

**STUDI EKSPERIMENTAL RESPON DINAMIK SEGMENT *SUBMERGED*
FLOATING TUBE TIPE *TENSION LEG* YANG MENDAPATKAN
GANGGUAN GELOMBANG**

(SKRIPSI)

Oleh :

Ragil Alvin Dinata

2015021019



PROGRAM SARJANA TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2024

**STUDI EKSPERIMENTAL RESPON DINAMIK SEGMENT *SUBMERGED*
FLOATING TUBE TIPE *TENSION LEG* YANG MENDAPATKAN
GANGGUAN GELOMBANG**

Oleh

RAGIL ALVIN DINATA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik

Pada

JURUSAN TEKNIK MESIN

Fakultas Teknik Universitas Lampung



PROGRAM SARJANA TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2024

ABSTRAK

STUDI EKSPERIMENTAL RESPON DINAMIK SEGMENT *SUBMERGED FLOATING TUBE* TIPE *TENSION LEG* YANG MENDAPATKAN GANGGUAN GELOMBANG

Oleh

Ragil Alvin Dinata

Indonesia, sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, memerlukan sarana transportasi lintas laut yang handal untuk menghubungkan ribuan pulau. *Submerged Floating Tunnel* (SFT) adalah alternatif transportasi bawah laut yang lebih fleksibel dan stabil dibandingkan jembatan gantung konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi respon dinamik dari segmen *Submerged Floating Tube* (SFT) tipe *Tension Leg* yang terkena gangguan gelombang. Penelitian dilakukan melalui eksperimen di mana variasi sudut kemiringan tali tambat (15° , 30° , dan 45°) serta massa tabung (0,5 kg, 0,75 kg, dan 1 kg) digunakan untuk mengamati pengaruhnya terhadap perpindahan posisi struktur SFT. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sudut kemiringan tali tambat 45° menghasilkan perpindahan posisi struktur yang lebih kecil akibat gaya gelombang. Massa tabung 1 kg mengakibatkan perpindahan yang lebih besar, menunjukkan bahwa massa tabung memiliki pengaruh signifikan terhadap kekakuan tali tambat dan perpindahan struktur SFT. Penelitian ini merekomendasikan penggunaan sudut kemiringan tali tambat yang sebesar mungkin dan massa tabung yang sekecil mungkin untuk desain SFT yang optimal.

Kata kunci: *Submerged Floating Tunnel* (SFT), *Tension Leg*, variasi sudut tali tambat, variasi massa tabung.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL STUDY OF THE DYNAMIC BEHAVIOR OF A SUBMERGED FLOATING TUBE SEGMENT OF THE TENSION LEG TYPE SUBJECTED TO WAVE INTERFERENCE

By

Ragil Alvin Dinata

Indonesia, as the largest archipelagic country in the world, needs reliable seaborne transportation facilities to connect thousands of islands. Submerged Floating Tunnel (SFT) is a more flexible and stable alternative to conventional suspension bridges. This study aims to evaluate the dynamic response of the Submerged Floating Tube (SFT) segment of the Tension Leg type that is affected by wave interference. The study was conducted through experiments in which variations in the angle of inclination of the mooring rope (15°, 30°, and 45°) and tube masses (0.5 kg, 0.75 kg, and 1 kg) were used to observe their effect on the displacement of the SFT structure. The experimental results show that the 45° tilt angle of the mooring rope results in a smaller displacement of the structure due to wave force. A tube mass of 1 kg results in greater displacement, suggesting that the tube mass has a significant influence on the stiffness of the mooring rope and the displacement of the SFT structure. This study recommends the use of the largest possible mooring rope tilt angle and the smallest possible tube mass for optimal SFT design.

Keywords: Submerged Floating Tunnel (SFT), Tension Leg, Variation in mooring rope angle, variation in tube mass.

