

**STUDI NUMERIK GAYA HIDRODINAMIK PADA *TWIN-TUBE*
*SUBMERGED FLOATING TUNNEL (SFT)***

(Skripsi)

Oleh :

Mohamad Bima Ramadhan

1915021021



TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2023

**STUDI NUMERIK GAYA HIDRODINAMIK PADA *TWIN-TUBE*
*SUBMERGED FLOATING TUNNEL (SFT)***

**Oleh
MOHAMAD BIMA RAMADHAN**

**Skripsi
Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

**Pada
JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2023

ABSTRAK

STUDI NUMERIK GAYA HIDRODINAMIK PADA *TWIN-TUBE* *SUBMERGED FLOATING TUNNEL (SFT)*

Oleh

MOHAMAD BIMA RAMADHAN

Untuk menghubungkan antar pulau yang memiliki kedalaman air yang cukup dalam jembatan pada normalnya tidak akan dapat dibangun. Oleh karena itu digagaskan usul mengenai pembuatan jembatan terowongan terapung terendam atau disebut *Submerged Floating Tunnel Twin Tube (SFT)*, namun SFT memiliki hambatan yaitu gelombang yang ada di perairan. Penulis memiliki hipotesis bahwa varisasi jarak antar silinder pada struktur SFT twin tube akan mempengaruhi gaya drag yang diterima oleh masing-masing silinder. Metode pengambilan data menggunakan bantuan *software CFD*. Penelitian menghasilkan resultan gaya terkecil berada pada variasi jarak $1/2 \lambda$ antar kedua silinder yaitu sebesar 21,94 N, hal ini terjadi karena adanya arah gerakan beda fasa. Resultan gaya terbesar yang diterima kedua silinder terdapat pada variasi jarak 1λ yaitu sebesar 28,19595 N, hal ini terjadi karena adanya arah gerakan sefasa atau searah. Semakin kecil gaya yang diterima oleh suatu silinder maka ketahanan struktur dan keseimbangan terhadap silinder akan semakin baik.

Kata Kunci : *Submerged Floating Tunnel, SFT, Gaya Drag*

ABSTRACT

NUMERICAL STUDY OF HYDRODYNAMIC FORCES IN TWIN-TUBE SUBMERGED FLOATING TUNNEL (SFT)

By

MOHAMAD BIMA RAMADHAN

To connect between islands that have sufficient water depth, bridges normally cannot be built. Therefore, a proposal was initiated regarding the construction of a submerged floating tunnel bridge or called a Submerged Floating Tunnel Twin Tube (SFT), but SFT has obstacles, namely waves in the waters. The author hypothesizes that varying the distance between cylinders in the SFT twin tube structure will affect the drag force received by each cylinder. Methods of data collection using the help of CFD software. The research showed that the smallest force resultant was at a distance variation of $1/2 \lambda$ between the two cylinders, which was 21.94 N, this was due to the direction of the phase difference movement. The resultant of the greatest force received by the two cylinders is at a distance variation of 1λ which is equal to 28.19595 N, this occurs because the direction of movement is in phase or in the same direction. The smaller the force received by a cylinder, the better the resistance of the structure and balance to the cylinder.

Keywords: Submerged Floating Tunnel, SFT, Drag Force

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : **STUDI NUMERIK GAYA HIDRODINAMIK
PADA TWIN-TUBE SUBMERGED FLOATING
TUNNEL (SFT)**

Nama mahasiswa : **MOHAMAD BIMA RAMADHAN**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1915021021**

Jurusan : **Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**



Komisi Pembimbing 1

Komisi Pembimbing 2

Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.
NIP. 19690801 199903 1 002

Dr. Asnawi Lubis, S.T., M. sc.
NIP. 19700412 199703 1 006

MENGETAHUI

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Amrul, S.T., M.T.
NIP. 19710331 199903 1 003

Kepala Program Studi S1

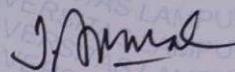
Teknik Mesin

Novri Tanti, S.T., M.T.
NIP. 19701104 199703 2 001

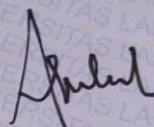
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

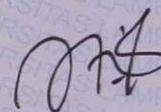
Ketua Penguji : Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.



Anggota Penguji : Dr. Asnawi Lubis, S.T., M. sc.



Penguji Utama : Novri Tanti, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ing. Is. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 07 Agustus 2023

LEMBAR PERNYATAAN

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 36 PERATURAN
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN PERATURAN REKTOR
No. 13 TAHUN 2019.

Bandar Lampung, 25 Juli 2023

Pembuat Pernyataan



Mohamad Bima Ramadhan
NPM.1915021021

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirobbil'alamin, dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat, rizki dan karunia yang Engkau berikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Teriring doa, rasa syukur dan segala kerendahan hati. Dengan segala cinta dan kasih sayang ku persembahkan karya ini untuk orang-orang yang sangat berharga dalam hidupku:

Kedua Orang tua ku Bapak Sunari dan Ibu Roslinda

Terimakasih atas doa serta dukungannya sehingga puteranya bisa menyelesaikan pendidikan Sarjana Teknik Mesin di Universitas Lampung

Saudara Kandungku

Terimakasih atas segala dukungan dan sukses untuk kita semua

Seluruh Teman-Temanku

Terimakasih atas dukungannya dan bantuannya yang telah diberikan.

Almamater Tercinta
UNIVERSITAS LAMPUNG

Motto

*" Saat orang-orang menganggapmu tidak bisa apa-apa, jangan pedulikan.
Karena yang bisa mengubah nasibmu adalah kamu, bukan orang lain."*

(lee)

*"Selalu lakukan yang terbaik. Apa yang kamu tanam sekarang, akan kamu panen
nanti."*

(Og Mandino)

*"Menurut saya akan sangat sulit untuk memnuhi keinginan semua orang, namun
satu hal yang perlu kita lakukan, yaitu memenuhi apa yang kita anggap benar dan
bermanfaat bagi kita ."*

(Penulis)

SANWACANA

Assalamu'alaikum Warahmatullohi Wabarokatuh

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah ﷻ و سبحانه و تعالى karena atas rahmat, hidayah, dan lindungan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan skripsi dengan lancar dan tetap dalam keadaan sehat. Shalawat serta salam tak lupa penulis sanjungkan kepada Nabi Muhammad ﷺ yang telah membimbing umatnya menuju kehidupan yang berakhlak dan berilmu yang baik sehingga dapat menjalani kehidupan dengan baik dan benar. Skripsi ini dibuat sebagai tanda hasil pengerjaan tugas akhir yang penulis lakukan. Diharapkan karya tulis ini dapat menjadi salah satu bentuk perkembangan dalam ilmu di bidang mekanika, khususnya dalam bidang mekanika struktur. Skripsi ini juga merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Semoga karya tulis ini dapat membawa manfaat bagi yang membaca dan yang mengutip serta dapat dijadikan acuan untuk studi-studi selanjutnya. Selesaiannya skripsi ini tidak luput dari bantuan, bimbingan dan arahan dari semua pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis, Bapak Sunari dan Ibu Roslinda yang selalu ada mendampingi dan mendoakan penulis sehingga penulis dapat tetap bersemangat dalam menjalankan serta menyelesaikan studi Teknik Mesin.
2. Dr. Amrul, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
3. Ibu Novri Tanti, S.T., M.T., selaku Ketua Prodi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung sekaligus sebagai Dosen Penguji yang telah bersedia mengoreksi serta meluruskan penulis dalam penyusunan skripsi.
4. Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung sekaligus sebagai Dosen Pembimbing I yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.

5. Dr. Asnawi Lubis, S.T., M.sc., selaku kepala Laboratorium Mekanika Struktur sekaligus sebagai Dosen Pembimbing II yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan penyusunan skripsi.
6. Seluruh Dosen di Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah menjadi guru dan mengajarkan dasar pengetahuan yang dibutuhkan kepada penulis.
7. Seluruh staff dan karyawan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
8. M. Hafizh Ariyudha selaku adik penulis dan seluruh keluarga penulis yang telah memberikan dukungan.
9. Tim Laboratorium Mekanika Struktur, terkhusus pada anggota AQUASCAPE Laboratory, Nurfajar, Rio, Fajar Fitrah Bimantara yang telah bersama dan membantu segala suka duka proses pengerjaan skripsi.
10. Teman-teman Angkatan 2019 yang telah ada menemani, mendengarkan keluhan, memberikan motivasi, dan memberi dorongan semangat.
11. Semua pihak yang telah membantu penulis namun tidak bisa disebutkan namanya satu persatu, penulis ucapkan terima kasih semoga Allah Yang Maha Pengasih membalas segala kebaikan kalian.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari semua pihak yang bersifat membangun dalam rangka penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca. Aamiin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Bandar Lampung, 7 Agustus 2023

Penulis,



MOHAMAD BIMA RAMADHAN

NPM. 1915021021

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Sleman, Provinsi Yogyakarta pada tanggal 19 Desember 2000 sebagai anak pertama dari 2 bersaudara, dari pasangan Bapak Sunari dan Ibu Roslinda. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN Sukamaju 04 hingga tahun 2013, lalu dilanjutkan di SMPN 2 Jonggol yang diselesaikan tahun 2016, dan SMAN 1 Jonggol yang diselesaikan tahun 2019, hingga pada tahun 2019 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung melalui Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Anggota divisi Penelitian. Selain aktif dalam HIMATEM, penulis juga pernah menjadi bagian dari Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM-FT) periode 2020/2021, sebagai staf bidang Hubungan Masyarakat, serta aktif di FOSSI FT periode 2019/2020 sebagai staf Media Informasi.

