

**KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI JARAK SUMBU  
SILINDER TERHADAP GAYA HIDRODINAMIKA PADA *TWIN-TUBE  
SUBMERGED FLOATING TUNNEL (SFT)* DENGAN SISTEM AKUISISI  
DATA**

**(SKRIPSI)**

**Oleh:**

**NUR FAJAR SEPYANTO**

**1915021027**



**PROGRAM SARJANA TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**BANDARLAMPUNG**

**2023**

**KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI JARAK SUMBU  
SILINDER TERHADAP GAYA HIDRODINAMIKA PADA *TWIN-TUBE  
SUBMERGED FLOATING TUNNEL* (SFT) DENGAN SISTEM AKUISISI  
DATA**

**Oleh**

**NUR FAJAR SEPYANTO**

**Skripsi**

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

**Pada**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**2023**

## ABSTRAK

### **KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI JARAK SUMBU SILINDER TERHADAP GAYA HIDRODINAMIKA PADA *TWIN-TUBE SUBMERGED FLOATING TUNNEL* (SFT) DENGAN SISTEM AKUISISI DATA**

Oleh

**Nur Fajar Sepyanto**

Telah dilakukan penelitian untuk mengkaji pengaruh variasi jarak sumbu silinder terhadap gaya hidrodinamik pada *twin-tube submerged floating tunnel* (SFT). SFT adalah struktur terowongan terapung yang terdiri dari dua tabung yang terendam di dalam air. Struktur ini digunakan untuk menghubungkan pulau-pulau atau jalur lintasan bawah laut yang memiliki kedalaman yang signifikan. Dalam penelitian ini, variasi jarak sumbu antara dua tabung SFT divariasikan untuk mengamati perubahan gaya hidrodinamik yang terjadi, dengan variasi jarak  $x = \frac{1}{4}\lambda, \frac{1}{2}\lambda, \frac{3}{4}\lambda$ , dan  $1\lambda$ . Parameter yang digunakan yaitu; panjang gelombang  $\lambda = 45$  cm, tinggi gelombang  $H = 6,5$  cm, periode  $t = 0,588$  s, dan kedalaman  $h = 10$  cm. Eksperimen dilakukan di dalam kolam air dengan menggunakan model skala yang representatif dari SFT. Hasil pengamatan dan perhitungan didapatkan bahwa kondisi dengan penerimaan gaya terkecil pada variasi jarak SFT didapatkan pada variasi jarak  $x = 1/4\lambda$ . dimana jarak ini merupakan jarak dengan penerimaan gaya *drag* terkecil pada penerapan posisi kedua terowongan SFT.

Kata kunci: *Twin-tube submerged floating tunnel* (SFT), gaya hidrodinamika, variasi jarak, gaya *drag*.

## **ABSTRACT**

### **EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF CYLINDER AXIS DISTANCE VARIATION ON HYDRODYNAMIC FORCE IN TWIN-TUBE SUBMERGED FLOATING TUNNEL (SFT) WITH DATA ACQUISITION SYSTEM**

**By**

**Nur Fajar Sepyanto**

*Research has been conducted to study the effect of varying the distance between the axis of cylinders on hydrodynamic forces in a twin-tube submerged floating tunnel (SFT). The SFT is a floating tunnel structure consisting of two submerged tubes, used to connect islands or underwater pathways with significant depth. In this study, the variation of the distance between the axes of the two SFT tubes was manipulated to observe changes in hydrodynamic forces, with variations at distances of  $x = 1/4 \lambda$ ,  $1/2 \lambda$ ,  $3/4 \lambda$ , and  $1\lambda$ . The parameters used were as follows: wave length  $\lambda = 45$  cm, wave height  $H = 6.5$  cm, period  $t = 0.588$  s, and depth  $h = 10$  cm. Experiments were conducted in a water tank using a representative scale model of the SFT. The observations and calculations revealed that the condition with the lowest force acceptance for the SFT distance variations was obtained at the  $x = 1/4\lambda$  distance variation, where this distance corresponded to the location with the smallest drag force acceptance for the application of the second SFT tunnel position.*

*Keywords: Twin-tube submerged floating tunnel (SFT), hydrodynamic force, x-axis variation, drag force.*

## LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH  
VARIASI JARAK TERHADAP GAYA  
HIDRODINAMIKA PADA *TWIN-TUBE*  
*SUBMERGED FLOATING TUNNEL* (SFT)  
DENGAN SISTEM AKUISISI DATA

Nama mahasiswa : Nur Fajar Sepyanto

Nomor Pokok Mahasiswa : 1915021027

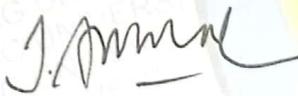
Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

### MENYETUJUI

Komisi Pembimbing 1

Komisi Pembimbing 2



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

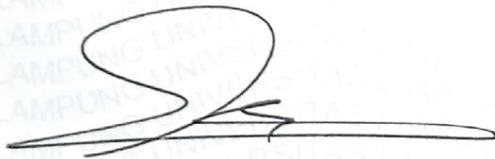
**Dr. Asnawi Lubis, S.T., M.Sc.**  
NIP. 19700412 199703 1006

### MENGETAHUI

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Kepala Program Studi S1

Teknik Mesin



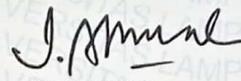
**Dr. Amrul, S.T., M.T.**  
NIP. 19710331 199903 1 003

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

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

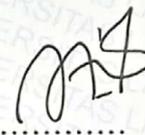
**Ketua Penguji : Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.**



**Anggota Penguji : Dr. Asnawi Lubis, S.T., M.Sc.**



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



**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.**  
NIP. 19750928 200112 1 002



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 7 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, Agustus 2023

Pembuat Pernyataan



Nur Fajar Sepyanto

NPM. 1915021027

## **Motto**

*Raihlah ilmu, dan untuk meraih ilmu belajarlah tenang dan sabar.*

**(Umar bin Khattab)**

*Bahagia itu pilihan, maka berikanlah hal baik dengan versi terbaik dirimu,  
kelak semua akan terbalaskan.*

**(Nur Fajar Sepyanto)**

*Perjalanan seribu mil dimulai dengan satu langkah.*

**(Lao Tzu)**

## SANWACANA

### *Assalamu'alaikum Warahmatullohi Wabarokatuh*

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah سبحانه و تعالی karena atas rahmat, hidayah, dan lindungan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan 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 banyak pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T.,M.Sc., selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
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 dan juga 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.

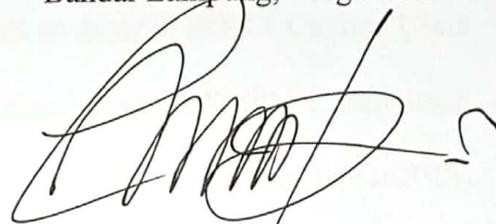
5. Dr. Asnawi Lubis, S.T., M.Sc. selaku Kepala Laboratorium Mekanika Struktur sekaligus Dosen Pembimbing II yang telah bersedia membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh Dosen di Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah menjadi guru dan mengajarkan dasar pengetahuan yang dibutuhkan kepada penulis.
7. Seluruh staff dan karyawan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
8. Orang tua penulis, Bapak Toto dan Ibu Sainah yang selalu ada mendampingi dan mendoakan penulis sehingga penulis dapat tetap bersemangat dalam menjalankan serta menyelesaikan studi Teknik Mesin.
9. Kakak penulis yaitu Ratna Intan Anggraeni S.Pd. yang selalu mendukung, memberikan saran dan masukan, dukungan moril maupun materil untuk penulis agar dapat lulus cepat.
10. Tim Laboratorium Mekanika Struktur, terkhusus pada anggota *AQUASCAPE* Bima, Fitra, Rio, dan Budro, yang telah bersama dan membantu segala suka duka proses pengerjaan skripsi.
11. Teman-teman Angkatan 2019 yang telah ada menemani, mendengarkan keluhan, memberikan motivasi, dan memberi dorongan semangat.
12. 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 isi 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 allahumma aamiin.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Bandar Lampung, Agustus 2023



**Nur Fajar Sepyanto**

**NPM. 1915021027**

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Karawang, Provinsi Jawa Barat pada tanggal 23 September 2001 sebagai anak kedua dari 3 bersaudara, dari pasangan Bapak Toto Susanto dan Ibu Sainah.

Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN 1 Cicinde Utara hingga tahun 2012, lalu dilanjutkan di SMPN 1 Banyusari yang diselesaikan tahun 2015, dan SMKN 4 Cilegon yang diselesaikan tahun 2018, 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 Kominfo. Selain aktif dalam HIMATEM, penulis juga pernah menjadi bagian dari Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM-FT) periode 2020/2021, sebagai staf bidang Komunikasi dan Informasi, serta sebagai kepala divisi bidang media dan informasi dari Languages Learning Club (LLC) periode 2021/2022.

