
    tolerance 1.0;

    //- Number of mesh displacement relaxation iterations.
    nSolveIter 100;

```

```

    //- Maximum number of snapping relaxation iterations. Should stop
    // before upon reaching a correct mesh.
    nRelaxIter 5;

    nFeatureSnapIter 10;
}

// Settings for the layer addition.
addLayersControls
{
    // Are the thickness parameters below relative to the undistorted
    // size of the refined cell outside layer (true) or absolute sizes
    (false).
    relativeSizes true;

    // Per final patch (so not geometry!) the layer information
    layers
    {
        twinChamber
        {
            nSurfaceLayers 3;
        }
    }
}

// Expansion factor for layer mesh
expansionRatio 1.5;

// Wanted thickness of final added cell layer. If multiple layers
// is the thickness of the layer furthest away from the wall.
// Relative to undistorted size of cell outside layer.
// See relativeSizes parameter.
finalLayerThickness 0.7;

// Minimum thickness of cell layer. If for any reason layer
// cannot be above minThickness do not add layer.

```



```

// See relativeSizes parameter.
minThickness 0.25;

// If points get not extruded do nGrow layers of connected faces
that are
// also not grown. This helps convergence of the layer addition
process
// close to features.
// Note: changed(corrected) w.r.t 17x! (didn't do anything in 17x)
nGrow 0;

// Advanced settings

// When not to extrude surface. 0 is flat surface, 90 is when two
faces
// are perpendicular
featureAngle 60;

// Maximum number of snapping relaxation iterations. Should stop
// before upon reaching a correct mesh.
nRelaxIter 5;

// Number of smoothing iterations of surface normals
nSmoothSurfaceNormals 1;

// Number of smoothing iterations of interior mesh movement
direction
nSmoothNormals 3;

// Smooth layer thickness over surface patches
nSmoothThickness 10;

// Stop layer growth on highly warped cells
maxFaceThicknessRatio 0.5;

// Reduce layer growth where ratio thickness to medial
// distance is large
maxThicknessToMedialRatio 0.3;

```

```

// Angle used to pick up medial axis points
// Note: changed(corrected) w.r.t 17x! 90 degrees corresponds to
130 in 17x.
minMedianAxisAngle 90;

// Create buffer region for new layer terminations
nBufferCellsNoExtrude 0;

// Overall max number of layer addition iterations. The mesher will
exit
// if it reaches this number of iterations; possibly with an
illegal
// mesh.
nLayerIter 50;

// Max number of iterations after which relaxed meshQuality
controls
// get used. Up to nRelaxIter it uses the settings in
meshQualityControls,
// after nRelaxIter it uses the values in
meshQualityControls::relaxed.
nRelaxedIter 20;
}

// Generic mesh quality settings. At any undoable phase these determine
// where to undo.
meshQualityControls
{
    #include "meshQualityDict"
}

// Advanced

// Flags for optional output

```

```
// 0 : only write final meshes
// 1 : write intermediate meshes
// 2 : write volScalarField with cellLevel for postprocessing
// 4 : write current intersections as .obj files
debug 2;

// Merge tolerance. Is fraction of overall bounding box of initial
mesh.
// Note: the write tolerance needs to be higher than this.
mergeTolerance 1E-6;

//
*****
** //
```

FILE-FILE PEMODELAN PADA FOLDER “CONSTANT”

FILE DYNAMIC MESH DICT

```
/*-----*- C++ -*-----
-----*\
| ===== |
|
| \\ / F i e l d | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
|
| \\ / O p e r a t i o n | Version: dev
|
| \\ / A n d | Web: http://www.OpenFOAM.org
|
| \\ / M a n i p u l a t i o n |
|
\*-----*
-----*/
FoamFile
{
    version 2.0;
    format ascii;
    class dictionary;
    location "constant";
    object dynamicMeshDict;
}
// * * * * *
* * * //

dynamicFvMesh staticFvMesh;
```

FILE G (GRAVITASI)