Penulis pernah melakukan kerja praktek (KP) di **PT. HINO MOTOR MANUFACTURING INDONESIA**, Purwakarta, Jawa Barat tahun 2022 dengan judul laporan “**ANALISIS PRODUKTIVITAS MESIN *PRESS PIN CROSS-***

HEAD DENGAN METODE OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENES (OEE) DAN BIG SIX LOSSES PADA PRODUKSI ENGINE DI PT HINO MOTORS MANUFACTURING INDONESIA". Kemudian pada tahun 2023 penulis melakukan penelitian dengan judul "***STUDI NUMERIK GAYA HIDRODINAMIK PADA TWIN-TUBE SUBMERGED FLOATING TUNNEL (SFT)***" di bawah bimbingan Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T. dan Dr. Asnawi Lubis ,S.T., M.sc

DAFTAR ISI

| | |
|------------------------------------------------------|--------------|
| DAFTAR ISI | xiv |
| DAFTAR GAMBAR | xvi |
| DAFTAR TABEL | xviii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Tujuan..... | 3 |
| 1.3 Rumusan Masalah | 4 |
| 1.4 Batasan Masalah..... | 4 |
| 1.5 Sistematika Penulisan..... | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| 2.1 SFT (<i>Submerged Floating Tunnel</i>)..... | 6 |
| 2.2 Gelombang | 8 |
| 2.3 Teori Gelombang Ampplitudo Hingga | 9 |
| 2.4 Gaya Hidrodinamika | 13 |
| 2.5 Persamaan Morison | 16 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 17 |
| 3.1 Waktu dan Tempat | 17 |
| 3.2 Eksperimen | 19 |
| 3.3 <i>Finite Elemen Method (ANSYS Fluent)</i> | 21 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 31 |
| 4.1 Validasi..... | 31 |
| 4.2 Hasil..... | 32 |
| 4.3 Pembahasan | 32 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 42 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 42 |

| | | |
|-----|----------------------------|-----------|
| 5.2 | Saran..... | 43 |
| | DAFTAR PUSTAKA..... | 44 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 (a) SFT <i>Pontoons</i> , (b) SFT <i>tethers</i> | 6 |
| Gambar 2.2 <i>Submerged floating twin tunnel</i> | 7 |
| Gambar 2.3 Parameter Gelombang | 9 |
| Gambar 2.4 Bentuk Profil Gelombang..... | 11 |
| Gambar 2.5 Gelombang <i>cnoidal</i> | 12 |
| Gambar 2.6 Gelombang Tunggal | 13 |
| Gambar 2.7 (a) <i>Drag force</i> , (b) <i>Impact force</i> | 14 |
| Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian..... | 18 |
| Gambar 3.2 Sistem Penempatan Pipa Silinder pada <i>Load Cell HX711</i> | 20 |
| Gambar 3.3 Sistem <i>Holder Twin-tube SFT-Brigde</i> | 20 |
| Gambar 3.4 ANSYS <i>Workbench Fluid Flow (Fluent)</i> | 22 |
| Gambar 3.5 Geometri..... | 22 |
| Gambar 3.6 <i>Meshing</i> | 23 |
| Gambar 3.7 Kondisi batas; <i>inlet</i> (biru), <i>outlet</i> (merah), <i>wall</i> (abu-abu), dan <i>cylinder wall</i> (abu-abu) | 23 |
| Gambar 3.8 <i>Fluent Setup</i> | 24 |
| Gambar 3.9 <i>General</i> | 25 |
| Gambar 3.10 Pemilihan material <i>water liquid</i> (fluida) | 25 |
| Gambar 3.11 Pemilihan model simulasi | 26 |
| Gambar 3.12 <i>Boundary condition</i> | 26 |
| Gambar 3.13 <i>Velocity Inlet</i> | 27 |
| Gambar 3.14 <i>Pressure Outlet</i> | 27 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 3.15 <i>Reference values</i> | 28 |
| Gambar 3.16 <i>Report definition</i> | 28 |
| Gambar 3.17 <i>Initialization</i> | 29 |
| Gambar 3.18 <i>Calculation</i> | 29 |
| Gambar 3.19 Contoh data keluaran berupa <i>notepad</i> , untuk $\lambda = 20$ cm..... | 30 |
| Gambar 4.1 Perbandingan hasil antara numerik, eksperimen dan teoritik (persamaan morisson) | 31 |
| Gambar 4.2 Grafik hasil gaya drag pada variasi jarak $x=1\lambda$ | 33 |
| Gambar 4.3 Grafik hasil gaya drag pada variasi jarak $x=3/4 \lambda$ | 33 |
| Gambar 4.4 Grafik hasil gaya drag pada variasi jarak $x=1/2 \lambda$ | 34 |
| Gambar 4.5 Grafik hasil gaya drag pada variasi jarak $x=1/4 \lambda$ | 34 |
| Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Jarak Terhadap Gaya Yang Diterima Pada Kedua Silinder. | 35 |
| Gambar 4.7 Aliran vortex pada pipa | 36 |
| Gambar 4.8 Persamaan resultan gaya pada dua silinder kaku | 37 |
| Gambar 4.9 Resultan Gaya Pada Kedua Silinder..... | 37 |
| Gambar 4.10 Grafik arah gerakan saling berlawanan (berbeda fase) pada parameter jarak $x=1/2 \lambda$ | 38 |
| Gambar 4.11 Grafik arah gerakan saling berlawanan (berbeda fase) pada parameter jarak $x=1\lambda$ | 39 |
| Gambar 4.12 Perbandingan nilai resultan gaya pada metode numerik dan eksperimental | 39 |
| Gambar 4.13 Laju Aliran streamline pada 2 silinder dengan variasi jarak antar silinder..... | 40 |
| Gambar 4.14 Contour hasil simulasi..... | 41 |

DAFTAR TABEL

| | |
|-------------------------------------------------------|----|
| Tabel 3.1 Parameter Eksperimen | 19 |
| Tabel 4.1 Nilai hasil pada setiap metode | 31 |
| Tabel 4.2 Nilai rata-rata gaya dan resultan gaya..... | 32 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Negara Indonesia adalah salah satu negara yang memiliki pulau terbanyak. Dikutip dari laman Badan Pusat Statistik Geografi dan Iklim Indonesia memiliki 16.766 pulau pada tahun 2021. Mengalami peningkatan dalam jumlah yang dikutip dari Kompas.com pada tahun 2022 Indonesia menempati peringkat 6 sebagai negara yang memiliki pulau terbanyak yaitu sebanyak 17.504 pulau, terdiri dari 5 pulau besar, dan 6.000 pulau yang dihuni. Melihat banyaknya pulau yang ada diperlukan adanya suatu sarana penghubung antar pulau. Sarana penghubung yang banyak digunakan saat ini adalah jembatan, dimana jembatan-jembatan tersebut dapat didirikan jika perairan memiliki kedalaman yang tidak terlalu dalam.

Untuk menghubungkan antar pulau yang memiliki kedalaman air yang cukup dalam jembatan pada normalnya tidak akan dapat dibangun. Sebagai contoh adalah perairan selat sunda dimana Selat Sunda adalah selat yang terletak antara Pulau Jawa dan Pulau Sumatera. Dengan Luas perairan lebih kurang adalah 8.138 km² selat ini berbentuk seperti corong atau disebut palung, bagian utara pada selat memiliki lebar (± 24 km) dan kedalaman (< 80 m), sedangkan untuk bagian selatan pada selat memiliki lebar sekitar 100 km dan kedalaman mencapai 1.575 m (Amri dkk, 2017). Terdapat kemungkinan dibuat penghubung antar pulau sumatera dengan pulau jawa. Dalam pembuatan jembatan pada normalnya akan sulit untuk dapat direalisasikan karena kedalaman perairan yang ada diantara pulau sumatera dengan pulau jawa. Hal tersebut menjadi sebuah masalah dalam pembangunan jembatan sebagai

penghubung antar pulau dalam menunjang transportasi, selain menggunakan sarana laut seperti kapal laut. Oleh karena itu digagaskan usul mengenai pembuatan jembatan terowongan terapung terendam atau disebut *Submerged Floating Tunnel* (SFT).

Submerged Floating Tunnel (SFT) merupakan konstruksi pada penyeberangan laut antar pulau yang ditambatkan dari dasar laut dan ditujukan pada sarana transportasi alternatif terowongan bawah air (Zou dkk., 2022). Struktur jembatan atau terowongan dengan sistem *Submerge Floating Tunnel* (SFT) merupakan suatu pengembangan dari konsep infrastruktur yang pernah ada pada penelitian terdahulu. Dengan menggunakan sistem SFT, akan adanya gaya dorong atau tekanan yang dipengaruhi oleh *uplift* karena struktur yang berada di dalam air atau bisa disebut dengan pengaruh gaya apung. Oleh karena itu digunakannya sistem ini akan memiliki kelebihan dan keunggulan dibandingkan dengan konsep yang telah lama dibuat yaitu jembatan *immerge* dan *tunnel underground* (Wimpie dkk., 2010). Pada *immersed tunnel* dan *underground tunnel*, badan terowongan tertanam di dasar laut, sementara SFT adalah konsep baru yang digagas untuk melintasi perairan dalam, dimana struktur badan terowongan tidak tertanam di dasar laut (Sari, 2019).

Akmal dkk (2022) struktur SFT yang dibangun dengan membentuk kelengkungan akan mempunyai gangguan gelombang yang lebih kecil dibanding dengan SFT yang dibangun secara lurus. Sari (2019) Elastomer memiliki kemampuan berotasi dan juga bisa bertranslasi horizontal, dimana kemampuannya dalam mengurangi gaya geser yang diterima oleh struktur SFT dapat diminimalisir. Sharma dkk (2020) Di hadapan pemecah gelombang berpori terendam yang dipasang di bawah dapat mempengaruhi gelombang yang diterima oleh terowongan terapung yang terendam.