Penulis pernah melakukan kerja praktek (KP) di PT. Hino Motors Manufacturing Indonesia, Purwakarta, Jawa Barat tahun 2022 dengan judul laporan **“ANALISIS KEANDALAN MESIN NUT RUNNER CYLINDER HEAD DENGAN METODE RELIABILTY CENTRED MAINTENANCE (RCM) DAN**

**FAILURE MODE'S AND EFFECT ANALYS (FMEA) DI PT HINO MOTORS MANUFACTURING INDONESIA”.**

Tahun 2023 penulis melakukan penelitian dengan judul **“KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI JARAK SUMBU SILINDER TERHADAP GAYA HIDRODINAMIKA PADA TWIN-TUBE SUBMERGED FLOATING TUNNEL (SFT) DENGAN SISTEM AKUISISI DATA”**. Dibawah bimbingan Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T. dan Dr. Asnawi Lubis, S.T., M.Sc.

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iv
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	vi
<b>MOTTO HIDUP</b> .....	vii
<b>SANWACANA</b> .....	viii
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 <i>Submerged Floating Tunnel</i> (SFT).....	6
2.2 Gelombang.....	8
2.2.1 Teori Gelombang Amplitudo Kecil.....	10
2.2.2 Teori Gelombang Amplitudo Hingga ( <i>Finite</i> ).....	11
2.2.3 Teori Gelombang Tunggal ( <i>Solitary</i> ).....	12
2.2.4 Teori Ombak Knoidal.....	13
2.3 Gaya-Gaya Hidrodinamika.....	14
2.3.1 Gaya <i>Drag</i> dan <i>Lift</i> .....	15
2.4 Persamaan Morison.....	22
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Waktu dan Tempat.....	20

3.2 Metode Penelitian.....	22
3.3 Metode Pengambilan Data.....	23
3.3.1 Parameter.....	24
3.3.2 Pengambilan Data.....	24
3.4 Desain Kolam Pengombak dan <i>Twin-tube Gate</i> .....	28
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Validasi Alat Uji.....	31
4.2 Hasil Eksperimen.....	32
4.3 Pembahasan.....	33
4.4 Resultan Gaya Drag.....	37
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	42
5.2 Saran.....	43
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1. Prinsip Archimedes pada Desain SFT.....	6
Gambar 2.2 Skema desain SFT berbentuk lingkaran dengan material beton.....	7
Gambar 2.3 Profil Gelombang.....	9
Gambar 2.4 Profil Gelombang Airy, Stokes, Cnoidal, dan Solitary.....	10
Gambar 2.5 Perbandingan Profil Gelombang Airy dan Stokes.....	12
Gambar 2.6 Profil Gelombang Solitary.....	13
Gambar 2.7 Profil Gelombang knoidal .....	14
Gambar 2.8 Ilustrasi gaya <i>drag</i> .....	15
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.....	21
Gambar 3.2 Mekanisme Pembangkit Pengombak.....	22
Gambar 3.3 Sistem Penempatan Pipa Silinder <i>Twin-tube</i> SFT-Brigde pada Load Cell HX711.....	23
Gambar 3.5 Skema Rangkaian Alat Eksperimen Load Cell HX711.....	25
Gambar 3.6 <i>Software</i> IDE Arduino.....	25
Gambar 3.6 Proses <i>Setting</i> Program IDE Arduino.....	26
Gambar 3.7 <i>Software</i> Sublime Text.....	26
Gambar 3.8 Metode Pengambilan Data.....	27
Gambar 3.9 Rangkaian Kolam Pengombak.....	29
Gambar 3.10 Sistem Pengombak.....	29
Gambar 3.11 <i>Twin-tube Gate SFT-Brigde</i> .....	30

Gambar 3.12 Sistem <i>Bracket Twin-tube SFT-Brigde</i> .....	30
Gambar 4.1 Perbandingan hasil antara eksperimen, numerik dan persamaan morisson.....	31
Gambar 4.2 Grafik hasil gaya <i>drag</i> pada variasi jarak $x = \frac{1}{4} \lambda$ .....	33
Gambar 4.3 Grafik hasil gaya <i>drag</i> pada variasi jarak $x = \frac{1}{2} \lambda$ .....	33
Gambar 4.4 Grafik hasil gaya <i>drag</i> pada variasi jarak $x = \frac{3}{4} \lambda$ .....	34
Gambar 4.5 Grafik hasil gaya <i>drag</i> pada variasi jarak $x = 1 \lambda$ .....	34
Gambar 4.6 Gaya <i>drag</i> yang diterima oleh silinder <i>upstream</i> dan <i>downstream</i> ....	35
Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Jarak Terhadap Gaya Yang Diterima Oleh Kedua Silinder.....	35
Gambar 4.8 Skema aliran urbulensi yang terjadi pada silinder <i>upstream</i> dan <i>downstream</i> .....	36
Gambar 4.9 Aliran <i>vortex</i> diantara pipa <i>upstream</i> dan <i>downstream</i> .....	37
Gambar 4.10 Persamaan resultan gaya pada dua silinder kaku.....	38
Gambar 4.10 Resultan gaya <i>drag upstream</i> dan <i>downstream</i> .....	38
Gambar 4.13 Perbandingan resultan gaya metode numerik dan eksperimental....	39
Gambar 4.14 Grafik contoh gerakan searah (sefasa) pada sampling data untuk parameter jarak $x = 1 \lambda$ .....	40
Gambar 4.15 Grafik contoh gerakan saling berlawanan (berbeda fasa) pada sampling data untuk parameter jarak $x = \frac{1}{4} \lambda$ .....	41

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 3.2 Parameter Eksperimen.....	24
Tabel 3.3 Variasi Pengujian.....	28
Tabel 4.1 Nilai hasil pada setiap metode pada silinder 1 (diameter 3 in).....	31
Tabel 4.2 Hasil Eksperimen.....	32

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia merupakan negara yang memiliki letak geografis strategis dan memiliki daerah pantai yang panjang. Menurut data rujukan yang dikeluarkan Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman pada tahun 2018 memiliki luas perairan pedalaman dan perairan kepulauan mencapai 3.110.000 km<sup>2</sup> dengan jumlah pulau sebanyak 18.504 pulau. Permasalahan yang dihadapi negara kepulauan adalah jalur transportasi darat yang belum terintegrasi. Misalnya antara Palau Jawa dan Pulau Sumatera (Selat Sunda) jalur transportasi masih menggunakan kapal ferry/transportasi laut. Perairan Selat Sunda memiliki kedalaman rata-rata 27 m, dan terdapat dua palung dengan kedalaman sekitar 86 m dan lebar 2,8 km.

Dilansir pada [p2k.utn.ac.id](http://p2k.utn.ac.id) (2021), untuk menghubungkan kedua pulau ini pada tahun 1965, Soekarno selaku Presiden RI memerintahkan kepada para peneliti di Institut Teknologi Bandung (ITB) agar melakukan uji coba desain penghubung, dengan hasil percobaan yaitu berupa terowongan tunnel. Pada awal Juni 1989 telah selesai dan penelitiannya diserahkan kepada Soeharto selaku Presiden RI pada saat itu, hingga pada tahun 1997, Soeharto memerintahkan kepada BJ Habibie selaku Menteri Riset dan Teknologi (Menristek) agar mengerjakan proyek yang diberi nama Tri Nusa Bimasakti. Pada tahun 1990-an, Prof. Wiratman Wangsadinata dan Dr.Ir. Jodi Firmansyah melakukan pengkajian uji coba desain kembali terhadap perencanaan penghubung antar ketiga pulau tersebut. Pada hasil pengkajian menyatakan

bahwa penghubung dengan melalui jembatan ternyata lebih layak bila dibandingkan dengan penghubung melalui sebuah terowongan tunel (terowongan di bawah dasar laut). Terowongan bawah laut dan jembatan yang didukung dengan konsep kabel (*Cable Stayed Bridge*) konsep ini tidak cocok.

Dalam mengatasi permasalahan di atas salah satu konsep yang dipertimbangkan, yaitu jembatan terowongan terapung terendam/ *Submerged Floating Tunnel*-(SFT). SFT merupakan struktur berbentuk tabung yang ditempatkan di bawah permukaan air dan posisinya dipertahankan oleh tali tambat, ponton, atau tiang pancang. SFT memiliki banyak keuntungan, di antaranya biaya konstruksi yang rendah, waktu konstruksi yang cepat, ramah lingkungan, dapat dipindahkan dan digunakan kembali (Budiman, 2017). Selain dapat digunakan untuk transportasi orang, SFT juga dapat digunakan sebagai transportasi barang, seperti pipa penyalur minyak, gas, kabel elektrik dan kabel komunikasi (Budiman, 2016).

SFT terdiri dari dua jalur terowongan untuk arus pergi dan arus pulang. untuk mendapatkan teknologi tentang jembatan SFT dibutuhkan kajian dasar tentang perilaku tabung kembar yang terbenam (*Submerged Floating Twin Tube*). Hal yang penting untuk diketahui adalah interaksi gaya antara fluida dan struktur yang terkena oleh ombak. Ombak ialah suatu fenomena naik turunnya ketinggian air dari posisi normalnya yang membentuk kurva sinusoidal. Penyebabnya adalah pergerakan angin di atasnya melalui prinsip transfer energi (Dhanista, 2017). Pada dinamika fluida, gaya *in-line* ombak dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Morison. Persamaan Morison adalah persamaan semi-empiris yang biasa digunakan untuk memperkirakan beban ombak pada desain dari platform pengeboran minyak dan struktur-struktur lepas pantai. Persamaan Morison memakai beberapa parameter dan koefisien sebagai salah satu cara untuk menyifati kondisi gaya-gaya pada ombak.