```
/*-----*- C++ -*-----
-----*\
| ===== |
|
| \\      /  F i e l d      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
|
| \\      /  O p e r a t i o n      | Version:  1.6
|
|  \\    /   A n d      | Web:      www.OpenFOAM.org
|
|  \\/      M a n i p u l a t i o n      |
|
\*-----
-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format       ascii;
    class        uniformDimensionedVectorField;
    location     "constant";
    object       g;
}
// * * * * *
* * * //

dimensions      [0 1 -2 0 0 0 0];
value           ( 0 0 -9.81 );

//
*****
** //
```

FILE TRANSPORT PROPERTIES

```
/*-----*- C++ -*-----
-----*\
| ===== |
|
| \\      /  F i e l d      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
|
| \\      /  O p e r a t i o n      | Version:  3.0.0
|
|  \\    /   A n d      | Web:      www.OpenFOAM.org
|
|  \\/      M a n i p u l a t i o n      |
|
\*-----*
-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format        ascii;
    class         dictionary;
    location      "constant";
    object        transportProperties;
}
// * * * * *
* * * //

phases (water air);

water
{
    transportModel  Newtonian;
    nu              [0 2 -1 0 0 0 0] 1e-06;
    rho            [1 -3 0 0 0 0 0] 1000;
}

air
{
    transportModel  Newtonian;
```

```
nu          [0 2 -1 0 0 0 0] 1.48e-05;
rho         [1 -3 0 0 0 0 0] 1;
}
```

```
sigma      [1 0 -2 0 0 0 0] 0.07;
```

```
//
```

```
*****
```

```
** //
```


FILE TURBULANCE PROPERTIES

```
/*-----*- C++ -*-----
-----*\
| ===== |
|
| \\      / F i e l d      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
|
| \\      / O p e r a t i o n      | Version:  1.6
|
|  \\    /   A n d           | Web:        www.OpenFOAM.org
|
|   \\/      M a n i p u l a t i o n   |
|
\*-----*
-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format        ascii;
    class         dictionary;
    location      "constant";
    object        turbulenceProperties;
}
// * * * * *
* * * //

simulationType  laminar;

//
*****
** //
```

FILE WAVE DICT

```
/*-----*
-----*\
| ===== |
|
| \\      / F i e l d      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
|
| \\      / O p e r a t i o n      | Version: 1.3
|
| \\      / A n d      | Web:      http://www.openfoam.org
|
| \\/      M a n i p u l a t i o n      |
|
\*-----*
-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format      ascii;
    class      dictionary;
    location    "constant";
    object      waveDict;
}
// * * * * *
* * * //

waveType      regular;

waveTheory    StokesI;

genAbs        1;

absDir        0.0;

nPaddles      1;

waveHeight    0.029;
```

```
wavePeriod      2.525;
```

```
waveDir         0.0;
```

```
wavePhase       4.71238898;
```

```
//
```

```
*****
```

```
** //
```

FILE-FILE PADA FOLDER 0

(FOLDER KONDISI AWAL RUNNING SIMULASI)

FILE ALPHA.WATER (ELEVASI GELOMBANG LAUT)

```
/*-----*- C++ -*-----
-----*\
| ===== |
|
| \\      / F i e l d      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
|
| \\      / O p e r a t i o n      | Version: 1.5-dev
|
|  \\    /   A n d           | Web:      http://www.OpenFOAM.org
|
|   \\/      M a n i p u l a t i o n   |
|
\*-----
-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format       ascii;
    class        volScalarField;
    object       alpha.water;
}
// * * * * *
* * * //

dimensions      [0 0 0 0 0 0 0];

internalField   uniform 0;

boundaryField
{
    inlet
    {
        type      waveAlpha;
        waveDictName  waveDict;
        value      uniform 5;
    }
    frontAndBack
}
```