Judul Skripsi : **STUDI EKSPERIMENTAL RESPON
DINAMIK SEGMENT *SUBMERGED*
FLOATING TUBE TIPE *TENSION LEG*
YANG MENDAPATKAN GANGGUAN
GELOMBANG**

Nama Mahasiswa : **Ragil Alvin Dinata**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2015021019

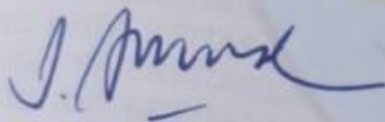
Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

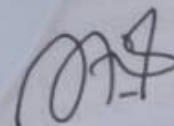
MENYETUJUI

Komisi Pembimbing 1

Komisi Pembimbing 2



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

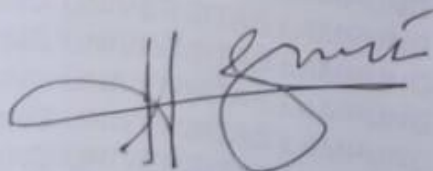


Novri Tanti, S.T., M.T.
NIP 19701104 199703 2 001

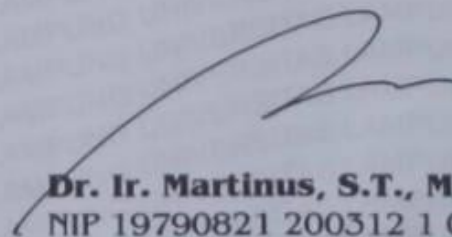
MENYETUJUI

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ketua Program Studi S1
Teknik Mesin



Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 19710817 199802 1 003

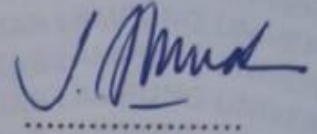


Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.
NIP 19790821 200312 1 003

MENGESAHKAN

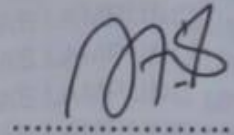
1. Tim Penguji

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



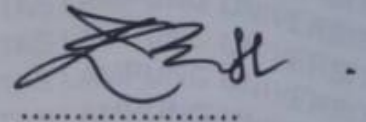
.....

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



.....


Penguji Utama : **Zulhendri Hasymi, 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 : **08 Agustus 2024**

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, 20 Agustus 2024

Pembuat Pernyataan



Ragil Alvin Dinata
NPM. 2015021019

MOTTO

Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan

(QS. Al- Insyirah : 5)

Sukses adalah jumlah dari upaya kecil, yang diulangi hari demi hari

(Robert coller)

SANWACANA

Assalamu'alaikum Warahmatullohi Wabarokatuh

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah *و سبحانه تعالى* 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 *صلى الله عليه وسلم* 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. Jamiatul Akmal, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Novri Tanti, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah bersedia membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
3. Zuhendri Hasymi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembahas yang telah memberi kritik dan masukan yang bermanfaat bagi penulis.
4. Dr. Harmen, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing akademik yang telah membimbing penulis selama melaksanakan perkuliahan.
5. Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung
6. Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

7. Seluruh Dosen di Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah menjadi guru dan mengajarkan dasar pengetahuan yang dibutuhkan kepada penulis.
8. Seluruh staf dan karyawan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
9. Orang tua penulis, Bapak Supingi dan Ibu Misiyah yang selalu ada mendampingi dan mendoakan penulis sehingga penulis dapat tetap bersemangat dalam menjalankan serta menyelesaikan studi Teknik Mesin.
10. Kakak penulis yaitu Ahmad Sumindar dan Sulistiawati yang selalu mendukung, memberikan saran dan masukan, dukungan moril maupun materil untuk penulis agar dapat lulus cepat.
11. Anastasya Viorelia yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi dan mendampingi penulis ketika kesulitan.
12. *Lakh Ley Crew* yang selalu memberi lelucon yang seru dan menjadikan masa perkuliahan menjadi lebih seru Kukuh, Alip, Maher, Frima, Flavio, Dimas, Defid, Valdo, Raihan, Arif, Kemal, Chris, Ketut, Arya, Madi dan Olsen.
13. Tim Laboratorium Mekanika Struktur Frima, Taufik, Malik, Ariza, Riza Wiyoga dan Chairil yang telah bersama dan membantu segala suka duka proses pengerjaan skripsi.
14. Teman-teman Angkatan 2020 yang telah ada menemani, mendengarkan keluhan, memberikan motivasi, dan memberi dorongan semangat.