Sistem SFT memang memiliki banyak keunggulan namun terdapat masalah yang berdampak pada struktur SFT, yaitu adalah arus gelombang yang ada di dalam laut. Gelombang air yang memiliki arus kuat akan mengakibatkan

struktur SFT menerima goncangan yang dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur SFT tersebut. Perancangan konsep dalam pembuatan infrastruktur dengan menggunakan sistem SFT perlu diperhatikan dengan kondisi arus gelombang pada laut yang ingin diimplementasikan dengan sistem ini, Sistem SFT yang menjadi topik dari penulis adalah SFT dengan 2 silinder atau tabung kembar yang terbenam (*Submerged Floating Twin Tube*), dimana tabung kembar terbenam ini akan memiliki jalur pergi dan jalur pulang dengan posisi silinder yang terpisah. Penulis memiliki hipotesis bahwa variasi jarak antar silinder pada struktur SFT *twin tube* akan mempengaruhi gaya *drag* yang diterima oleh masing-masing silinder, dimana semakin dekat jarak antara kedua silinder maka gaya *drag* yang diterima oleh masing-masing silinder akan semakin kecil dan gangguan gelombang yang diterima oleh silinder juga akan semakin kecil.

Dalam membuktikan hipotesis tersebut, penulis akan melakukan penelitian yang bertujuan dalam mengetahui gaya drag yang diterima oleh kedua silinder dan penelitian akan dilakukan secara simulasi menggunakan *ANSYS Fluent* dengan menggunakan parameter diameter silinder, kedalaman air, panjang silinder, lebar air, dan kedalaman benam. Parameter yang akan divariasikan adalah jarak antara kedua silinder. Hasil yang diperoleh dari simulasi akan dibandingkan dengan hasil dari eksperimen, dan juga dari persamaan Morison. Hasil yang didapatkan adalah berupa gaya drag yang diterima oleh kedua silinder dengan bentuk grafik.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai rata-rata gaya drag yang diterima oleh 2 silinder terbenam pada variasi jarak antara 2 silinder (SFT).
2. Mengetahui nilai resultan gaya drag yang diterima oleh 2 silinder terbenam dengan menggunakan variasi jarak antara 2 silinder (SFT).

3. Menentukan parameter jarak yang menghasilkan resultan gaya minimum dengan memperhatikan penerimaan gaya dan gangguan gelombang pada 2 silinder (SFT).

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh gaya hidrodinamik terhadap pipa silinder terbenam SFT?
2. Bagaimana pengaruh gaya drag in-line terhadap variasi jarak antar pipa silinder (Twin-tube SFT)?

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan lebih terfokus dan dapat mencapai tujuan yang telah ditetapkan, berikut beberapa batasan masalah dari penelitian ini:

1. Gaya yang diukur ialah gaya *in-line*/searah silinder (gaya *drag*).
2. Pipa yang digunakan berdiameter 3 inchi.
3. Silinder sirkular akan diletakkan melayang dalam air dengan kedalaman 10 cm dari permukaan air.
4. Variasi yang digunakan adalah jarak antara 2 silinder.
5. Dasar perhitungan menggunakan persamaan Morison.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam laporan penelitian ini adalah sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Berisi uraian latar belakang, tujuan dan batasan masalah dalam penulisan laporan serta sistematika yang digunakan penulis dalam menyusun laporannya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi teori-teori dasar atau literatur yang menjadi pedoman atau acuan yang berhubungan dengan penelitian ini.

III. METODE PENELITIAN

Berisi mengenai waktu dan tempat, alur atau tahapan, serta metode-metode yang digunakan oleh penulis dalam pelaksanaan penelitian.

IV. HASIL dan PEMBAHASAN

Berisikan data-data yang diperoleh dari hasil penelitian yang telah dilakukan beserta pembahasan pengaruh berbagai parameter yang ada pada penelitian ini.

V. KESIMPULAN dan SARAN

Berisikan simpulan dari hasil penelitian yang diperoleh serta saran yang diperlukan untuk penelitian selanjutnya

DAFTAR PUSTAKA

Berisi sumber dan referensi yang digunakan oleh penulis dalam menyusun laporan penelitian ini.

LAMPIRAN

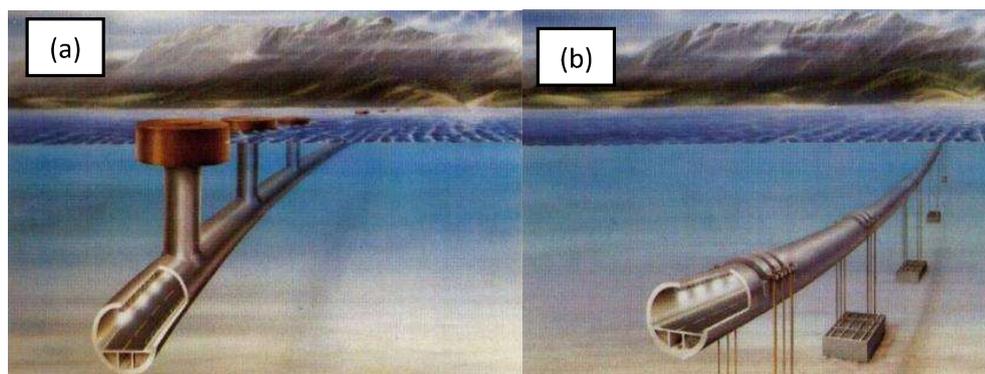
Berisi data pelengkap seperti Gambar, dan beberapa data pendukung untuk menunjang kredibilitas laporan penelitian ini

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 SFT (*Submerged Floating Tunnel*)

SFT atau Jembatan bawah air adalah sebuah konsep baru di bidang infrastruktur pada bidang transportasi. Konsep dari SFT adalah meletakkan sebuah struktur berbentuk tubular pada kedalaman tertentu di bawah permukaan air dengan menjadikan gaya apung dari hukum Archimedes sebagai daya dukungnya. Konsep SFT didasarkan pada teknologi yang biasa diterapkan pada jembatan mengambang dan struktur lepas pantai, tetapi konstruksinya sebagian besar mirip dengan terowongan terendam (*immersed tunnel*).



Gambar 2.1 (a) SFT *Pontoons*, (b) SFT *tethers*

(sumber : Jakobsen, 2010)

SFT juga sering disebut dengan jembatan Archimedes, SFT merupakan solusi teknis untuk jalur penyebrangan yang berada di bawah air. SFT menggunakan hubungan antara gaya apung dan beratnya sendiri untuk mengatur keseimbangan dan posisi di dalam air. Berat sendiri dan gaya apung pada SFT dipengaruhi oleh desain dan material penampang, Prinsip struktural SFT secara umum adalah menggunakan gaya apung pada badan penampang SFT untuk menahan beban vertikal (beban mati dan beban tambahan) yang bekerja pada SFT (Budiman dkk., 2019).

Terowongan dapat terbuat dari baja, beton atau kombinasi dari keduanya. Di Norwegia sebagian besar terowongan telah dirancang dengan penampang melingkar, karena alasan hidrodinamik. Bentuk lain seperti elips, persegi panjang atau yang lain mungkin juga relevan. Tambatan dan ponton adalah cara alternatif dalam mengontrol atau menahan posisi vertikal dan gerakan pada tabung. Keduanya mungkin juga dapat digunakan secara bersamaan atau kombinasi. Biasanya, tabung memiliki struktur yang panjang dan sangat ramping sehingga memerlukan tindakan khusus untuk memberikan kekakuan horizontal yang cukup pada sistem. Selama ini biasanya dilakukan dengan membentuk tabung sebagai lengkungan horizontal atau dengan memiringkan tambatan.



Gambar 2.2 *Submerged floating twin tunnel*

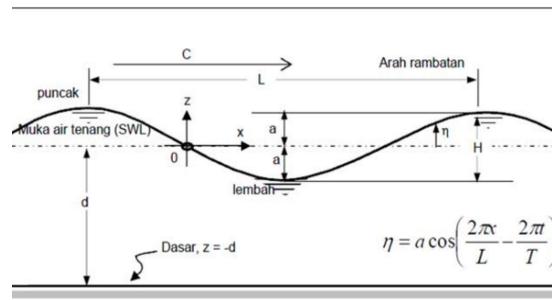
(Sumber : Deng dkk., 2020)

Jika penyeberangan lebar dan untuk beberapa alasan mungkin sulit atau terlalu mahal untuk menggunakan tambatan miring. Pada perairan yang sangat dalam kekakuan horizontal dapat ditingkatkan secara signifikan dengan menggunakan lengkungan horizontal yang terdiri dari dua lebih atau kurang tabung paralel dihubungkan pada interval tertentu seperti pada Gambar 2.2. Setiap tabung kemudian dapat memberikan ruang untuk lalu lintas dalam satu arah dan memberikan kemungkinan melarikan diri jika terjadi kebakaran atau hal kerusakan lainnya (Jakobsen, 2020).

2.2 Gelombang

Gelombang dapat didefinisikan sebagai proses gerakan naik turunnya molekul air laut, membentuk puncak dan lembah pada lapisan permukaan air laut. Gelombang berasal dari tengah lautan menuju pantai. Gelombang sebenarnya merupakan gerakan naik dan turunnya air laut (Karim dan muhammad, 2018). Gelombang terjadi secara periodik terutama gelombang yang disebabkan oleh adanya peristiwa pasang surut. Berdasarkan kedalaman, gelombang yang bergerak mendekati pantai dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu gelombang laut dalam dan permukaan. Gelombang laut dalam adalah gelombang yang dibentuk dan dibangun dari bawah ke permukaan. Sedangkan gelombang permukaan merupakan gelombang yang terjadi antara batas dua media seperti batas air dan udara.

Gelombang laut memiliki parameter yaitu periode gelombang, panjang gelombang, tinggi gelombang dan cepat rambat gelombang yang terlihat pada Gambar 2.3. Periode gelombang (T) adalah waktu tempuh diantara dua puncak atau dua lembah gelombang secara berurutan pada titik yang tetap (satuan detik). Panjang gelombang (L) adalah jarak horizontal antara dua puncak atau dua lembah yang berurutan (satuan meter). Tinggi gelombang (H) adalah jarak vertikal antara puncak gelombang dan lembah gelombang (satuan meter). Cepat rambat gelombang (V) adalah kecepatan tempuh perjalanan suatu gelombang, yang dapat diperoleh dengan pembagian panjang gelombang (L) dengan periode gelombang (T) atau $C=L/T$ (Suharyo, 2018).