```

{
    type          empty;
}
outlet
{
    type          zeroGradient;
}
bottom
{
    type          zeroGradient;
}
atmosphere
{
    type          inletOutlet;
    inletValue    uniform 0;
    value         uniform 0;
}
twinChamber
{
    type          zeroGradient;
}
}

//
*****
** //

```

FILE P_RGH (TEKANAN FLUIDA)

```
/*-----*- C++ -*-----
-----*\
| ===== |
|
| \\      / F i e l d      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
|
| \\      / O p e r a t i o n      | Version: 1.5-dev
|
|  \\    /   A n d           | Web:      http://www.OpenFOAM.org
|
|   \\/      M a n i p u l a t i o n   |
|
\*-----
-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format       ascii;
    class        volScalarField;
    object       p_rgh;
}
// * * * * *
* * * //

dimensions      [1 -1 -2 0 0 0 0];

internalField   uniform 0;

boundaryField
{
    frontAndBack
    {
        type      empty;
    }
    outlet
    {
        type      fixedFluxPressure;
    }
}
```

```

        value          uniform 0;
    }
    inlet
    {
        type            fixedFluxPressure;
        value           uniform 5;
    }
    bottom
    {
        type            fixedFluxPressure;
        value           uniform 0;
    }
    atmosphere
    {
        type            totalPressure;
        U               U;
        phi             phi;
        rho             rho;
        psi             none;
        gamma           1;
        p0              uniform 0;
        value           uniform 0;
    }
    twinChamber
    {
        type            fixedFluxPressure;
        value           uniform 0;
    }
}

//
*****
** //

```


FILE U (KECEPATAN FLUIDA)

```
/*-----*- C++ -*-----
-----*\
| ===== |
|
| \\      / F i e l d      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
|
| \\      / O p e r a t i o n      | Version:  1.7.x
|
|  \\    /   A n d              | Web:      www.OpenFOAM.com
|
|   \\/      M a n i p u l a t i o n      |
|
\*-----
-----*/
FoamFile
{
    version      2.0;
    format       ascii;
    class        volVectorField;
    location     "0";
    object       U;
}
// * * * * *
* * * //

dimensions      [0 1 -1 0 0 0 0];

internalField   uniform (0 0 0);

boundaryField
{
    inlet
    {
        type            waveVelocity;
        waveDictName    waveDict;
        value            uniform (0 0 0);
    }
}
```

```

}
outlet
{
    type            waveAbsorption2DVelocity;
    value           uniform (0 0 0);
}
bottom
{
    type            fixedValue;
    value           uniform (0 0 0);
}
atmosphere
{
    type            pressureInletOutletVelocity;
    value           uniform (0 0 0);
}
frontAndBack
{
    type            empty;
}
twinChamber
{
    type            fixedValue;
    value           uniform (0 0 0);
}
}