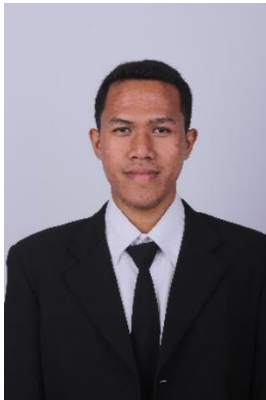
Penulis menyadari bahwa isi skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari semua pihak yang bersifat membangun dalam rangka penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya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

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Bandar Lampung, Agustus 2024

Ragil Alvin Dinata
NPM. 2015021019

RIWAYAT HIDUP



Penulis memiliki nama lengkap Ragil Alvin Dinata dilahirkan di Sidomulyo pada tanggal 20 Mei 2002. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara pasangan Bapak Supingi dan Ibu Misiyah. Penulis mengawali pendidikan dasar di SD Negeri 4 Tekad (2008-2014), lalu dilanjutkan di SMP Islam Kebumen (2014-2017), dan SMA Negeri 1 Sumberejo (2017-2020). Pada tahun 2020 penulis terdaftar sebagai mahasiswa teknik mesin universitas lampung melalui jalur seleksi nasional masuk perguruan tinggi negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam himpunan mahasiswa teknik mesin (HIMATEM) sebagai anggota divisi olahraga. Selain aktif dalam HIMATEM penulis juga pernah menjadi asisten laboratorium mekanika struktur pada tahun 2023-2024. Penulis melaksanakan kerja praktik di PT Great Giant Pineapple, lampung tengah tahun 2023 dengan judul laporan **“ANALISIS EFISIENSI BURNER BAHAN BAKAR HSD UNTUK CARBONISASI BIOCHAR DI PT GREAT GIANT PINEAPPLE DEPARTEMENT COMPOST PLANT”**.

Tahun 2024 penulis melakukan penelitian dengan judul **“STUDI EKSPERIMENTAL RESPON DINAMIK SEGMENT SUBMERGED FLOATING TUBE TIPE TENSION LEG YANG MENDAPATKAN GANGGUAN GELOMBANG”**. Dibawah bimbingan Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T. dan Novri Tanti, S.T., M.T.

DAFTAR ISI

	Hal
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Submerged Floating Tunnel</i> (SFT)	5
2.2 Gelombang	7
2.2.1 Teori Gelombang Amplitudo Kecil	9
2.2.2 Teori Gelombang dengan Amplitudo Hingga (<i>finite</i>)	11
2.2.3 Teori Gelombang <i>Solarity</i>	12
2.2.4 Teori Gelombang <i>Knoidal</i>	12
2.3 Gaya Hidrodinamika	13
2.4 Getaran	14
2.4.1 Getaran Harmonik	14
2.4.2 Getaran Bebas	15
2.4.3 Getaran Paksa	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1 Waktu dan Tempat	18
3.2 Model SFT	20
3.3 Parameter Pengujian	21

3.4 Metode Pengambilan data	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Hasil Eksperimen	27
4.2 Pengaruh Sudut Tali Tambat Terhadap <i>Displacement</i>	30
4.3 Pengaruh Massa Tabung Terhadap <i>Displacement</i>	36
BAB V PENUTUP	27
5.1 Simpulan	27
5.2 Saran	27
DAFTAR PUSTAKA	29
LAMPIRAN	48

Gambar 24. Grafik perpindahan posisi dan FFT pada sudut tali tambat 15 derajat	37
Gambar 25. Grafik perpindahan posisi dan FFT pada sudut tali tambat 30 derajat	39
Gambar 26. Grafik perpindahan posisi dan FFT pada sudut tali tambat 45 derajat	40
Gambar 27. Grafik perbandingan amplitudo rata-rata eksperimen dan analitik	41