Gambar 2.3 Parameter Gelombang

(Sumber : Suharyo, 2018)

2.3 Teori Gelombang Amplitudo Hingga

Di dalam teori gelombang amplitudo kecil (*Airy*) dianggap bahwa tinggi gelombang adalah sangat kecil terhadap panjangnya atau kedalamannya. Persamaan gelombang diturunkan dengan mengabaikan (melinierkan) suku ($u^2 + v^2$) dari persamaan Bernoulli. Apabila tinggi gelombang relatif besar suku tidak linier tersebut tidak boleh diabaikan. Dalam keadaan ini digunakan teori gelombang amplitudo berhingga yang memperhitungkan besaran dengan orde yang lebih tinggi dan berikut ini diberikan beberapa teori yang ada (Wiratmodjo, 1999).

2.3.1 Teori Gelombang *Airy*

Teori gelombang *Airy* adalah teori gelombang yang paling sederhana dan sering digunakan. Teori ini biasa disebut teori gelombang linier atau gelombang sinus yang didasarkan asumsi bahwa tinggi gelombang relatif kecil bila dibandingkan dengan panjang gelombang dan kedalaman air. Teori *Airy* merupakan teori *Stokes* orde pertama. Dengan mengabaikan orde yang lebih tinggi dari persamaan yang digunakan pada teori *Stokes*, maka teori *Airy* valid untuk ketinggian gelombang yang relatif kecil dibandingkan panjang gelombang. Ciri khas dari teori *Airy* adalah gelombang yang direpresentasikan berbentuk sinusoidal. Bila *velocity potential* (Φ), dituliskan dalam bentuk:

$$\Phi = \frac{H \cdot g \cos h k (d+z)}{2 \sigma \cos h kd} \cos kx \sin \sigma t \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan (g) adalah percepatan gravitasi, (T) adalah perioda gelombang, (k) adalah nomor gelombang ($2\pi/L$), (L) adalah panjang gelombang, (d) adalah kedalaman air laut dan (σ) adalah frekuensi sudut gelombang ($\sigma=2\pi/T$). Kecepatan gelombang (C) dapat diperoleh dengan mensubstitusikan persamaan (2.1) pada persamaan syarat batas pada permukaan air laut ($z = 0$) sebagai berikut :

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + g \frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots(2.2)$$

sehingga diperoleh,

$$C^2 \frac{g}{k} \tan kd \dots\dots\dots(2.3)$$

Bila $C = L/T$ dan $k = 2\pi/L$ maka panjang gelombang dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini (Budipriyanto, 2008):

$$L \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \dots\dots\dots(2.4)$$

2.3.2 Gelombang *Stokes*

Gelombang *stokes* merupakan pengembangan dari teori *Airy*. Metode *Stokes* menambah dan mengembangkan suatu pemecahan masalah gelombang dalam bentuk serial kemudian menentukan koefisien-koefisien untuk masing-masing persamaan gelombang

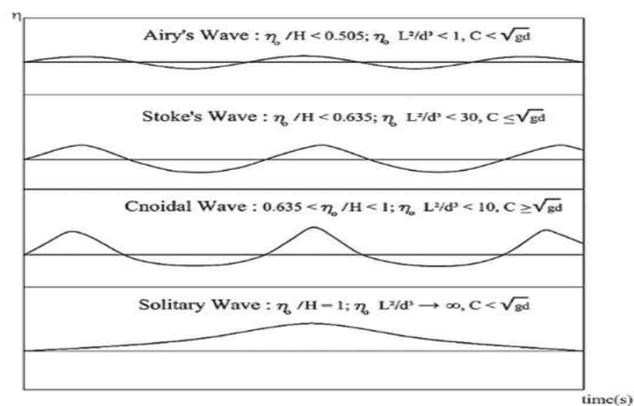
$$F = FD + FI$$

$$FD = \frac{\rho \cdot CD \cdot D \cdot \omega^2}{2k^2} \sum_{m=1}^4 \sum_{n=1}^{5-m} A_{mn} |\cos m\omega t| \cos n\omega t \dots\dots\dots(2.5)$$

$$Fl = \frac{\rho \cdot CM \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \omega^2}{4k^2} \sum_{n=1}^5 \sin.n\omega t \dots \dots \dots (2.6)$$

- dimana: ρ = massa jenis air (kg/cm³)
 CD = koefisien *drag*
 CM = koefisien inersia
 D = diameter tabung (m)
 k = konstanta gelombang
 ω = frekuensi gelombang

Perhitungan pada teori *Stokes* memakai konsep *non-linearitas* dan memiliki orde tinggi. Pada umumnya, semakin tinggi orde dari teori ombak, maka akan semakin tinggi batasan dari ketinggian ombak yang bisa diprediksi. Gelombang *stokes* orde kelima sering digunakan dalam memperkirakan gaya gelombang pada struktur, karena banyak konstanta eksperimental yang diturunkan dari pengukuran lapangan telah berkorelasi dengan teori ini. Profil gelombang dapat dilihat pada Gambar 2.4 (kewengian, 2018).

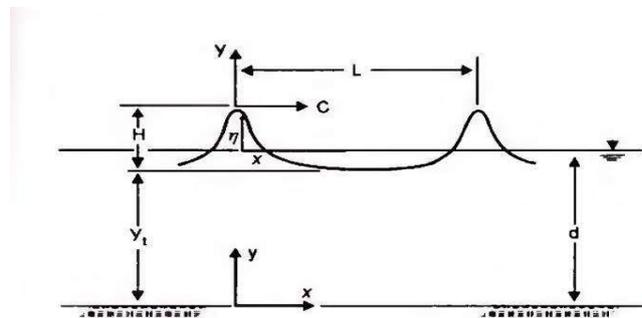


Gambar 2.4 Bentuk Profil Gelombang

(Sumber: Wilson, 1963)

2.3.3 Gelombang *Cnoidal*

Pertama kali dikemukakan oleh Korteweg dan Devries pada 1895. Teori ini dapat digunakan pada rentang $1/50 < d/L < 1/10$, dengan bentuk gelombang periodik yang memiliki puncak tajam dan lembah yang cukup panjang. Ketika panjang gelombangnya bertambah menuju tak hingga, bentuk teori ini berubah mendekati teori *solitary*. Komputasi *shoaling* (deformasi dari ombak) dilakukan dengan menggunakan teori ini, yang sangat baik mendeskripsikan gerakan ombak pada perairan dangkal. Pada Gambar 2.5 dapat dilihat lebih jelas bentuk profil dari ombak knoidal (Sundar, 2016).

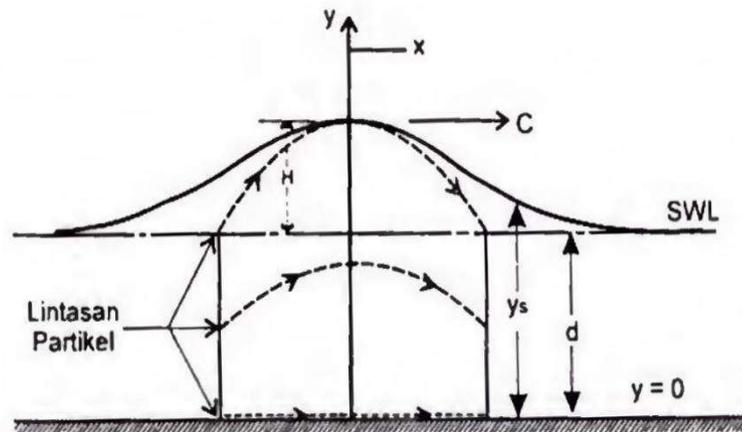


Gambar 2.5 Gelombang *cnoidal*

(Sumber: Triatmodjo, 1999)

2.3.4 Gelombang *Solitary*

Gelombang *Solitary* atau disebut dengan gelombang tunggal adalah gelombang berjalan yang terdiri dari satu puncak gelombang. Apabila gelombang memasuki perairan yang sangat dangkal, amplitudo gelombang menjadi semakin tinggi, puncaknya menjadi semakin tajam dan lembahnya menjadi semakin datar. Gelombang tunggal merupakan gelombang translasi, di mana kecepatan partikel air hanya bergerak dalam arah penjarangan gelombang. Gambar 2.6 merupakan sistem koordinat dari gelombang tunggal.



Gambar 2.6 Gelombang Tunggal

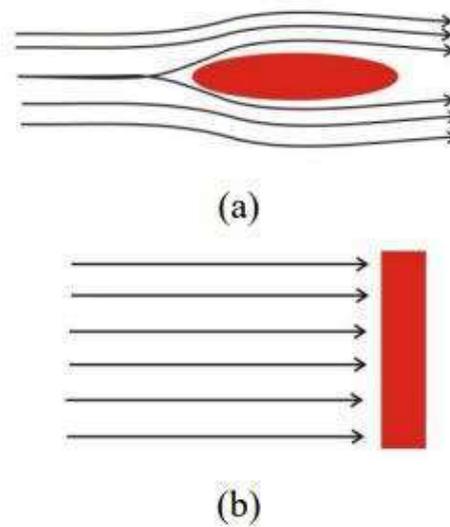
(Sumber : Triatmodjo, 1999)

2.4 Gaya Hidrodinamika

Analisis dalam stabilitas di bawah air perlu dilakukan dalam memastikan stabilitas tabung, ketika tabung terkena gaya gelombang dan arus, serta terkena beban internal dan eksternal lainnya. Tabung bawah laut terkena gaya hidrodinamika dari gelombang dan arus. Stabilitas hidrodinamika menggunakan persamaan Morison, yang mengaitkan gaya angkat, gaya inersia dan gaya drag akibat kecepatan dan percepatan partikel air. Pada kenyataannya variasi gaya sangat kompleks, ekspresi analitis sederhana dapat menjelaskan variasi gaya dengan metode pendekatan (Braestrup dkk., 2005).