//
*****
** //

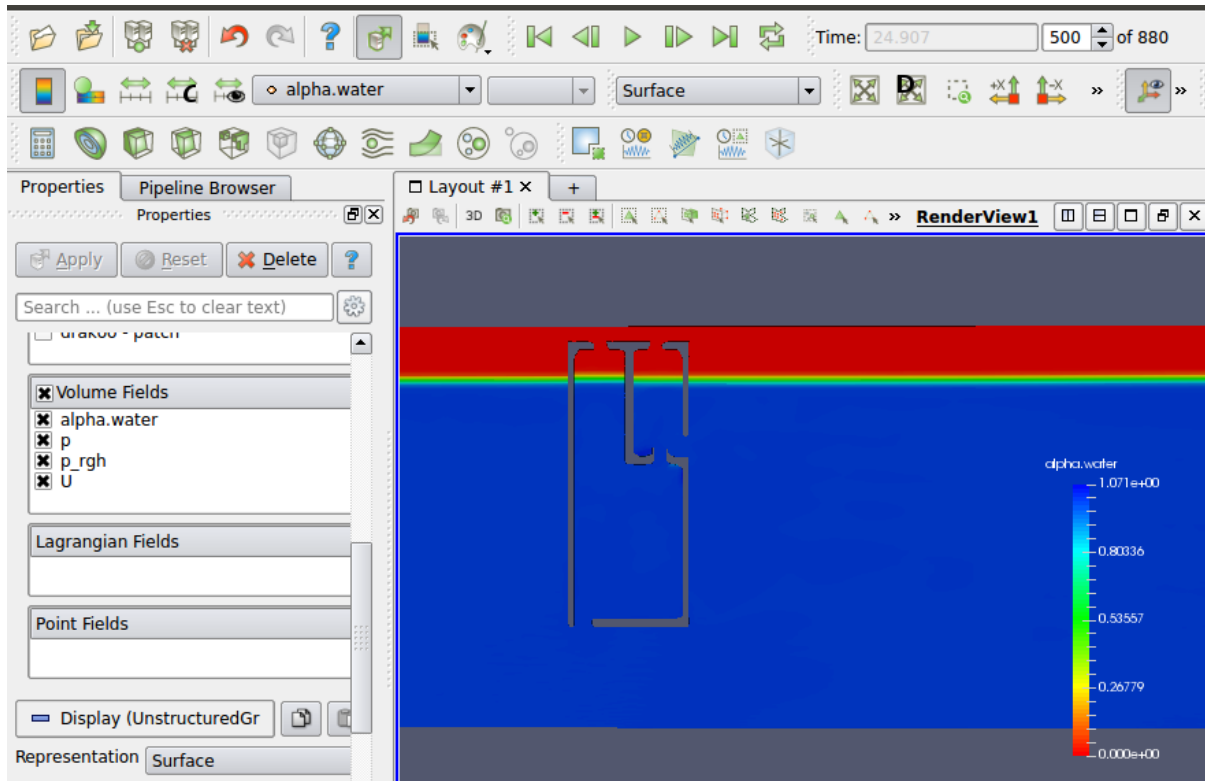
```

HASIL SIMULASI PEMODELAN

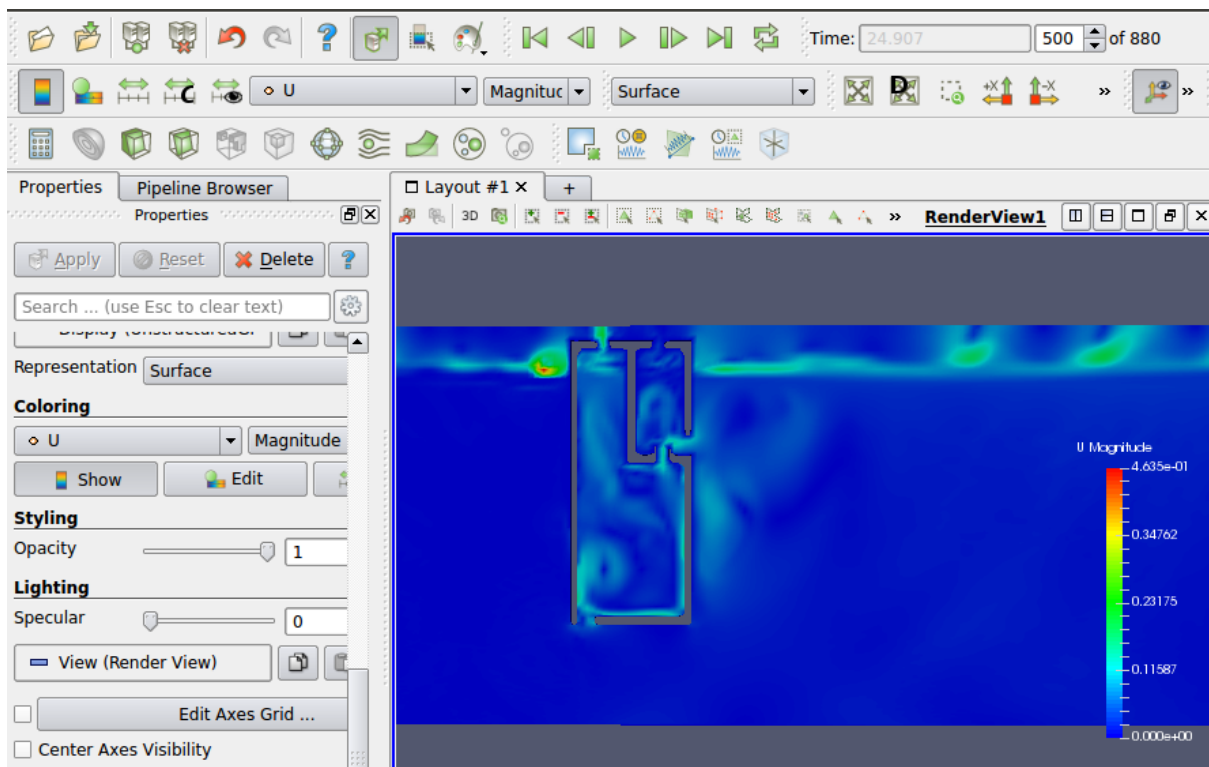
SIMULASI PEMODELAN MODEL A

KONDISI GELOMBANG $H=0,012$ DAN $T = 2$ S

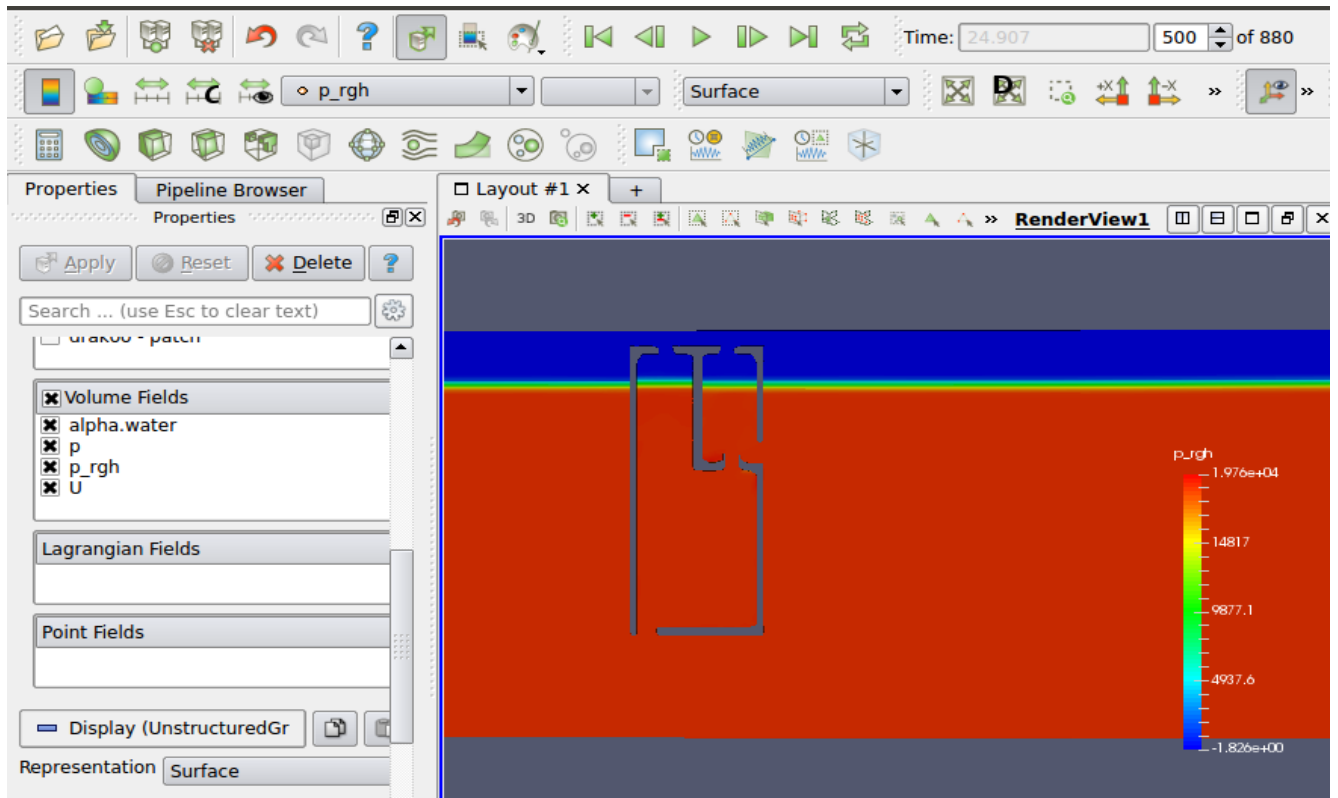
A. HASIL SIMULASI ALPHA.WATER



B. HASIL SIMULASI KECEPATAN FLUIDA



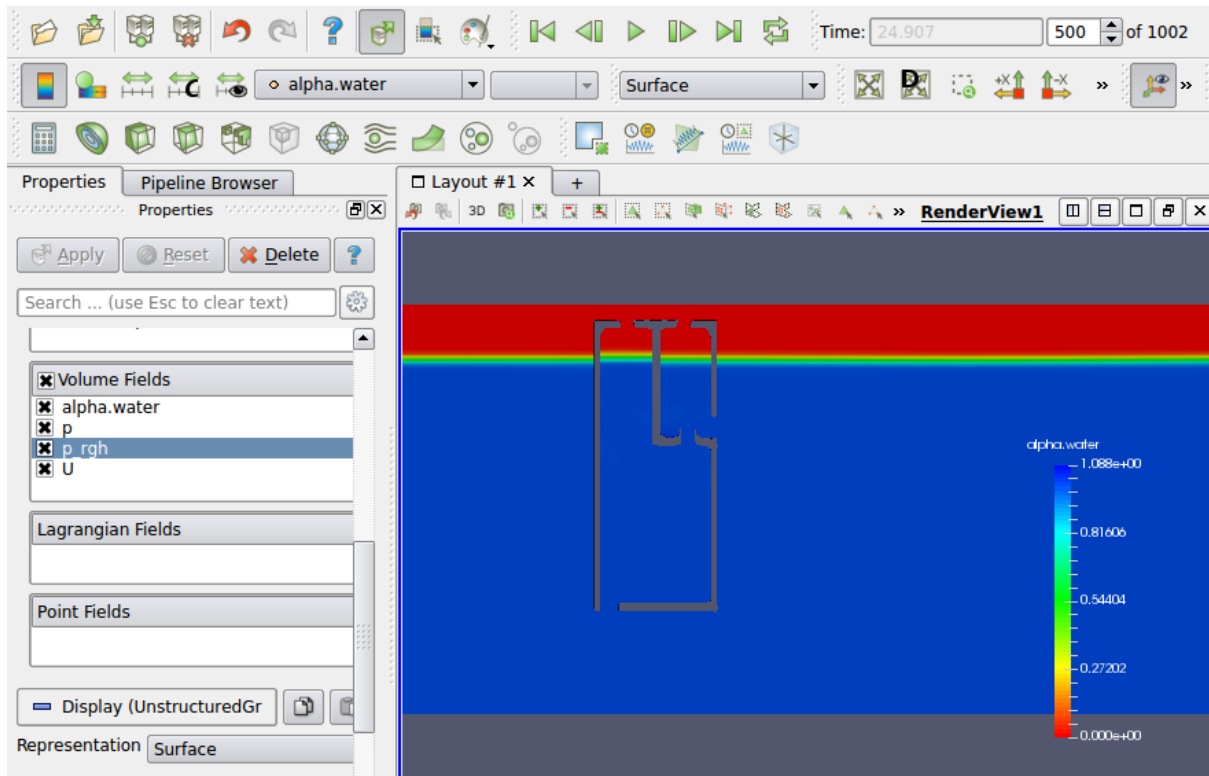