Bocotti dkk (2013) melakukan dua eksperimen skala kecil untuk melihat seberapa terpercaya perhitungan prediksi persamaan Morison dengan beban

aktual, dengan hasil akhir bahwa persamaan ini sangat efektif baik untuk silinder vertikal ataupun horizontal. Bai dkk (2017) mempelajari interaksi di antara ombak-arus dengan silinder yang diletakkan secara horizontal, dengan penempatan silinder berada dekat dengan *free-surface*. Iyalla dkk (2011) telah melakukan perhitungan terhadap beban hidrodinamik untuk kasus jalur pipa yang berada di dasar laut dengan memanfaatkan bilangan KC dan komponen persamaan Morison. Zan dan Lin (2020) telah melakukan studi numerik terhadap silinder yang dikenai oleh ombak internal solitary serta melakukan validasi dengan persamaan Morison. Zhang dkk (2015) telah melakukan perhitungan komputasi dari beban ombak terhadap selang/pipa yang mengambang dengan model silinder setengah terbenam menggunakan persamaan Morison yang telah dimodifikasi.

Pengujian terkait respon hidrodinamik *Twin-tube* SFT masih minim dan belum banyak dilakukan. Pada penelitian ini dilakukan studi eksperimen respon dinamik *Twin-tube* SFT dengan sistem *acquisisi* data. Penulis berharap penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu kemaritiman selanjutnya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang masalah maka dirumuskan masalah penelitian sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai rata-rata gaya drag yang diterima oleh 2 silinder terbenam dengan menggunakan 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 optimal dengan memperhatikan penerimaan gaya dan gangguan gelombang pada 2 silinder (SFT).

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai rata-rata gaya drag yang diterima oleh 2 silinder terbenam dengan menggunakan 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 penerimaan gaya terkecil dengan memperhatikan penerimaan gaya dan gangguan gelombang pada 2 silinder (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. Silinder sirkular yang digunakan pada eksperimen berjenis material PVC.
2. Gaya yang diukur ialah gaya *in-line*/searah silinder (gaya *drag*).
3. Pipa yang digunakan berdiameter 3 *in* dengan panjang 60 cm.
4. Silinder sirkular akan diletakkan melayang dalam air dengan variasi jarak sumbu silinder  $x = 1\lambda, \frac{3}{4}\lambda, \frac{1}{2}\lambda, \text{ dan } \frac{1}{4}\lambda$ , kedalaman  $h=10$  cm.
5. Karakteristik ombak tanpa arus.

### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam laporan penelitian ini 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**

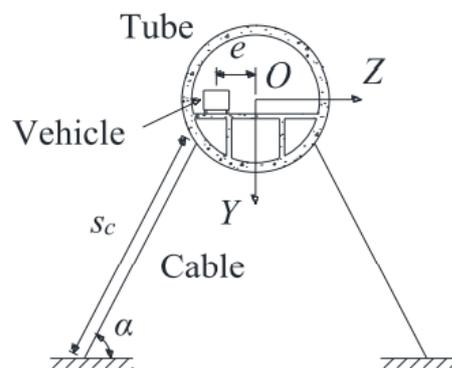
Berisi data pelengkap seperti gambar, dan beberapa data pendukung untuk menunjang kredibilitas laporan penelitian ini.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Submerged Floating Tunnel (SFT)

*Submerged Floating Tunnel* (SFT) adalah struktur tabung yang ditempatkan di bawah permukaan air dan berfungsi sebagai sarana penyeberangan laut, sungai atau danau. Karena lokasinya yang terletak di bawah permukaan air, kapal penyeberangan memungkinkan untuk melintas di sisi atas SFT (Zhang, 2021). SFT memiliki keunikan yaitu terdapat gaya apung yang membuatnya seolah-olah melayang di dalam air dengan menggunakan konsep gaya apung Archimedes sebagai daya dukungnya. SFT dilengkapi oleh struktur penyangga (*support*) yang berguna untuk mempertahankan posisinya dari pengaruh ombak, arus, gempa bumi dan pengaruh lingkungan lainnya. Dengan sistem ini, ada bantuan kekuatan dari pengaruh *uplift* struktur akibat berada dalam air. Prinsip archimedes dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Prinsip Archimedes pada Desain SFT.  
(Sumber: Tveit, 2010).

Hukum Archimedes menyatakan bahwa gaya apung yang diberikan oleh suatu fluida kepada suatu benda yang terendam sepenuhnya atau sebagian di dalam fluida adalah sama dengan berat fluida yang dipindahkan oleh benda tersebut. Hukum ini berlaku untuk semua benda yang berada di dalam fluida, termasuk struktur *submerged floating tunnel*.

$$F_a = \rho V g \quad (2.1)$$

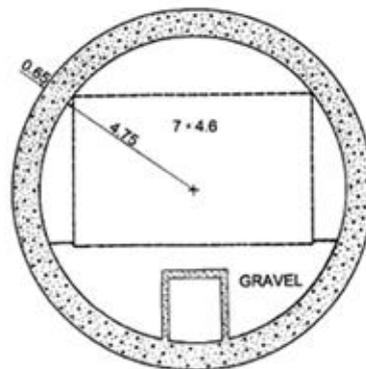
Dimana  $F_a$  = gaya apung ( $N$ )

$\rho$  = massa jenis fluida ( $kg/m^3$ )

$V$  = volume tunnel yang terendam sepenuhnya atau sebagian ( $m^3$ )

$g$  = percepatan gravitasi ( $9.81 m/s^2$ )

Pada dasarnya SFT terdiri dari terowongan yang mengapung di dalam air, menggunakan gaya apung pada badan penampang SFT untuk menahan beban vertikal (beban mati dan beban tambahan) yang bekerja pada SFT. Sedangkan untuk menahan gaya horisontal, baik tegak lurus sumbu SFT maupun sejajar dengan sumbu SFT digunakan kabel yang dijangkarkan. Penjangkaran kabel dapat dilakukan pada struktur pondasi yang tertanam di dasar perairan (*gravity anchor*) ataupun pada ponton yang mengapung (Gambar 2.1). Terdapat beberapa macam bentuk dan bahan penampang SFT yang telah diteliti sebelumnya, diantaranya berbentuk lingkaran dengan bahan beton seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skema desain SFT berbentuk lingkaran dengan material beton  
(Sumber: Tveit, 2010).

Desain penampang SFT tergantung dari lebar jalur kendaraan yang direncanakan dan besar gaya apung yang dibutuhkan. Desain penampang yang terlalu besar akan mengakibatkan gaya apung struktur akan menjadi sangat besar. Gaya apung yang terlalu besar dapat menyulitkan pada saat perencanaan struktur kabel penahannya. Sehingga dimensi penampang harus direncanakan sedemikian rupa hingga memenuhi rasio gaya apung yang ideal. SFT sendiri pada umumnya terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

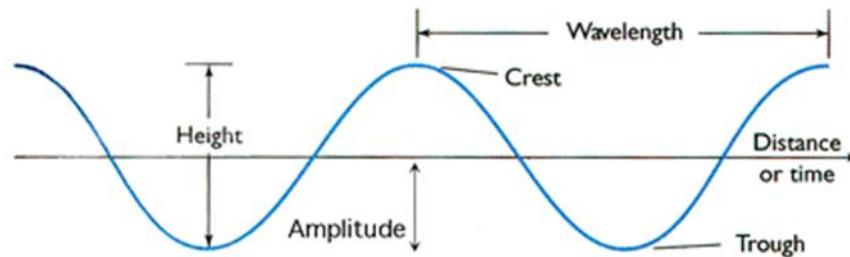
1. Lantai Kendaraan.
2. Balok Pembagi (arah melintang dan memanjang).
3. Dinding penampang.
4. Struktur rangka dinding penampang.
5. Perletakan.

Penelitian SFT sebagian besar dilakukan secara numerik, terutama dengan metode elemen hingga. SFT yang dimodelkan sebagai *beam* pada tumpuan elastis, dianalogikan sebagai *beam* pada fondasi elastis dengan syarat  $K_v \leq 0,05$  (Sato dkk., 2008). Pengaruh beban hidrodinamika pada SFT yang diformulasikan menggunakan persamaan Morison dan Ogilvie (efek difraksi) diselesaikan secara analitik dengan metode MSM dan numerik dengan metode DSM (*Dynamic Stiffness Method*). Hasil menunjukkan metode MSM dan DSM tidak berbeda jauh, sedangkan perbandingan antara teori Morison dan Ogilvie, keduanya menunjukkan hasil yang semakin konvergen pada kedalaman laut yang semakin dalam (Parth, 2015).

## 2.2 Gelombang

Gelombang adalah gangguan yang bergerak melewati suatu media atau ruang. Gangguan ini akan menggerakkan partikel menjauhi titik keseimbangannya, namun tidak setiap gangguan ini melakukan perpindahan massa. Gelombang yang membutuhkan media untuk bergerak, seperti ombak, disebut dengan gelombang mekanik. Gelombang mekanik terbagi menjadi dua kategori.