2.4.1 Gaya Drag

Dalam dinamika fluida, *drag force* dapat didefinisikan sebagai suatu hambatan udara atau hambatan fluida, dimana gaya ini menghambat laju dari udara atau fluida akibat bergesekan dengan sebuah permukaan benda padat. Selain *drag force*, dalam lingkup interaksi antara air laut dengan permukaan benda padat, terdapat bentuk gaya lain yaitu *impact force*, yaitu gaya yang ditimbulkan oleh hantaman arus laut terhadap bidang datar tegak lurus terhadap arah gerak arus laut. Ilustrasi *drag force* dan *impact force* adalah sebagai berikut.



Gambar 2.7 (a) *Drag force*, (b) *Impact force*

(Sumber : Haza, 2015)

Perilaku *drag force* tidak serupa dengan gaya hambatan yang lain karena *drag force* sangat tergantung kepada kecepatan aliran fluida. Selain itu, *drag force* selalu mengurangi laju fluida terhadap benda padat yang dilaluinya. Dalam penelitian *drag force* (F_d) air laut terhadap struktur tabung, maka hal pertama dan utama yang perlu dilakukan adalah pemodelan gerakan gelombang (air laut). Dalam hal ini, faktor kecepatan (u) gelombang air laut bisa ditentukan sebagai parameter drag force. Dengan menggunakan pendekatan dinamika fluida, maka drag force (F_d) oleh fluida pada permukaan tabung dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$F_D = \frac{1}{2} \rho_f \cdot C_d \cdot A \cdot u^2 \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana (F_d) adalah komponen drag force tegak lurus terhadap sumbu tabung, (ρ_f) adalah berat jenis air laut, (C_d) adalah koefisien *drag*, (A) adalah luas permukaan tabung tegak lurus terhadap arah aliran air, dan (u) adalah kecepatan aliran air (Haza, 2015)

2.4.2 Gaya Gesek

Benda yang terletak pada suatu permukaan apabila diberi gaya pada arah horizontal, maka pada benda tersebut akan timbul gaya reaksi pada bidang sentuh antara benda dan permukaan dimana benda itu terletak. Gaya reaksi tersebut memiliki arah yang berlawanan arah yang berlawanan dengan arah gaya yang diberikan pada benda tersebut. Gaya yang timbul tersebut umumnya disebut gaya gesek. Struktur tabung bawah laut juga mengalami gaya gesek akibat berat tabung itu sendiri dan gayagaya yang bekerja pada struktur tabung tersebut. Pada struktur tabung bawah laut, gaya gesek berperan penting dalam menjaga kestabilan tabung di dasar laut. Gaya gesek ini besarnya dipengaruhi oleh suatu nilai koefisien (μ) antara permukaan luar tabung dengan permukaan dasar laut, sementara itu besarnya koefisien gesek (μ) dipengaruhi oleh jenis material tabung dan jenis tanah didasar laut tersebut.

2.4.3 Gaya Lift

Gaya angkat muncul karena ada aliran yang bekerja pada tabung. Perbedaan bentuk aliran air pada tabung didasar laut dapat mengakibatkan tabung terangkat. Hal tersebut dikarenakan aliran air dibagian atas tabung lebih cepat dan memiliki tekanan rendah dibandingkan dengan bagian bawah tabung yang memiliki tekanan yang lebih tinggi. Terjadinya gaya *drag*, F_D , dipengaruhi oleh kecepatan aliran, nilai gaya drag dirumuskan sebagai berikut:

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana C_L = Koefisien Angkat

A = Area frontal

F_D = Gaya drag

F_L = Gaya lift

V = Kecepatan aliran relatif terhadap objek

ρ = Massa jenis fluida

$\frac{1}{2}\rho V^2$ = Tekanan dinamik

2.5 Persamaan Morison

Persamaan Morison mengasumsikan bahwa gaya gelombang adalah terdiri dari komponen gaya inersia (*inertia*) dan gaya hambatan (*drag*), yang dijumlahkan secara linier. Persamaan Morison telah dijustifikasi agar dapat digunakan untuk silinder sirkular terbenam dengan posisi horizontal. Namun sebagai tambahannya, silinder akan mengalami gaya vertikal yang bekerja maksimal ke arah atas dari dasar air (Kewengian, 2018).

$$f = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho}{g} C_D \cdot D \cdot |u| \cdot u + \frac{\rho}{g} \cdot C_m \cdot \frac{\rho \pi D^2}{4} a_x \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana : ρ = massa jenis air laut (ton/m³)

C_D = koefisien *drag*

C_m = koefisien inersia

u = kecepatan horizontal air (m/det)

a_x = percepatan horizontal air (m/det²)

D = diameter tabung (m)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

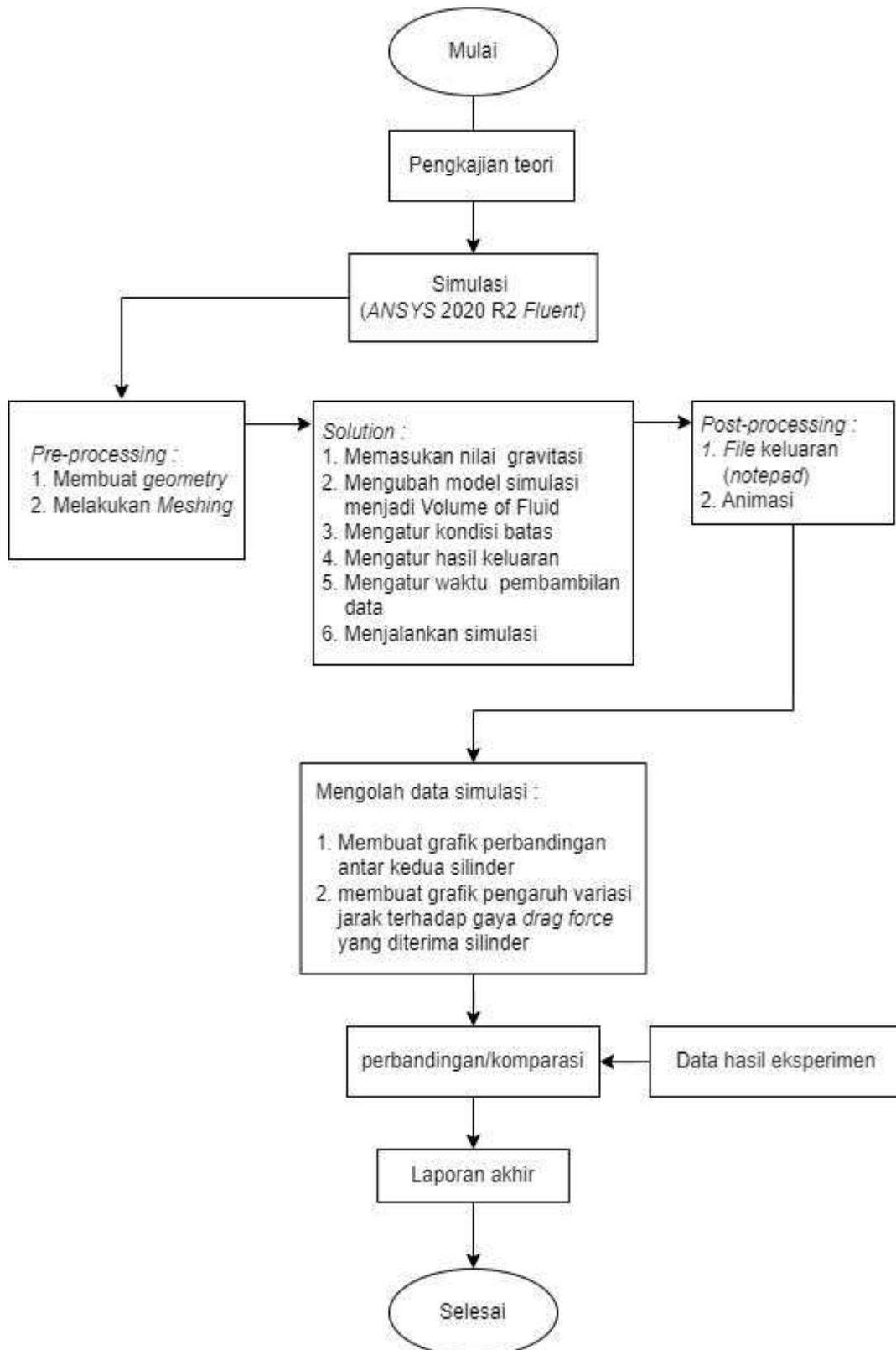
Waktu dan tempat penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

3.1.1 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari bulan Januari 2023 hingga Juni 2023. Penelitian diawali dengan studi literatur dan pengumpulan data terkait yang dilaksanakan pada awal bulan Januari 2023.

3.1.2 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Struktur Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Selain dilakukan dengan simulasi menggunakan *software ANSYS Fluent*, penelitian juga menggunakan data hasil eksperimen yang berfungsi sebagai pembanding hasil simulasi. Data hasil eksperimen merupakan data yang telah didapat oleh penulis lain. Dalam melakukan proses simulasi diperlukan tahapan-tahapan yang dilakukan untuk mendapatkan data yang ingin diperoleh seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

3.2 Eksperimen

Hasil yang diperoleh dari eksperimen digunakan sebagai pembandingan terhadap hasil yang didapat dari simulasi (metode numerik). Simulasi yang dilakukan sesuai dengan parameter dan prosedur yang telah ditentukan, dapat dilihat pada Tabel 3.1.

3.2.1 Parameter

Parameter yang digunakan yaitu tinggi gelombang, panjang gelombang, diameter pipa silinder, frekuensi, dan kedalaman. Parameter terbagi dua macam yaitu bernilai tetap dan variatif

1. Parameter dengan nilai tetap adalah tinggi gelombang (0,06 m), panjang gelombang (0,45 m), panjang silinder (0,8 m), dan periode (0,588 s).
2. Parameter variatif yaitu jarak antar pipa dan diameter pipa.