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 1. Parameter eksperimen	21
Tabel 2. Hasil eksperimen	21
Tabel 3. Hasil perhitungan	30

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan (*archipelagic state*) terbesar di dunia yang terdiri dari 17.504 pulau dan memiliki garis pantai sepanjang 81.000 km. Luas lautan Indonesia mencapai 5,8 juta km² atau 70% dari luas total wilayah Indonesia, dengan kondisi perairan yang menghubungkan berbagai pulau di Indonesia (Djalal, 2011). Contoh pulau – pulau yang dipisahkan oleh selat adalah pulau Jawa dan Sumatera, pulau Jawa dan Bali. Indonesia sebagai negara kepulauan membutuhkan sarana transportasi lintas laut yang handal untuk menghubungkan ribuan pulau. Sayangnya, kondisi laut yang kerap bergelombang menjadi tantangan tersendiri bagi kelancaran arus transportasi antar pulau (Damayanti *et al.*, 2019). Opsi transportasi seperti jembatan gantung maupun terowongan dasar laut dinilai kurang ideal dan ekonomis untuk selat-selat lebar dan dalam di Indonesia.

Teknologi *submerged floating tunnel* (SFT) kini mulai dilirik sebagai alternatif transportasi bawah laut yang lebih fleksibel dan stabil dibanding jembatan gantung konvensional (Beseto *et al.*, 2018). SFT adalah terowongan buatan yang diapungkan dan ditopang beberapa meter di bawah permukaan laut. Namun demikian, pengaruh hidrodinamika akibat gelombang besar pada struktur SFT perlu ditelaah lebih lanjut terutama tipe *tension leg* yang ditopang oleh kabel vertikal ke dasar laut.

Interaksi antara elemen struktural SFT dan medan fluida perairan sangat kompleks dan dapat memicu instabilitas (Jin & Wang, 2021). Arus laut dan gelombang menghasilkan gaya fluida dinamis yang bekerja pada struktur SFT, dapat menimbulkan getaran, osilasi atau goyangan berlebih pada struktur. Fenomena ini diperparah dengan minimnya data gelombang aktual di perairan Indonesia sehingga sulit memilih parameter desain SFT yang optimum. Analisis eksperimental model skala segmen SFT *tension leg* di laboratorium dapat memberi wawasan penting sebelum pendirian skala penuh di lapangan (Zhang *et al.*, 2021).

SFT diyakini dapat menjadi solusi transportasi alternatif yang efektif untuk menghubungkan pulau-pulau di Indonesia. Namun demikian, penelitian oleh (Tjahjanto, 2017) menunjukkan masih terdapat sejumlah kesenjangan dalam implementasi SFT di tanah air. Dari sisi teknis, belum ada kajian mendalam dan uji coba skala penuh SFT pada kondisi geografis Indonesia yang unik. Sementara itu, kemampuan sumber daya manusia serta industri konstruksi lokal dinilai belum memadai untuk proyek infrastruktur kelas berat ini. Selain itu, standarisasi dan regulasi khusus terkait pembangunan terowongan terapung juga masih belum jelas. Diperlukan peningkatan riset dan inovasi serta dukungan kebijakan untuk mengatasi berbagai kesenjangan tersebut.

Hasil penelitian eksperimen oleh Zhang *et al.*, (2021) menunjukkan bahwa respon dinamis model skala segmen SFT tipe *tension leg* cukup signifikan saat dibebani gelombang regular dan acak dengan variasi tinggi dan kemiringan lereng yang besar. *Displacement* struktur cenderung meningkat secara nonlinear pada kondisi gelombang ekstrem. Frekuensi resonansi yang terjadi berpotensi memicu efek hidrodinamika yang merugikan stabilitas struktur jangkar dan tendon penopang. Spektrum respons mengindikasikan deformasi terfokus pada arah lateral sewaktu distribusi gaya gelombang tidak merata. Dengan demikian, rekayasa desain segmen SFT *tension leg* memerlukan pertimbangan cermat terhadap potensi amplifikasi getaran akibat interaksi dinamis struktur-gelombang.