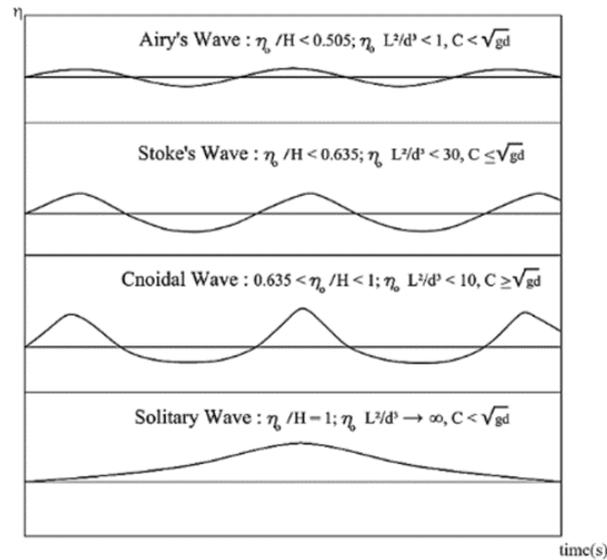
Gelombang transversal yang akan merambat sehingga gangguannya tegak lurus dengan arah perambatannya dan gelombang longitudinal yang gangguannya sejajar dengan arah perambatannya. Gelombang bisa saja berbentuk transversal, longitudinal, atau gabungan keduanya (Ewen dkk, 2012). Profil gelombang dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Profil Gelombang  
(Sumber: Ewen dkk, 2012).

Jenis-jenis gelombang dapat juga dilihat dari bagaimana gelombang tersebut bergerak, jika yang terjadi hanyalah sebuah atau beberapa gelombang, seperti yang terjadi akibat gaya tiba-tiba yang sesaat, maka ia adalah gelombang pulse. Namun jika gelombang tersebut bergerak terus naik-turun selama beberapa siklus, maka ini adalah gelombang periodik. Dan gelombang ini biasa dihubungkan dengan gerakan harmonik sederhana.

Gelombang dapat menimbulkan energi yang dapat mempengaruhi profil pantai. Selain itu gelombang juga menimbulkan arus dan transpor sedimen dalam arah tegak lurus maupun sepanjang pantai, serta menyebabkan gaya – gaya yang bekerja pada bangunan pantai. Terdapat beberapa teori gelombang dengan beberapa derajat kekompleksan dan ketelitian untuk menggambarkan kondisi gelombang di alam diantaranya adalah teori *Airy*, *Stokes*, *Gerstner*, *Mich*, *Cnoidal* dan *Tunggal* (Gambar 2.4). Teori Gelombang *Airy* merupakan teori gelombang amplitudo kecil, sedangkan teori gelombang yang lain adalah gelombang amplitudo terbatas (*finite amplitude waves*).



Gambar 2.4 Profil Gelombang Airy, Stokes, Cnoidal, dan Solitary

(Sumber: Wilson, 1963).

### 2.3.1 Teori Gelombang Amplitudo Kecil

Teori yang dikembangkan oleh Airy pada 1845, disebut juga dengan teori Stokes orde pertama, didasarkan pada gerakan gelombang yang cukup kecil sehingga kondisi batas dari *free surface*-nya dapat dilinearisasi. Asumsi yang digunakan ketika teori ini dipakai ialah:

1. Aliran fluida tak ber-rotasi.
2. Fluidanya ideal.
3. Tegangan permukaan diabaikan.
4. Tekanan pada *free surface* seragam dan konstan.
5. Dasar laut berbentuk *rigid*, horizontal dan tidak bisa ditembus.
6. Amplitudo bernilai lebih kecil dibandingkan dengan panjang gelombang dan kedalaman air.
7. Gelombang berbentuk 2-dimensi.

Kemudian kondisi batas yang digunakan agar teori ini bisa diaplikasikan ialah:

1. Persamaan *Laplace* berpengaruh pada daerah yang akan diaplikasikan, yaitu dari dasar laut/tangki sampai di bawah permukaan ombak.
2. Kondisi batas kinematis bagian bawah, komponen kecepatan vertikal pada bagian bawah laut adalah 0.
3. Tekanan pada *free surface* adalah 0 atau pada saat  $z = n$ . Sehingga persamaan Bernoulli bisa dilinearisasi.

Kondisi batas ini dinamakan dengan kondisi batas *free surface* dinamik dan hanya *valid* untuk  $H/d$  dan  $H/L < 1$ . Maka teori gelombang dengan amplitudo kecil ini akan menghasilkan potensial kecepatan:

$$u = \frac{\pi H}{T} \cdot \frac{\cosh k(d+z)}{\cosh kd} \cdot \sin \theta \quad (2.2)$$

Dimana  $d$  = jarak antara SWL dengan dasar air.

$H$  = tinggi gelombang.

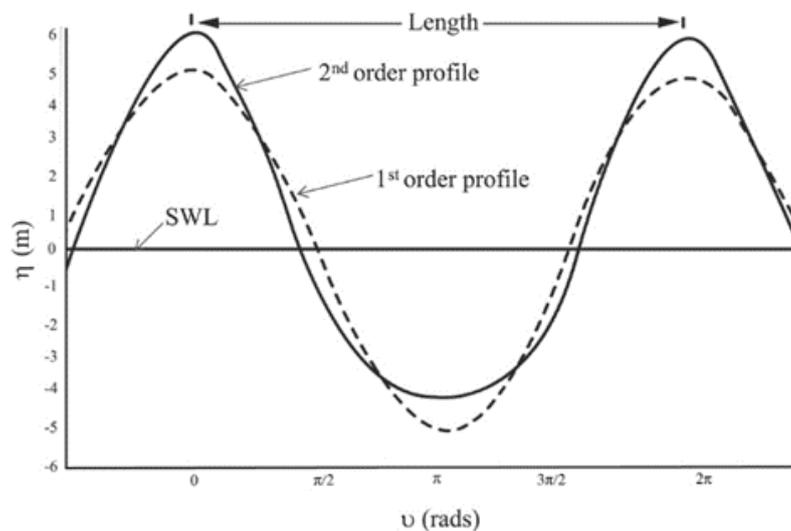
$T$  = periode gelombang

$\theta$  =  $kx - \sigma t$

### 2.3.2 Teori Gelombang dengan Amplitudo Hingga (*finite*)

Teori ini, disebut juga dengan teori *Stokes*, merupakan modifikasi dari teori *Airy* yang tidak cukup pada keadaan gelombang yang besar.

Perhitungan pada teori *Stokes* memakai konsep non-linearitas dan memiliki orde tinggi. Pada umumnya, semakin tinggi orde dari teori gelombang, maka akan semakin tinggi batasan dari ketinggian gelombang yang bisa diprediksi. Pada teori ini, kenaikan gelombang, kecepatan orbital, perpindahan, kecepatan jalannya massa dan tekanan merupakan variabel yang tidak diabaikan. Pada Gambar 2.5 dapat dilihat perbedaan bentuk profil gelombang dengan teori Airy (Sundar, 2016).



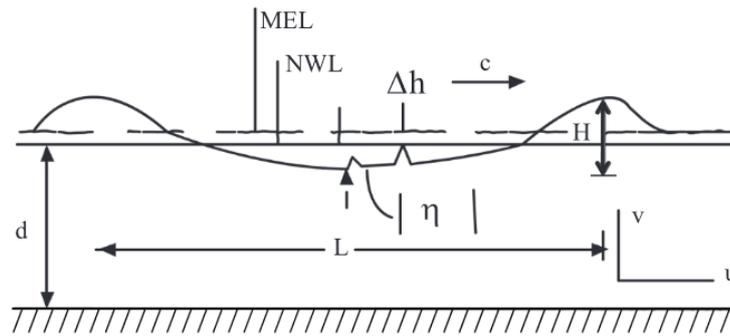
Gambar 2.5 Perbandingan Profil Gelombang *Airy* dan *Stokes*

(Sumber: Sundar, 2016).

### 2.3.3 Teori Gelombang Solitary

Pada kasus gelombang *solitary*, profil gelombangnya benar-benar berada di atas SWL dan bentuk *crest*-nya menjadi lebih tinggi dengan profil *trough* yang lebih mendatar menjadikannya tidak periodik serta memiliki panjang gelombang yang tidak jelas. Gelombang *solitary* merupakan sebuah gelombang translasi, dimana kecepatan partikel





Gambar 2.7 Profil Gelombang knoidal

(Sumber: Sundar, 2016).