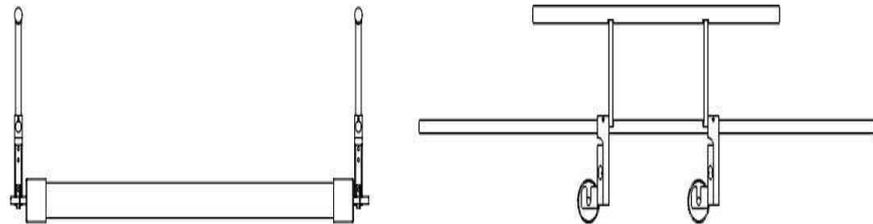
Tabel 3.1 Parameter Eksperimen

| No | Parameter | Eksperimen |
|----|------------------------|--------------------------|
| 1 | Diameter Pipa (in) | 3 |
| 2 | Variasi Jarak | $x = 1\lambda$ |
| | | $x = \frac{3}{4}\lambda$ |
| | | $x = \frac{1}{2}\lambda$ |
| | | $x = \frac{1}{4}\lambda$ |
| 3 | Kedalaman (cm) | 10 |
| 4 | Periode (s) | 0.588 |
| 5 | Tinggi gelombang (cm) | 6,5 |
| 6 | Panjang gelombang (cm) | 45 |

3.2.2 Prosedur

Eksperimen dimulai dengan pembuatan alat uji, benda uji, penyetelan alat, hingga melakukan pengambilan data. Adapun tahapan eksperimen secara lebih rinci dijelaskan di bawah ini.

- a. Menyiapkan benda uji berdiameter 3 in dengan bahan PVC (*polyvinyl chloride*).
- b. Mengatur generator ombak agar dapat menghasilkan tinggi gelombang (6,5 cm) dan Panjang gelombang (45 cm).
- c. Menghubungkan *LoadCell* ke laptop sebagai media pembacaan data. Data yang didapat akan diproses menggunakan *Microsoft Office Excel*.
- d. Memasang silinder yang telah terpasang oleh *loadcell* pada penahan dengan menggunakan baut yang terpasang pada sisi silinder. Skema pemasangan silinder seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.



Gambar 3.2 Sistem Penempatan Pipa Silinder pada Load Cell HX711



Gambar 3.3 Sistem *Holder Twin-tube SFT-Brigde*

- e. Mengatur kedalaman silinder dengan menggeser rangka penahan silinder. Kedalaman yang digunakan adalah 10 cm dari permukaan air.
- f. Melakukan pengambilan data eksperimen silinder kembar terbenam.
 - 1) Mengoperasikan alat pengujian dengan menghubungkan kabel daya motor ke sumber daya. Gelombang yang terbentuk akan diterima oleh silinder yang akan ditransmisikan ke *load cell* dan dibaca sebagai *drag force*.
 - 2) Mengaktifkan pembacaan data pada komputer kemudian mulai mengambil data. Pengambilan data dilakukan dengan waktu yang telah ditentukan.
- g. Mengolah data yang diperoleh dengan menggunakan Microsoft excel. Data yang telah diolah kemudian dibandingkan antara data dari silinder 1 dan silinder 2 terhadap variasi jarak antar silinder.
- h. Membandingkan hasil eksperimen dengan hasil yang diperoleh dari simulasi.

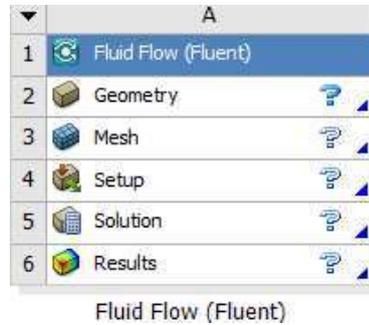
3.3 *Finite Elemen Method (ANSYS Fluent)*

Simulasi yang dilakukan dengan dua ketentuan. Pertama, gelombang memiliki tinggi, panjang, dan frekuensi sesuai alat eksperimen. Kedua, silinder yang disimulasikan tidak perlu bergerak karena penelitian ini tidak menghitung besar perpindahan silinder, melainkan hanya menghitung besar gaya *drag* yang dialami silinder. Parameter yang digunakan pada simulasi sama seperti pada eksperimen (Tabel 3.1). Tahapan dalam simulasi terbagi menjadi tiga, yaitu *Preprocessing*, *Solution*, dan *Postprocessing*. Berikut ini adalah tahapan analisis yang akan dilakukan.

3.3.1 *Preprocessing*

Preprocessing dimulai dengan membuat geometri hingga tahap *meshing* sebelum masuk ke tahap *solution*

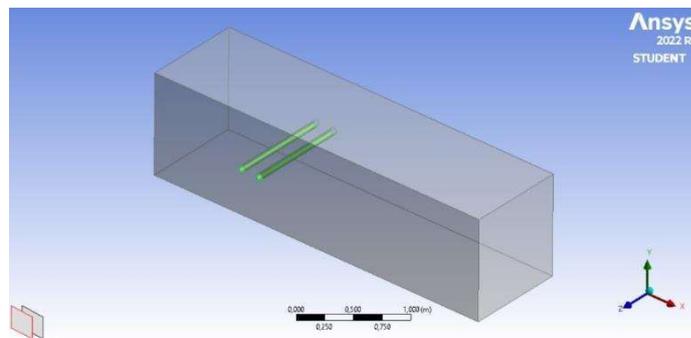
- a. Membuka *software ANSYS Workbench > Fluid Flow (Fluent)*. Gambar 3.4 menunjukkan menu yang muncul saat memilih fluent yang dimulai dari *Geometry* hingga *Result*.



Gambar 3.4 ANSYS Workbench Fluid Flow (Fluent)

- b. *Geometry*

Membuat geometri dengan membuka *Geometry > Edit with DesignModeler*. Geometri silinder merupakan hasil *import* dari *file* yang telah dibuat menggunakan Solidwork dengan format IGS dan dapat dilihat pada Gambar 3.5.

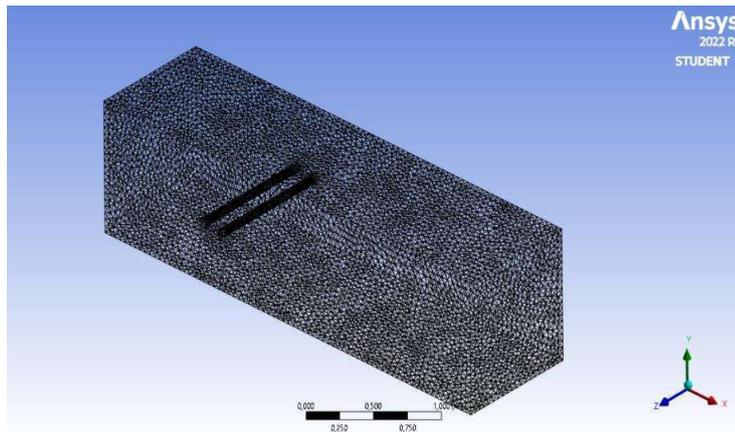


Gambar 3.5 Geometri

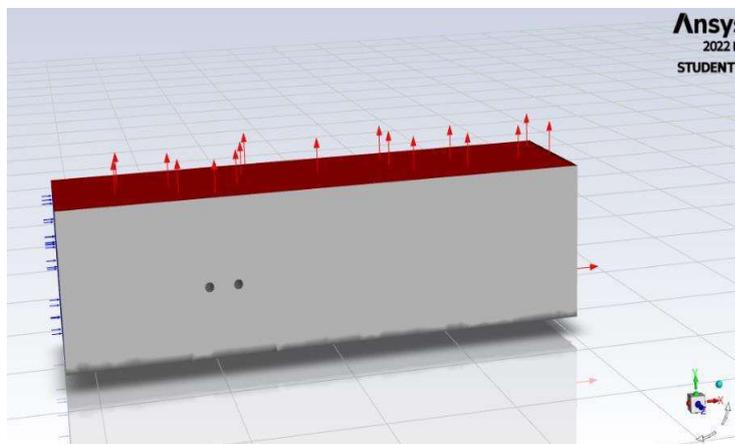
- c. *Meshing*

Setelah membuat geometri maka dilanjutkan dengan ke tahap *meshing* seperti yang terlihat pada Gambar 3.6. Ukuran elemen yang digunakan menyesuaikan dengan dimensi geometri yang digunakan. *Meshing* dilakukan bertujuan untuk memperkecil

setiap *cell* pada geometri, dimana semakin kecil *cell* pada proses *meshing* maka data keluaran akan semakin konvergen. Kemudian dilakukan pemberian nama pada setiap permukaan atau *body* sesuai dengan kondisi batas yang diperlukan seperti dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.6 *Meshing*



Gambar 3.7 Kondisi batas; *inlet* (biru), *outlet* (merah), *wall* (abu-abu), dan *cylinder wall* (abu-abu)

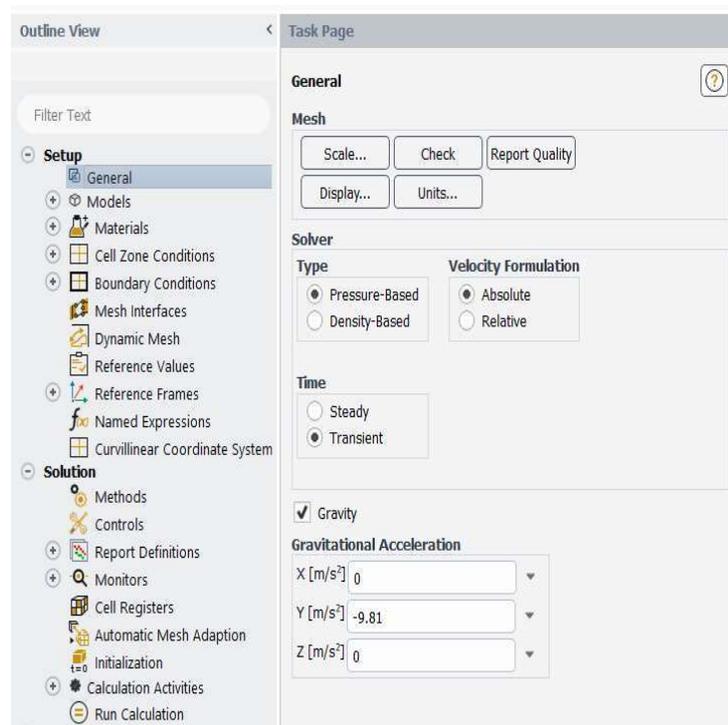
3.3.2 *Solution*

Solution adalah bagian untuk mengatur parameter-parameter yang dibutuhkan dalam proses simulasi seperti jenis fluida, sifat ombak,

jenis simulasi, hingga diakhiri oleh kalkulasi. Tahap ini terbagi menjadi dua yaitu *Setup* dan *Solution*.