Untuk memverifikasi temuan penelitian sebelumnya mengenai respon dinamis segmen *Submerged Floating Tunnel* (SFT) tipe *tension leg* akibat gangguan gelombang, penulis bermaksud melakukan pengujian secara eksperimental pada model SFT skala laboratorium. Tujuannya adalah untuk mengamati dan mengukur perilaku dinamis tabung terapung model struktur SFT dengan sistem penambat tunggal. Eksperimen akan memanfaatkan video *tracker* untuk akuisisi data dan dilengkapi variasi parameter seperti diameter tabung, berat, panjang serta kekakuan tali tambat, dan rasio redaman. Parameter bebas spesifik yang akan dikaji lebih lanjut adalah variabel sudut kemiringan tali penambat model SFT. Data perilaku dinamis berupa perpindahan tabung akan direkam dalam domain waktu dan dibandingkan dengan hasil perhitungan analitik serta simulasi numeris menggunakan perangkat lunak ANSYS. Dengan demikian didapatkan pemahaman lebih komprehensif mengenai fenomena respon dinamis struktur SFT penambat-tunggal akibat beban lingkungan perairan melalui pendekatan eksperimen dan pemodelan.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh gaya hidrodinamik terhadap tabung terbenam SFT yang disertai tali tambat?
2. Bagaimana pengaruh kemiringan tali tambat terhadap *displacement* tabung?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai untuk mengetahui respon dinamik tabung pada variasi kemiringan tali tambat dan massa tabung.

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. Tabung yang digunakan berdiameter 2 inchi.

2. Massa total tabung sebesar 1 kg.
3. Variasi yang digunakan adalah kemiringan tali tambat yaitu 15° , 30° dan 45° .
4. Dasar perhitungan gaya pada SFT menggunakan persamaan morison.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan penelitian terdiri dari lima bab yaitu: BAB I Pendahuluan yang berisikan latar belakang, tujuan dan batasan masalah dalam penulisan laporan serta sistematika yang digunakan penulis dalam menyusun laporannya. BAB II Tinjauan pustaka yang menjelaskan teori-teori dasar atau literatur yang menjadi pedoman atau acuan yang berhubungan dengan penelitian ini. BAB III Metodologi penelitian menjelaskan waktu dan tempat, alur atau tahapan, serta metode-metode yang digunakan oleh penulis dalam pelaksanaan penelitian. BAB IV Hasil dan pembahasan berisi data-data yang diperoleh dari hasil penelitian yang telah dilakukan beserta pembahasan pengaruh parameter yang ada pada penelitian ini. BAB V Penutup yaitu menyimpulkan hasil penelitian yang diperoleh, serta saran yang diperlukan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

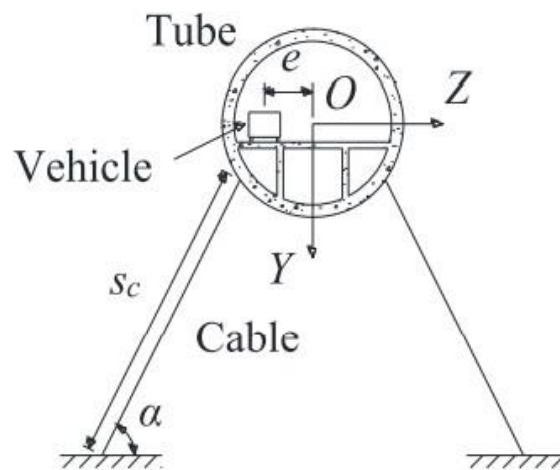
2.1 Submerged Floating Tunnel (SFT)

Submerged Floating Tunnel (SFT) atau Jembatan *under water* adalah sebuah konsep baru di bidang infrastruktur transportasi. Konsep dari SFT adalah meletakkan sebuah struktur berbentuk *tubular* pada kedalaman tertentu di bawah permukaan air dengan menggunakan gaya apung Archimedes sebagai daya dukungnya (Mazzolani *et al.*, 2008). 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*). SFT juga sering disebut dengan jembatan Archimedes, SFT merupakan solusi teknis untuk jalur penyeberangan bawah air. Struktur utama SFT adalah tabung fleksibel prefabrikasi di permukaan, kemudian disambung, ditutup rapat, dan diapungkan lalu ditenggelamkan ke lokasi yang diinginkan menggunakan kapal atau ponton khusus. Tabung didesain cukup kuat untuk menahan beban dari dalam terowongan dan pergerakan air.