### 2.3 Gaya Hidrodinamika

Fluida yang mengalir akan memberikan bermacam gaya pada sebuah objek, gaya-gaya tersebut ialah gaya gravitasi, tekanan, viskositas, turbulensi, tarikan permukaan, dan kompresibilitas. Nilai gaya-gaya ini tidak akan setara dan akan ada sedikitnya satu atau dua gaya dominan diantara gaya lainnya. Jika gaya-gaya tersebut mempengaruhi fluida, maka menurut hukum ke-2 Newton penjumlahan dari semua gaya tersebut bisa disebut sebagai persamaan gerakan (*equation of motion*) (Akmal dkk, 2022). Gaya hidrodinamik didapatkan dari persamaan morison, seperti pada perssamaan 2.3.

$$f(t) = \frac{1}{2} C_D \rho u |u| + D_m \frac{\rho \pi D^2}{4} \dot{u} \quad (2.3)$$

Dimana  $C_D$  = Koefisien *drag*

$C_m$  = Koefisien Inersia

$\rho$  = Masa jenis fluida, Air ( $kg/m^3$ )

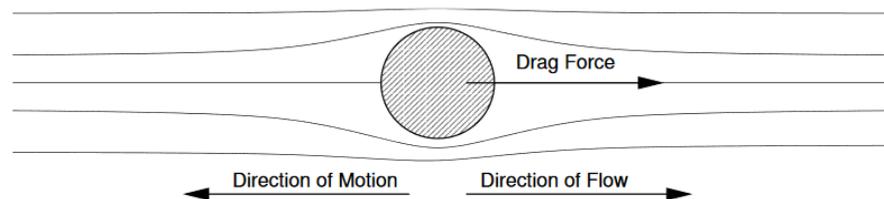
$D$  = Diameter tabung ( $m$ )

$u$  = Kecepatan partikel air ( $m/s$ )

$\dot{u}$  = Percepatan partikel air ( $m/s^2$ )

### 2.3.1 Gaya Drag & Lift

Sebuah fluida dapat memberikan gaya dan momen pada sebuah bodi dalam beberapa arah. Gaya yang diberikan oleh fluida mengalir yang searah dengan alirannya disebut dengan gaya *drag* (Gambar 2.8).



Gambar 2.8 Ilustrasi gaya *drag*

(Sumber: Bruschi dkk, 2003).

Pada fluida yang diam, terdapat gaya yang diberikan kepada permukaan atau sebuah bodi yang tenggelam di dalamnya yaitu gaya-gaya tekan normal (*normal pressure forces*), namun pada fluida yang bergerak gaya tersebut bertambah dengan adanya gaya geser tangensial yang diberikan kepada permukaan dikarenakan kondisi tanpa selip. Gaya geser tangensial ini dibagi lagi menjadi 2 komponen, gaya *drag* yang bekerja searah dengan alirannya, dan gaya *lift* yang bekerja normal terhadap aliran. Penelitian yang dilakukan pada *wind tunnel*

menunjukkan bahwa koefisien *lift* dipengaruhi secara kuat oleh rasio jarak dinding dengan objek terhadap diameter sedangkan koefisien *drag* didominasi oleh rasio dari jarak dinding dengan objek terhadap ketebalan lapisan batas (Zdravkovich, 1985).

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.

$$F_d = \frac{1}{2} \rho C_D u_m^2 A_f, \quad A_f = DL \quad (2.4)$$

Dimana  $\rho$  = Massa jenis fluida, Air ( $kg/m^3$ )

$C_D$  = Koefisien drag

$u_m^2$  = Kecepatan horizontal air ( $m/s^2$ )

$A_f$  = Diameter tabung silinder ( $m$ )

Gaya *drag* (geser) dan *lift* (angkat) ini, bergantung pada massa jenis  $\rho$  fluida, kecepatan *upstream*  $v$ , dan ukuran, bentuk, orientasi bodi terhadap aliran, serta parameter lainnya. Terdapat bilangan tak berdimensi yang dapat digunakan untuk menggambarkan karakteristik geser dan angkat dari suatu bodi, bilangan ini adalah koefisien geser  $C_D$ , dan koefisien angkat  $C_L$ , mereka dapat dituliskan sebagai berikut:

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (2.5)$$

Dan

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (2.6)$$

Dimana  $A$  = Area frontal ( $m$ )

$F_D$  = Gaya *drag* ( $N$ )

$F_L$  = Gaya *lift* ( $N$ )

$V$  = Kecepatan aliran relatif terhadap objek ( $m/s^2$ )

$\rho$  = Massa jenis fluida ( $kg/m^3$ )

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

Persamaan *drag* ini hanya akurat pada beberapa kondisi tertentu, yaitu objek harus mempunyai faktor bentuk yang tumpul (*blunt body*) dan sistem aliran harus memiliki bilangan Reynolds yang cukup untuk menghasilkan turbulensi pada bagian belakang objek. Untuk bodi yang licin, seperti silinder sirkular, koefisien *drag* bisa bervariasi sampai bilangan Reynolds sebesar  $10^7$  (Batchelor, 1967).

## 2.4 Persamaan Morison

Partikel air yang menyebar pada gelombang akan membawa sebuah momentum. Momentum tersebut akan berujung pada terbentuknya gaya inersia yang akan mengalami akselerasi ketika melewati sebuah silinder. Nilai dari gaya inersia dapat dihitung dengan menggunakan:

$$dF_I = C_m \rho \frac{\pi D^2}{4} \dot{u} dz \quad (2.7)$$

Dimana  $dF_I$  = Gaya inersia pada elemen inkremental pada silinder D,

$\dot{u}$  = Percepatan partikel air,

$C_m$  = Koefisien inersia,

$\rho$  = Massa jenis fluida.

Lalu dikarenakan adanya daerah *wake* di sisi *downstream* silindernya, maka gaya *drag* pun akan terbentuk. Besar dari gaya drag ini dapat diketahui dengan menggunakan persamaan:

$$dF_D = \frac{1}{2} C_D \rho D |u|u dz \quad (2.8)$$

Dimana  $dF_D$  = gaya drag pada segmen inkremental  $dz$  dari silinder,

$u$  = kecepatan partikel air,

$C_D$  = Koefisien *drag*.

Kemudian dengan kombinasi di antara dua gaya tersebut serta sebuah komponen kecepatan dan percepatan, perhitungan dapat dilakukan untuk melihat gaya yang terjadi pada silinder. Studi yang dilakukan setelahnya menunjukkan bahwa gaya-gaya non-dimensional berhubungan dengan parameter KC dan kemudian dilaporkan bahwa koefisien *drag* dan inersia memiliki hubungan dengan bilangan Keulegan-Carpenter (KC).

Persamaan Morison mengasumsikan bahwa gaya gelombang adalah terdiri dari komponen gaya inersia (*inertia*) dan gaya hambatan (*drag*), yang dijumlahkan secara linier (Balamba dkk, 2018).

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

dimana :  $\rho$  = massa jenis air laut ( $kg/m^3$ )

$C_D$  = koefisien *drag*

$C_m$  = koefisien inersia

$u$  = kecepatan horizontal air ( $m/det$ )

$a_x$  = percepatan horizontal air ( $m/det^2$ )

## **BAB III**

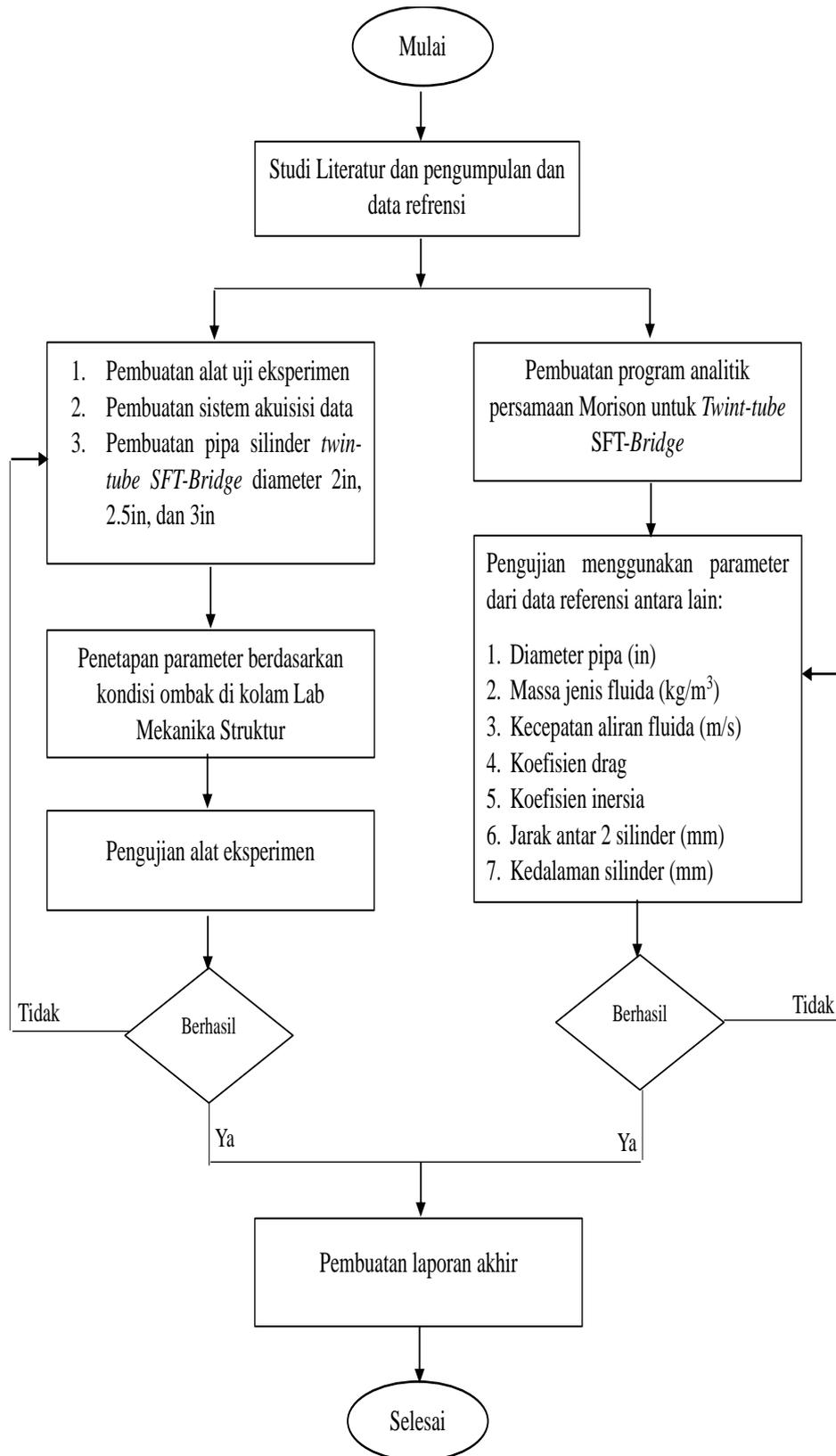
### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat**