a. *Setup*

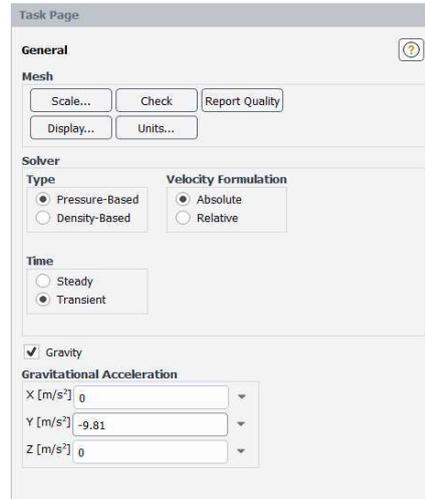
Pada tahap *Setup* diatur beberapa hal yang digunakan dalam simulasi, seperti kondisi batas, material fluida, dan lainnya. Gambar 3.8 menunjukkan *User Interface* pada *setup ANSYS Fluent*



Gambar 3.8 *Fluent Setup*

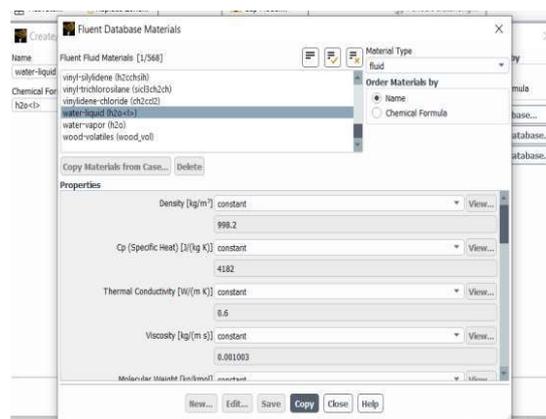
1) *General*

Mengubah jenis analisis dari *Steady* ke *Transient*, lalu memasukkan percepatan gravitasi dituliskan pada sumbu Y dengan nilai -9.81 m/s^2 . Tanda *negative* artinya adalah percepatan menuju ke bawah (Gambar 3.9).

Gambar 3.9 *General*

2) *Materials*

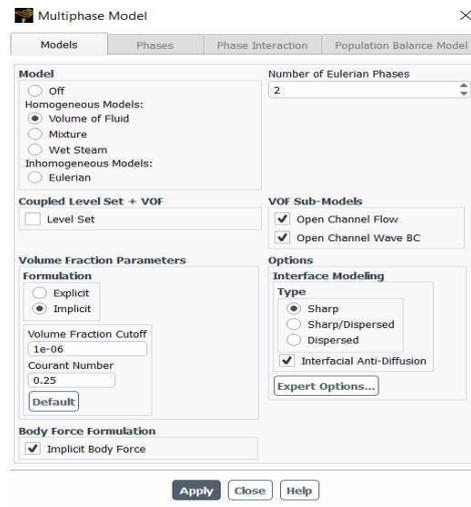
Material fluida yang digunakan yaitu udara dan air. Fluida air berada pada fase sekunder atau fase 2 (*Phase-2*) dan udara berada pada fase 1 (*Phase-1*) sebagai fase primer. Ini akan digunakan setelah mengubah Model menjadi VoF (*Volume of Fluid*) seperti ditunjukkan pada Gambar 3.10.

Gambar 3.10 Pemilihan material *water liquid* (fluida)

3) *Models*

Gambar 3.11 merupakan proses dalam mengubah model fluida yang digunakan yaitu Multiphase menggunakan *Volume of*

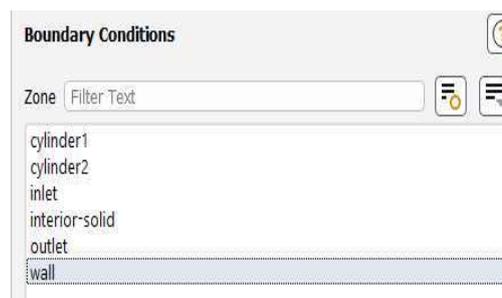
Fluid (VoF) sehingga simulasi dapat menggunakan fluida air dan udara.



Gambar 3.11 Pemilihan model simulasi

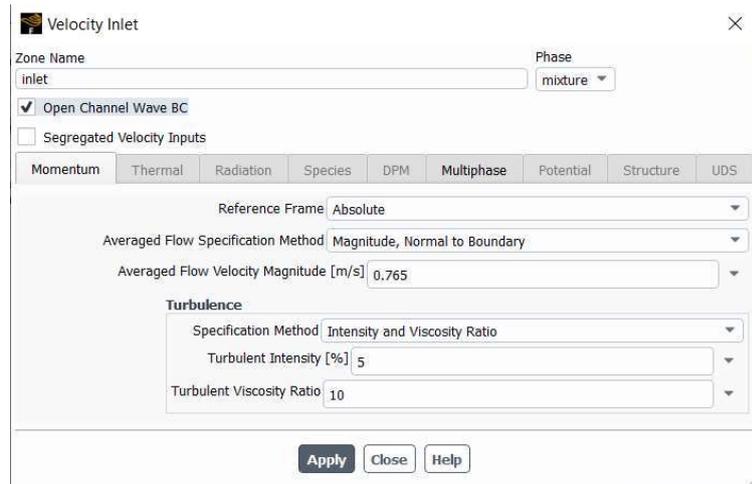
4) *Boundary condition*

Pada bagian ini diatur mengenai *input*, *output*, *surface*, *floor*, dan *cylinder wall*. Setiap kondisi batas akan memiliki sifat tertentu sesuai dengan fungsinya (Gambar 3.12).



Gambar 3.12 *Boundary condition*

Input ditentukan sebagai *Velocity Inlet* dengan ketentuan terkait tinggi ombak, kedalaman dasar, panjang gelombang, teori ombak, dan kecepatan (Gambar 3.13).

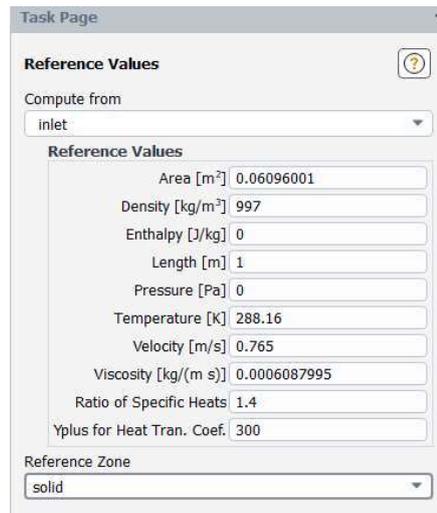
Gambar 3.13 *Velocity Inlet*

Output dan *Surface* ditentukan sebagai *Pressure Outlet* dengan ketentuan *Free Surface Level* dan *Bottom Level* seperti pada Gambar 3.15. *Floor* dan *Cylinder Wall* memiliki sifat sebagai *Wall*, dengan ketentuan *Stationary Wall*.

Gambar 3.14 *Pressure Outlet*

5) *Reference values*

Dibagian ini ditentukan titik mulai perhitungan (*Compute From*) dan zona yang menjadi referensi (*Reference Zone*). Nilai referensi akan muncul dengan sendirinya namun dapat pula diubah seperti yang terlihat pada Gambar 3.16.



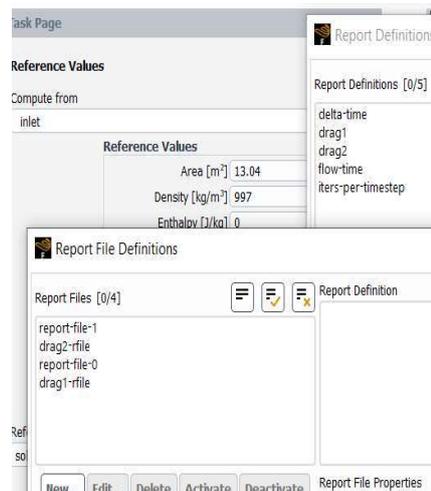
Gambar 3.15 Reference values

b. *Solution*

Solution merupakan tahapan kalkulasi data keluaran dari simulasi yang akan dilakukan.

1) *Report definition*

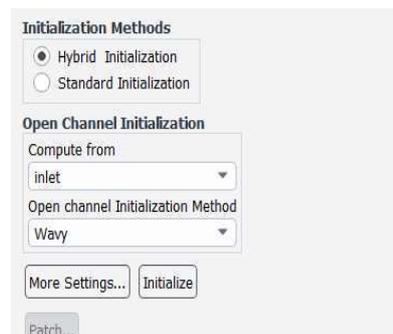
Digunakan untuk menentukan keluaran dari analisis yang telah dilakukan. Keluaran dapat berupa data yang disimpan dalam folder analisis yang telah dibuat seperti pada Gambar 3.17. Sehingga nantinya dapat diolah untuk jenis keluaran lain yang tidak dapat langsung dikeluarkan oleh *Fluent*.