C. HASIL SIMULASI ALPHA.WATER



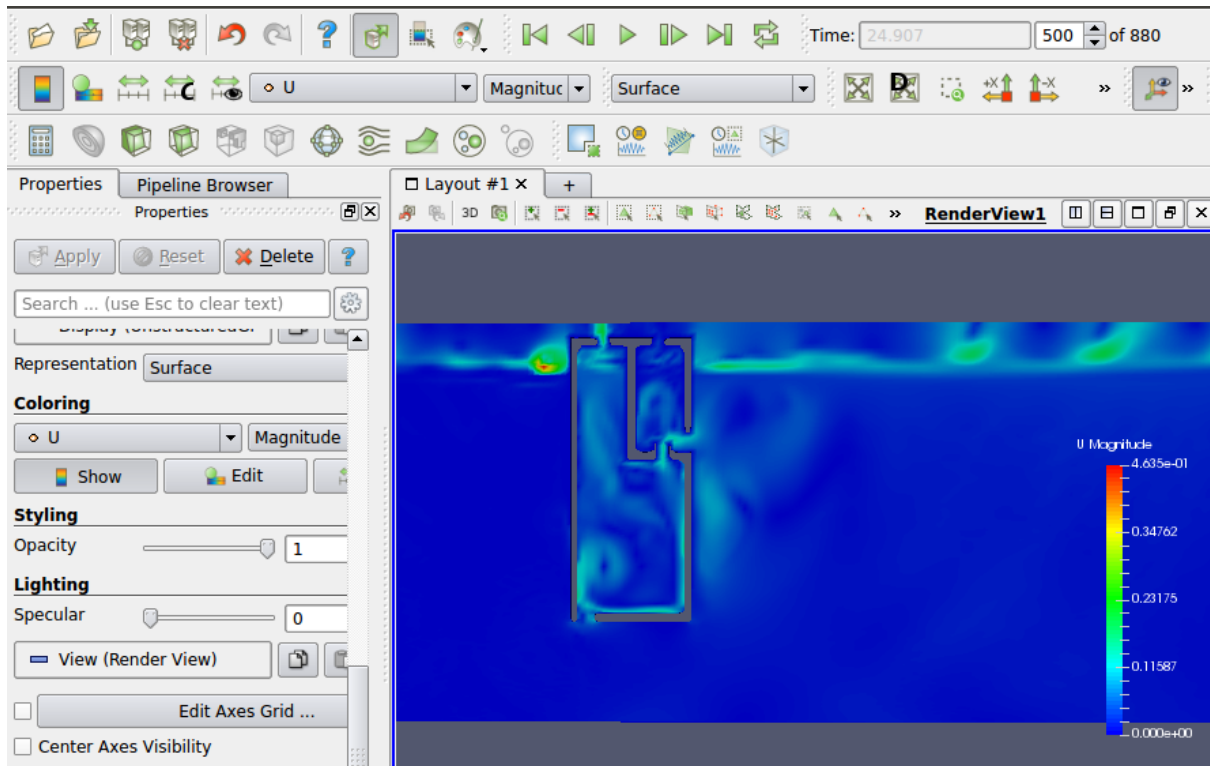
SIMULASI PEMODELAN MODEL A

KONDISI GELOMBANG $H=0,018$ DAN $T = 2$ S

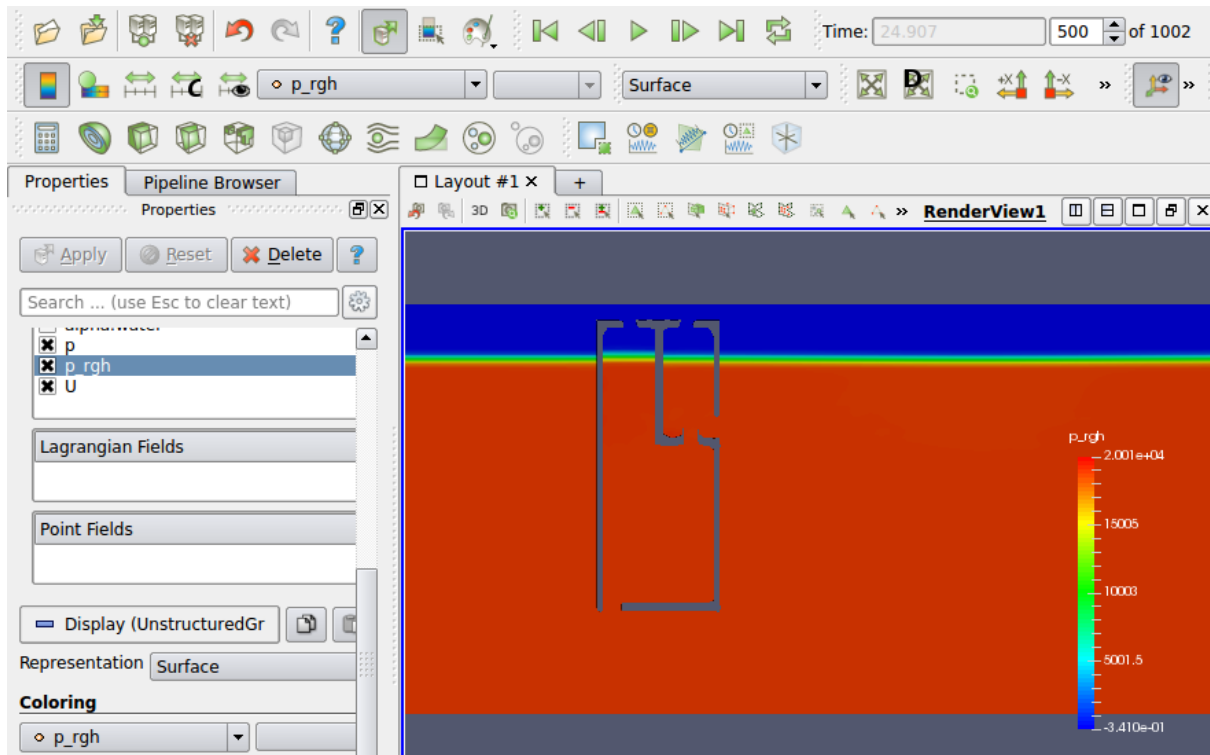
A. HASIL SIMULASI ALPHA.WATER



B. HASIL SIMULASI KECEPATAN FLUIDA



C. HASIL SIMULASI TEKANAN FLUIDA



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Sidoarjo, 09 Desember 1991 anak kedua dari pasangan Mujianto dan Rami Wati. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Klopo Sepuluh 2, SMPN 2 Gedangan, SMAN 1 Gedangan, dan terdaftar di Departemen Teknik Kelautan dengan NRP 04311240000094 melalui jalur SNMPTN tulis. Selama menjadi mahasiswa, penulis secara aktif tergabung dalam organisasi mahasiswa seperti, Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Cinta Rebana ITS sebagai Ketua UKM pada masa jabatan 2013-2014. Selain aktif dalam organisasi intra kampus penulis juga aktif dalam organisasi mahasiswa ekstra kampus seperti PMII (Pergerakan Mahasiswa Islam Indonesia) menjabat sebagai Ketua Bidang 2 pada masa jabatan 2015-2016 dan anggota Center for Research and Islamic Studies (CRIS) hingga saat ini. Penulis juga aktif mengikuti kegiatan kemahasiswaan maupun kepanitiaan dari berbagai kegiatan yang diselenggarakan oleh Jurusan, Institut ,maupunluar kampus. Penulis dapat dihubungi melalui email nurirawanrizkhi@gmail.com .