Penelitian dilaksanakan mulai dari Maret 2023 hingga Juni 2023. Lokasi penelitian di Laboratorium Mekanika Struktur Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

Penelitian dilaksanakan dengan dasar teori dan referensi pendukung yang telah didapatkan pada fase studi literatur. Studi literatur memanfaatkan jurnal-jurnal penelitian yang ada dan buku-buku yang terkait dengan penelitian. Proses pengumpulan data ini juga terkait dengan mencari informasi tentang simulasi dan percobaan yang telah dilakukan sebelumnya. Setelah data siap, maka dilakukanlah tahapan simulasi dan eksperimen.

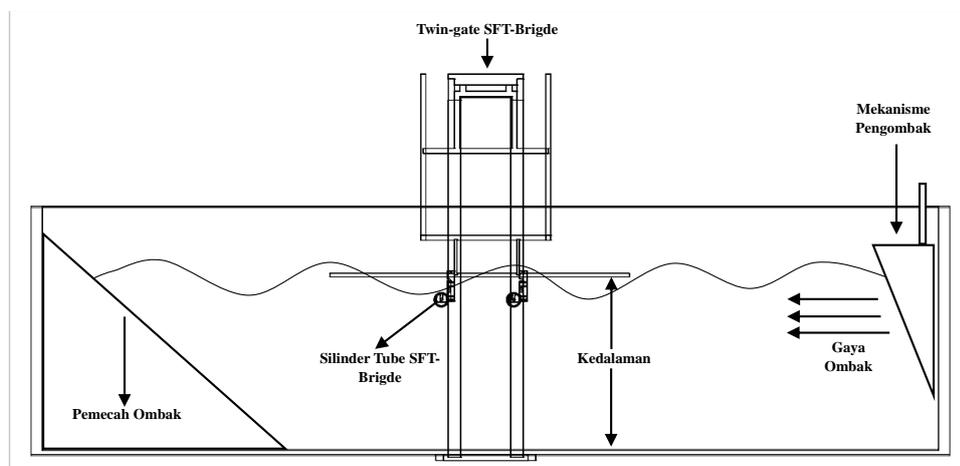
Simulasi dilakukan dengan menggunakan bantuan program MATLAB dan pengujian secara eksperimen menggunakan alat uji pemicu ombak yang sudah ada di Lab Mekanika Struktur. Sebelum diproses lebih lanjut, kualitas data dinilai terlebih dahulu agar sesuai dengan kebutuhan. Kemudian, data yang diambil pada eksperimen dan simulasi dibandingkan dan dianalisis. Analisis dilakukan dengan merujuk pada data referensi, dan terakhir dilakukan pelaporan kesimpulan penelitian yang disatukan dalam laporan hasil akhir penelitian. Secara umum, alur penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.

### 3.2 Metode Penelitian

Penelitian dilakukan menggunakan alat uji kolam ombak dengan dimensi 3680x800x1000 mm yang diisi air dengan ketinggian 60 cm. Kemudian pembangkitan ombak menggunakan motor listrik dan mekanisme pemicu ombak yang telah didesain sedemikian rupa sehingga pada saat motor dinyalakan, pemicu ombak bergerak menghasilkan ombak dengan amplitudo dan frekuensi yang telah ditentukan. Mekanisme pembangkit ombak dapat terlihat pada Gambar 3.2.



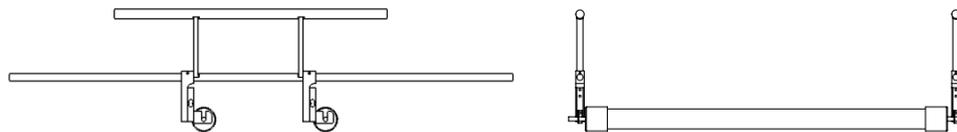
Gambar 3.2 Mekanisme Pembangkit Ombak.

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan eksperimen pada alat uji dengan menggunakan parameter berdasarkan kondisi ombak di kolam uji Lab Mekanika Struktur. Validasi alat dilakukan dengan memasang silinder dengan variasi diameter 3 in ke dalam mekanisme penjepit sesuai dengan kedalaman yang diinginkan (Gambar 3.2), kemudian mekanisme pembangkit ombak dihidupkan untuk memulai pengujian. Ketika gaya yang dihasilkan oleh ombak menghantam silinder, maka sensor yang diletakkan di dekat silinder mengukur besaran gaya yang ditimbulkan. Sensor membaca beban yang dihasilkan kemudian mengkonversinya ke dalam sinyal elektrik lalu masuk ke dalam aplikasi Arduino. Pengujian secara eksperimen dilakukan sebanyak tiga kali untuk meminimalisir deviasi.

Setelah eksperimen untuk validasi alat selesai maka verifikasi gaya drag dilakukan dengan membandingkan data gayanya terhadap perhitungan numerik yang dilakukan di MATLAB. Program MATLAB yang dibuat telah divalidasi dengan menggunakan data yang didapat dari data referensi. Pemilihan koefisien hidrodinamis dan teori ombak diambil dengan merujuk data referensi. Hasil dari perhitungan eksperimen alat dan perhitungan numerik kemudian dijadikan landasan dari keefektifan kerja alat.

### 3.3 Metode Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan eksperimen dan diverifikasi menggunakan MATLAB. Pengambilan data pada eksperimen dilakukan langsung dengan menggunakan sensor *load cell* yang ditempatkan di dekat silinder seperti terlihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Sistem Penempatan Pipa Silinder *Twin-tube* SFT pada Load Cell HX711.

Sensor load cell membaca beban ombak yang datang dan mengirimkan datanya ke dalam aplikasi Arduino. Untuk memudahkan analisis, maka pembacaan dari aplikasi Arduino diakuisisi ke dalam spreadsheet. Akuisisi data dilakukan dengan menggunakan bantuan software sublime text yang akan membentuk matriks kolom. Adapun prosedur eksperimen adalah sebagai berikut:

### 3.3.1 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 (65 mm), panjang gelombang (450 mm), panjang silinder (600 mm), dan periode (0,588 s).
2. Parameter variatif yaitu jarak antar pipa dan kedalaman.

Tabel 3.2 Parameter Eksperimen

No	Parameter	Eksperimen
1	Diameter (in)	3
2	Variasi Jarak (m)	$x = \frac{1}{4}\lambda$
		$x = \frac{1}{2}\lambda$
		$x = \frac{3}{4}\lambda$
		$x = 1\lambda$
3	Kedalaman (cm)	10
4	Periode (s)	0,588
5	Tinggi Gelombang (cm)	6,5
6	Panjang Gelombang (cm)	45

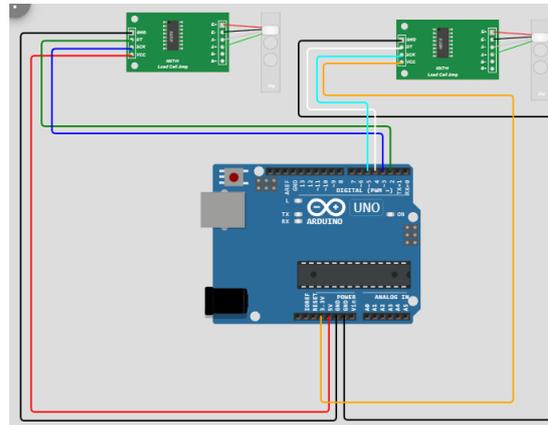
### 3.3.2 Pengambilan Data

Adapun prosedur pengambilan data menggunakan sensor Load Cell HX711 sebagai berikut:

1. Pembuatan Alat dan Setting Data Program

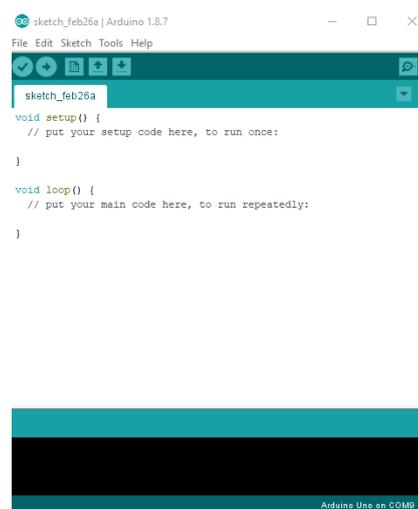
*Setting* data program yang akan diterima dari sensor load cell dilakukan menggunakan *software* Arduino. Langkah-langkah dalam penggunaan load cell yang pertama yaitu merangkai load cell dengan modul HX711 seperti pada (Gambar 3.4). Pemasangan pin disesuaikan dengan kebutuhan untuk skema yang dipakai yaitu Pin 2 dan 4 > Pin SCK dan Pin 3 dan 5 > Pin DT. Tujuannya adalah untuk membuat variabel waktu dan beban. Pada satu sensor loadcell memiliki 4 susunan strain. Sensor ini memiliki nilai konduktansinya

berbanding lurus dengan gaya/beban yang diterima dan bersifat resistif. Jika loadcell tidak ada beban besar resistansi nya akan bernilai sama pada setiap sisinya, tetapi ketika load cell memiliki beban maka nilai resistansinya akan menjadi tidak seimbang.