Gambar 3.16 Report definition

2) Initialization

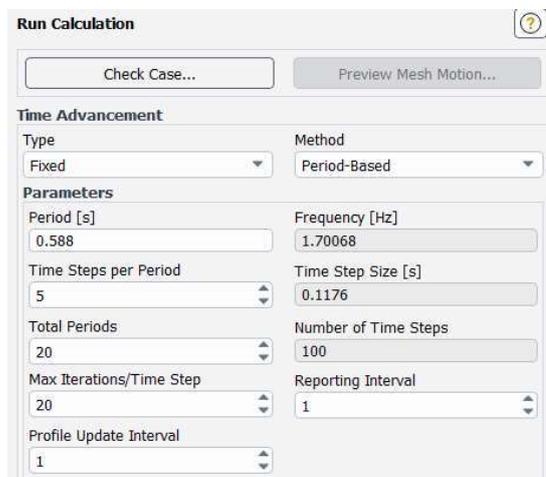
Inisialisasi yaitu menetapkan setiap sel komputasi dengan nilai yang berfungsi sebagai tebakan awal bagi pemecah untuk melanjutkan simulasi. Langkah ini sangat penting dalam setiap simulasi CFD karena semakin dekat tebakan awal dengan solusi akhir, semakin cepat konvergensinya.



Gambar 3.17 Initialization

3) Calculation

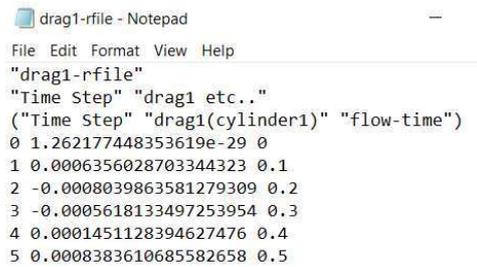
Proses pengaturan solusi diakhiri dengan kalkulasi. Namun sebelum kalkulasi dimulai, maka diatur beberapa hal, yaitu *Period*, *Time-Step*, *Inner Iteration*, dan *Number of Period*. Apabila telah diatur maka proses kalkulasi dapat dimulai dengan memilih *Calculate*, seperti pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Calculation

3.3.3 *Postprocessing*

Postprocessing adalah tahap yang berkaitan dengan hasil analisis yang telah dilakukan. Pada tahap ini akan dilakukan proses penyajian hasil baik berupa diagram kontur, grafik, maupun file hasil. Gambar 3.19 merupakan hasil keluaran berupa *notepad*



```
drag1-rfile - Notepad
File Edit Format View Help
"drag1-rfile"
"Time Step" "drag1 etc.."
("Time Step" "drag1(cylinder1)" "flow-time")
0 1.262177448353619e-29 0
1 0.0006356028703344323 0.1
2 -0.0008039863581279309 0.2
3 -0.0005618133497253954 0.3
4 0.0001451128394627476 0.4
5 0.0008383610685582658 0.5
```

Gambar 3.19 Contoh data keluaran berupa *notepad*, untuk $\lambda = 20$ cm

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi yang telah diperoleh, maka penulis dapat menyimpulkan beberapa hal, yaitu:

- 5.1.1 Setelah dilakukannya simulasi diperoleh hasil berupa rata-rata gaya yang diterima kedua silinder dengan menggunakan variasi jarak antar silinder. Rata-rata gaya terbesar yang diperoleh silinder ada divariasi parameter jarak 1λ dan rata-rata gaya terkecil ada pada variasi parameter $1/2 \lambda$. Dimana perolehan rata-rata gaya terbesar ada di variasi jarak 1λ pada silinder *upstream*, hal ini terjadi karena jarak antar kedua silinder relatif jauh dan bertepatan dengan gelombang fase sama. Sedangkan perolehan rata-rata gaya terkecil ada di variasi jarak $1/2 \lambda$ pada silinder *downstream*, hal ini terjadi karena jarak antar kedua silinder bertepatan dengan arah gelombang beda fase.
- 5.1.2 Diperoleh juga nilai resultan gaya yang diterima oleh kedua silinder dengan menggunakan parameter variasi jarak. Dengan menggunakan rumus $F_R = F_1 + F_2$, dimana F_1 merupakan gaya rata-rata silinder upstream dan F_2 merupakan gaya rata-rata silinder downstream. Resultan gaya terbesar ada di variasi jarak 1λ dan yang terkecil yaitu pada variasi jarak $1/2 \lambda$. Hal ini dapat terjadi karena pengaruh jarak antar silinder pada gelombang ombak dapat mempengaruhi gaya yang diterima oleh masing-masing silinder karena ada faktor fase pada gelombang, dimana

pada jarak $\lambda/2$ terdapat gelombang fase sama (searah) dan jarak $\lambda/4$ terdapat beda fase (berlawanan) dan juga pengaruh dari gangguan berupa aliran vortex yang diakibatkan oleh *skin friction* atau gesekan aliran pada dinding silinder.

- 5.1.3 Dengan merujuk pada hasil dari resultan gaya yang diterima oleh kedua silinder, dapat disimpulkan bahwa variasi jarak $\lambda/2$ antar kedua silinder merupakan hasil terbaik dibandingkan dengan variasi lainnya, dimana resultan gaya yang diterima oleh kedua silinder adalah resultan gaya yang terkecil atau minimum yaitu sebesar 21,94 N. Semakin kecil gaya yang diterima oleh suratu silinder maka ketahanan struktur dan keseimbangan terhadap silinder akan semakin baik. Karena jika SFT *Twin-tube* mengalami kegagalan atau kerusakan akan sangat merugikan dari segala aspek seperti nyawa para pengguna, ekonomi dan lingkungan.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat penulis berikan untuk kelanjutan penelitian ini, yaitu:

- 5.2.1 Melakukan simulasi dengan spesifikasi gelombang sesuai dengan yang ada di laut sebab selain gelombang di permukaan, ada arus yang berpengaruh terutama pada posisi yang lebih dalam dari permukaan air.
- 5.2.2 Melakukan simulasi dengan menggunakan variasi geometri selain silinder berbentuk tabung.

DAFTAR PUSTAKA

- Akmal, J., Lubis, A., Su'udi, A., Tanti, N., Nugraha, N., Fahrain, Z. A., & Hakim, P. F. *Hydrodynamic Forces On Submerged Floating Tube: The Effect Of Curvature Radius And Depth Level*. Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan, *19*(1), 1-8.
- Amri, K., Manurung, D., & Siregar, V. P. (2017). Dinamika Kondisi Oseanografi Musiman Perairan Selat Sunda Dari Analisis Data Multitemporal. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, *13*(3), 191-199.
- Aspar, W. A. N., Utomo, D. P., & Hendriyawan, H. (2010). Alternatif Pondasi Terowongan Layang Dalam Laut Untuk Prasarana Transportasi. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, *12*(3), 131427.
- Budipriyanto, A. (2008). Pengaruh Non Linieritas Gelombang terhadap Gaya dan Momen Guling akibat Gelombang pada Dinding Vertikal di Laut Dangkal. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, *5*(1), 22-31.
- Budiman, E., Annisa, F. A. M. C., & Abdi, F. N. (2019, November). Studi Variasi Penampang Pada Struktur Submerged Floating Tunnel. In *Prosiding Seminar Nasional Teknologi, Inovasi dan Aplikasi di Lingkungan Tropis* (Vol. 2, No. 1, pp. 238-248).
- Braestrup, M., Andersen, J. B., Andersen, L. W., Bryndum, M. B., & Nielsen, N. J. R. (2009). *Design And Installation Of Marine Pipelines*. John Wiley & Sons.

- Deng, S., Ren, H., Xu, Y., Fu, S., Moan, T., & Gao, Z. (2020). *Experimental Study Of Vortex-Induced Vibration Of A Twin-Tube Submerged Floating Tunnel Segment Model*. *Journal of Fluids and Structures*, 94, 102908.
- Guo, B., Song, S., Ghalambor, A., Lin, T. R., & Chacko, J. (2005). *Offshore pipelines*. Elsevier.
- Haza, Z. F. (2015). Studi *Drag Force* Gelombang Air Laut Terhadap Fondasi Tabung Mini (*Minipile*) Di Kawasan Pantai Parangtritis. *Science Tech: Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, 1(1), 28-35.
- Jakobsen, B. (2010). *Design Of The Submerged Floating Tunnel Operating Under Various Conditions*. *Procedia Engineering*, 4, 71-79.
- Karim, N. T., & Muhammad, H. (2018). Studi Prediksi Pasang Surut Dan Gelombang Untuk Perencanaan Bangunan Pelindung Pantai Pada Pantai Pasir Putih Pitulua Kolaka Utara. *Teknik Hidro*, 11(2), 1-13.
- Kawengian, S., Balamba, S., & Sarajar, A. N. (2018). Analisis Daya Dukung Lateral pada Tabung Pancang Kelompok di Dermaga Belang. *Jurnal Sipil Statik*, 6(9).
- Sari, E. I. (2019). Perbandingan Tegangan Geser (Shear Stress) Perletakan Elastomer Bearing tipe HDRB, LRB dan NRB Pada Konstruksi *Submerged Floating Tunnel* (SFT). *Jurnal Informasi, Sains dan Teknologi*, 2(1), 19-24.
- Sharma, M., Kaligatla, R. B., & Sahoo, T. (2020). *Wave Interaction With A Submerged Floating Tunnel In The Presence Of A Bottom Mounted Submerged Porous Breakwater*. *Applied Ocean Research*, 96, 102069.
- Suharyo, O. S. (2018). Rancang Bangun Alat Pengukur Gelombang Permukaan Laut Presisi Tinggi (*A Prototype Design*). *Applied Technology and Computing Science Journal*, 1(1), 18-29.
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. *Beta Offset*.
- Wilson, B. W. (1963). *Condition of Existence for Types of Tsunami waves*. *XIII th General Assembly IUGG, Berkeley, California*.

Aspar, W. A. N., Utomo, D. P., & Hendriyawan, H. (2010). Alternatif Pondasi Terowongan Layang Dalam Laut Untuk Prasarana Transportasi. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, 12(3), 131427.

Zou, P. X., Bricker, J. D., Chen, L. Z., Uijttewaal, W. S., & Ferreira, C. S. (2022). *Response of a submerged floating tunnel subject to flow-induced vibration*. *Engineering structures*, 253