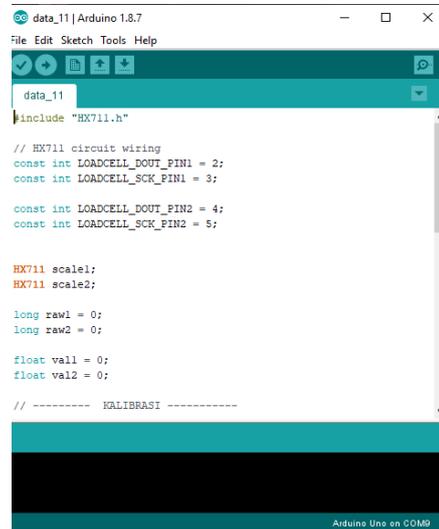
Gambar 3.4 Skema Rangkaian Alat Eksperimen Load Cell HX711.

Setelah *load cell*, *module* HX711, dan Arduino Uno R3 dirangkai sesuai dengan skema pada Gambar 3.4, kemudian *setting* alat dengan menggunakan software Arduino seperti pada Gambar 3.5. dimana Arduino diprogram menggunakan bahasa pemrograman C atau C++.



Gambar 3.5 *Software* IDE Arduino.

Langkah kedua yaitu mengupload program C++ pada Arduino dengan skema program seperti pada Gambar 3.6.



```

data_11 | Arduino 1.8.7
File Edit Sketch Tools Help
data_11
#include "HX711.h"

// HX711 circuit wiring
const int LOADCELL_DOUT_PIN1 = 2;
const int LOADCELL_SCK_PIN1 = 3;

const int LOADCELL_DOUT_PIN2 = 4;
const int LOADCELL_SCK_PIN2 = 5;

HX711 scale1;
HX711 scale2;

long raw1 = 0;
long raw2 = 0;

float val1 = 0;
float val2 = 0;

// ----- KALIBRASI -----

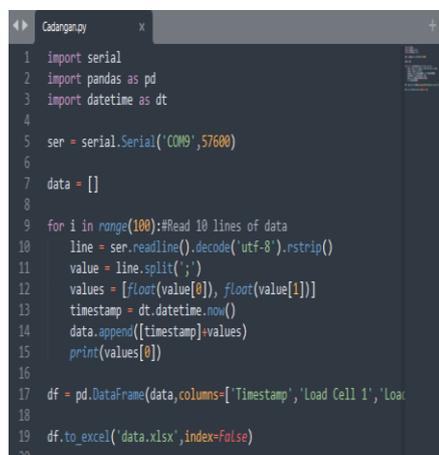
```

Gambar 3.6 Proses *Setting* Program IDE Arduino.

Setelah program C++ selesai diupload, kemudian dilakukan kalibrasi pada *load cell* dengan beban yang ditentukan.

## 2. *Data Acquisition* (Sublime Text)

Untuk memudahkan analisis, maka pembacaan dari aplikasi Arduino diakuisisi ke dalam excel. Akuisisi data dilakukan dengan menggunakan bantuan software sublime text seperti terlihat pada Gambar 3.7.



```

Codangan.py
1 import serial
2 import pandas as pd
3 import datetime as dt
4
5 ser = serial.Serial('COM9',57600)
6
7 data = []
8
9 for i in range(100):#Read 10 lines of data
10 line = ser.readline().decode('utf-8').rstrip()
11 value = line.split(';')
12 values = [float(value[0]), float(value[1])]
13 timestamp = dt.datetime.now()
14 data.append([timestamp]+values)
15 print(values[0])
16
17 df = pd.DataFrame(data,columns=['Timestamp','Load Cell 1','Loa
18
19 df.to_excel('data.xlsx',index=False)
20

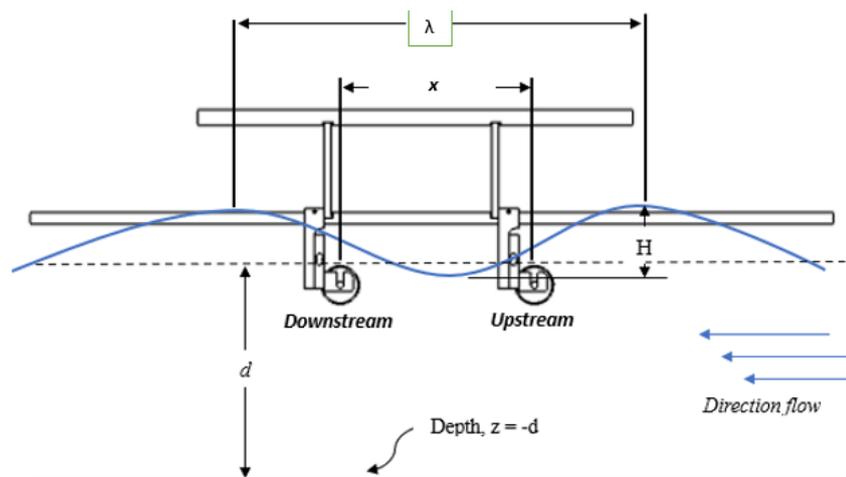
```

Gambar 3.7 Software Sublime Text.

Berikut adalah langkah-langkah dalam menggunakan Sublime Text dengan Excel:

1. Membuka Sublime Text dan buat file baru yang berisi data yang ingin di impor ke Excel.
2. Mengubah format data dengan format CSV.
3. Memasukan program C++ (Gambar 3.8).
4. Menyimpan file pada folder yang sudah dibuat.
5. Membuka file Excel dan klik pada tab "Data".
6. Mengklik tombol "From Teks/CSV" di bagian "Get & Transform Data".
7. Mencari file yang sudah dibuat dengan *Sublime Text* dan klik "Import". Excel akan menampilkan "Text Import Wizard".
8. Membuka data yang sudah diimpor, maka alat dan fungsi Excel untuk sudah dapat digunakan..

Proses pembacaan data dikatakan berhasil apabila mendapatkan output grafik dan nilai pergerakan perpindahan objek (Tabel 3.3). Skema pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Metode Pengambilan Data..

Dimana:  $d$  = Kedalam air (m)

$H$  = Tinggi gelombang (m)

$L$  = Panjang gelombang (m)

$X$  = Jarak antara silinder *upstream* dengan *downstream*  
(m)

$\lambda$  = Panjang gelombang (m)

Tabel 3.3 Variasi Pengujian

Variasi $x$	Exp	Gaya Drag		
		<i>Upstream</i> (N)	<i>Downstream</i> (N)	<i>Resultant</i> (N)
Jarak $x=1/4\lambda$	1			
	2			
	3			
Jarak $x=1/2\lambda$	1			
	2			
	3			
Jarak $x=3/4\lambda$	1			
	2			
	3			
Jarak $x=1\lambda$	1			
	2			
	3			

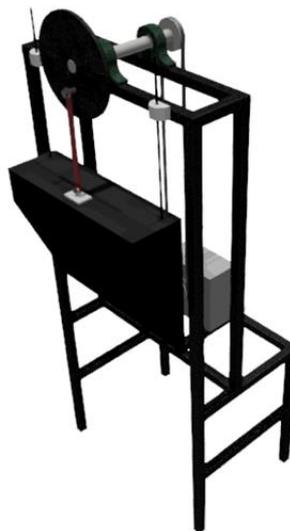
### 3.4 Desain Kolam Pengombak dan *Twin-tube Gate*

Kolam ombak yang ada di Lab Mekanika Struktur memiliki dimensi  $3680 \times 800 \times 1000$  mm. Pada salah satu ujung kolam terdapat sebuah kaca miring yang digunakan untuk membantu profil dari ombak agar terdeformasi dengan baik dan ujung lainnya memiliki mekanisme pemicu ombak yang tidak menyatu dengan kolam. Bentuk kolam dapat dilihat pada Gambar 3.9.



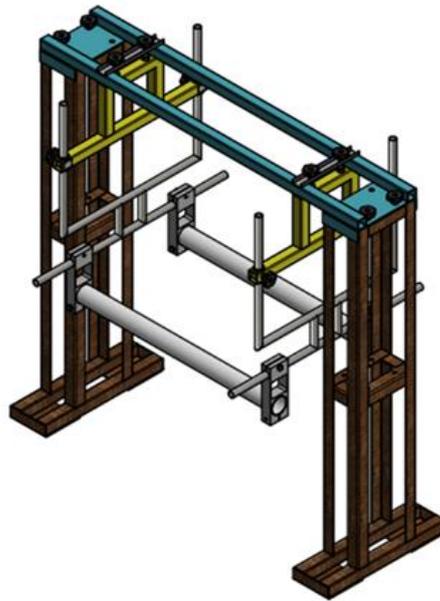
Gambar 3.9 Rangkaian Kolam Pengombak.

Mekanisme pembangkit ombak yang digunakan dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu sistem penggerak dan media ombak. Pada sistem penggerak terdapat komponen-komponen yang menjalankan mekanisme ini, seperti motor listrik, *gearbox*, sistem transmisi, poros, bearing, dan pendulum. Kemudian pada media ombak terdapat rangkaian mekanisme pemicu ombak yang telah dirancang sedemikian rupa. Gerakan dari motor listrik diteruskan oleh sistem transmisi dan menggerakkan sistem pemicu sehingga menghasilkan gelombang ombak dengan frekuensi dan amplitudo yang dapat ditentukan. Sistem pengombak dapat dilihat pada Gambar 3.10.



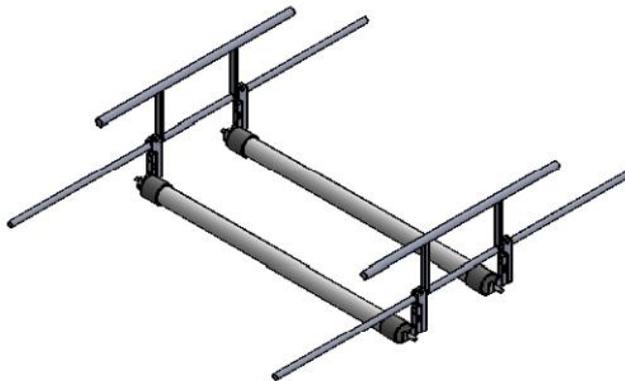
Gambar 3.10 Sistem Pengombak.

Bagian untuk penempatan silinder dibuat dengan menggunakan pipa besi dengan ukuran 80x15mm. *Frame* dari penggenggam ini mengambil sistem gawang dengan 2 *frame pipe* dan silinder diletakkan di bagian bawah dari *bracket* yang disambungkan dengan *load cell* HX711. Rangkaian *Twin-tube Gate* SFT-*Brigde* dapat dilihat pad Gambar 3.11.



Gambar 3.11 *Twin-tube Gate SFT*.

Posisi penempatan *load cell* HX711 berada di antara *frame holder* dan *bracket*. Dari sistem seperti ini diharapkan pembacaan sensor akan lebih akurat dan meminimalisir gangguan pembacaan. Sistem *bracket* ini dapat dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Sistem *Bracket Twin-tube SFT*.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

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

1. Berdasarkan hasil rata-rata gaya *drag* yang diterima oleh silinder *upstream* dan *downstream*, penerimaan rata-rata gaya terbesar ada di variasi jarak  $x = 1\lambda$ , hal ini terjadi karena jarak antar kedua silinder relatif jauh dan bertepatan dengan datangnya gelombang fasa sama (sefasa).
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 rata-rata resultan gaya silinder *downstream*. Pada penerimaan rata-rata gaya terbesar ada di variasi jarak  $x = 1\lambda$ , dan penerimaan rata-rata resultan gaya terkecil ada di variasi jarak  $x = 1/4\lambda$ . Penerimaan gaya resultan yang kecil dipengaruhi oleh adanya aliran beda fasa, hal ini akan mengakibatkan terjadinya gaya *vortex* diantara celah kedua silinder *upstream* dan *downstream*.
3. Dari hasil yang didapatkan bahwa kondisi dengan penerimaan gaya terkecil pada jarak SFT didapatkan pada *rasio*  $x = 1/4\lambda$ . dimana jarak ini merupakan jarak dengan pengkondisian optimal pada penerapan posisi kedua terowongan SFT. Jika jarak antar kedua silinder SFT lebih dekat, maka kemungkinan terjadinya interaksi antara aliran air di

sekitar terowongan akan lebih rendah. Hal ini dapat mengakibatkan gaya *drag* yang lebih rendah karena aliran air yang mengalir melewati terowongan akan lebih terdispersi dan mereda. Sebagai akibatnya, struktur silinder akan mengalami gaya *drag* yang lebih kecil.

## 5.2 Saran

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

1. Disarankan dilakukan penambahan variasi pipa dan kedalaman dalam pengujian.
2. Disarankan dilakukan penambahan sensor pada ke empat sisi *system holder*, hal ini bertujuan agar pembacaan gaya drag yang diterima lebih optimal dan akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akmal, J., Lubis, A., Suudi, A., Tanti, N., Nugraha, N., Fahrain, Z., & Hakim, P., 2022. *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.
- Bai, J., Ma, N., & Gu, X., 2017, *Study of interaction between wave-current and the horizontal cylinder located near the free surface*. *Applied Ocean Research*, 67, 44–58.
- Balamba, S., dan Salajar, A., 2018. Analisis Daya Dukung Lateral pada Tiang Pancang Kelompok di Dermaga Belang. *Jurnal Sipil Statik*, Vol.6, No.9.
- Batchelor, G.K., 1967, *An Introduction to Fluid Dynamics*. Cambridge University Press. ISBN 0-521-66396-2.
- Boccotti, P., Arena, F., Fiamma, V., & Romolo, A., 2013, *Two small-scale field experiments on the effectiveness of Morison's equation*. *Ocean Engineering*, 57, 141–149.
- Bruschi, G. Nishioka, T. Tsang, K. Rick, W.R., 2003, *A Comparison of Analytical Methods Drag Coefficient of a Cylinder*. *Mechanical and Aerospace Engineering (MAE)*, University of California, Los Angeles, CA.
- Budiman, I., Raka., Wahyuni., Suswanto, B., 2016. *Conceptual study of submarine pipeline using Submerged Floating Tunnel*. *Civil Engineering Laboratory of Structure*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Budiman, I.G.P. Raka., Wahyuni., 2017. *Concept Application for Pipelines using a Submerged Floating Tunnel for Use in the Oil and Gas Industry*. International Journal of Technology (IJTech) Vol 8, No 4 (2017).
- Butt, U. C, Egbers, 2013, *Aerodynamic Characteristics of Flow over Circular Cylinders with Patterned Surface*. *J. Materials, Mechanics, Manufacturing* 1.2.
- Chakrabarti, S.K., 1987, *Hydrodynamics of offshore structures*, Springer-Verlag, Berlin.
- Dhanista, Wimala L., 2017, “Gelombang Laut”, <https://www.its.ac.id/tkelautan/gelombang-laut/>, diakses pada 20 Februari 2023 pukul 09.13.
- Ewen, D. Schurter, N. & Gundersen, P. E., 2012, *Applied physics*. Boston: Prentice Hall.
- Iqbal, M., 2006, “Validasi Terhadap *Prototype Drag and lift Balance* pada *Wind Tunnel* Kecepatan Rendah Menggunakan Model Standar : Bola, Silinder dan Airfoil NACA 0012”, Laporan Tugas akhir, Jurusan Teknik Mesin FTI –ITS.
- Iyalla, I. Hossain, M. Andrawus, J., (2011), *Calculating Hydrodynamic Loads on Pipelines and Risers: Practical Alternative to Morison's Equation*. *Advanced Materials Research*, 367, 431–438.
- Munson, B R., 2009, *Fundamentals of fluid mechanics*. New York: John Wiley.
- Sundar, V., 2016, *Ocean wave mechanics: Applications in marine structures*. Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons.

- Tveit Per 2010. *Submerged floating tunnels (SFTs) for Norwegian fjords*. Docent Emeritus, Agder University, N-4876 Grimstad, Norway.
- Wilson, B.W., 1963, *Conditions of existence for types of Tsunami waves*. Proc.XIIIth General Assembly Jugg, Berkeley, California, Aug.
- Zan, X., & Lin, Z., 2020, *On the applicability of Morison equation to force estimation induced by internal solitary wave on circular cylinder*. *Ocean Engineering*, 198, 106966.
- Zdravkovich, M. M., 1985, *Forces on a circular cylinder near a plane wall*. *Applied Ocean Research*, 7(4), 197–201.
- Zhang, C., Chen., Zhang, Q., Zhang, D., Zhang, F., 2015. *Wave Loads Computation for Offshore Floating Hose Based on Partially Immersed Cylinder Model of Improved Morison Formula*. *The Open Petroleum Engineering Journal*.
- Zhang, H., Yang , Z., , Li, j., Chunguang Yuan., Mingxiao Xie., Hua Yang ., Haiqing Yin., 2021. *A global review for the hydrodynamic response investigation method of submerged floating tunnels*. *The Open Petroleum Engineering Journal*.

## **LAMPIRAN**