Untuk mengatur keseimbangan dan posisi SFT di dalam air maka digunakan hubungan antara gaya apung dan berat. Berat dan gaya apung pada SFT dipengaruhi oleh desain, material dan penampang SFT. Para peneliti telah mengkaji beberapa desain penampang SFT dengan variasi material yang berbeda. Diantaranya adalah penampang berbentuk lingkaran dengan bahan dari beton, penampang berbentuk lingkaran dengan bahan komposit baja-beton yang dilapisi aluminium pada sisi luarnya, dan penampang berbentuk oval dengan bahan baja yang dianalisa oleh (Mazzolani *et al.*, 2008). Hasil dari analisa-analisa tersebut menunjukkan bahwa

setiap penampang memiliki perilaku yang berbeda terhadap beban yang diberikan, yang mana beban yang diberikan tersebut sesuai dengan kondisi perairan tempat SFT tersebut dimodelkan (Ahrens *and* Donna, 1997).

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. Beban tambahan tersebut antara lain adalah beban lalu lintas maupun beban utilitas dan sebagainya. 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 1.



Gambar 1. Prinsip Archimedes pada Desain SFT

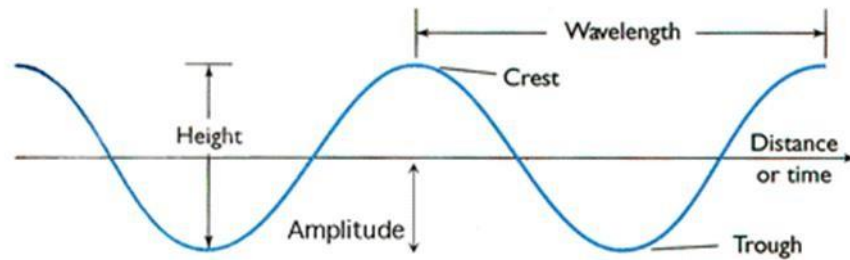
(Tveit Per, 2010).

Pembebanan pada SFT secara umum hampir sama dibandingkan dengan jembatan pada umumnya. Yang membedakan dengan pembebanan pada jembatan konvensional adalah beban akibat pengaruh kondisi lingkungan dimana SFT berada. Ahrens & Donna (1997) menyatakan beberapa macam pembebanan pada struktur SFT, yaitu:

1. Beban permanen yang bekerja pada SFT adalah bobot dari berbagai hal komponen struktural dan non-struktural, daya apung air dan tekanan hidrostatik.
2. Beban kerja adalah beban yang terjadi akibat penggunaan struktur Beban Lingkungan. Beban lingkungan adalah beban – beban yang diakibatkan kondisi dari lingkungan lokal SFT berada atau beban yang mengenai struktur dikarenakan fenomena alam.

2.2 Gelombang

Gelombang merupakan rambatan energi getaran yang merambat melalui medium atau tanpa melalui medium. Berdasarkan mediumnya gelombang dibedakan menjadi dua yaitu gelombang mekanik dan gelombang elektromagnetik. Gelombang mekanik adalah gelombang yang arah rambatnya memerlukan medium perantara sedangkan gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang arah rambatnya tanpa menggunakan medium. Berdasarkan perambatannya gelombang dibagi menjadi dua yaitu gelombang transversal dan gelombang longitudinal. Gelombang transversal merupakan gelombang yang perambatan sejajar dengan getaran dan mediumnya sedangkan gelombang longitudinal adalah gelombang yang rambatannya sejajar dengan getaran dan mediumnya (Nadia *et al.*, 2023). Profil gelombang dapat dilihat pada Gambar 2.



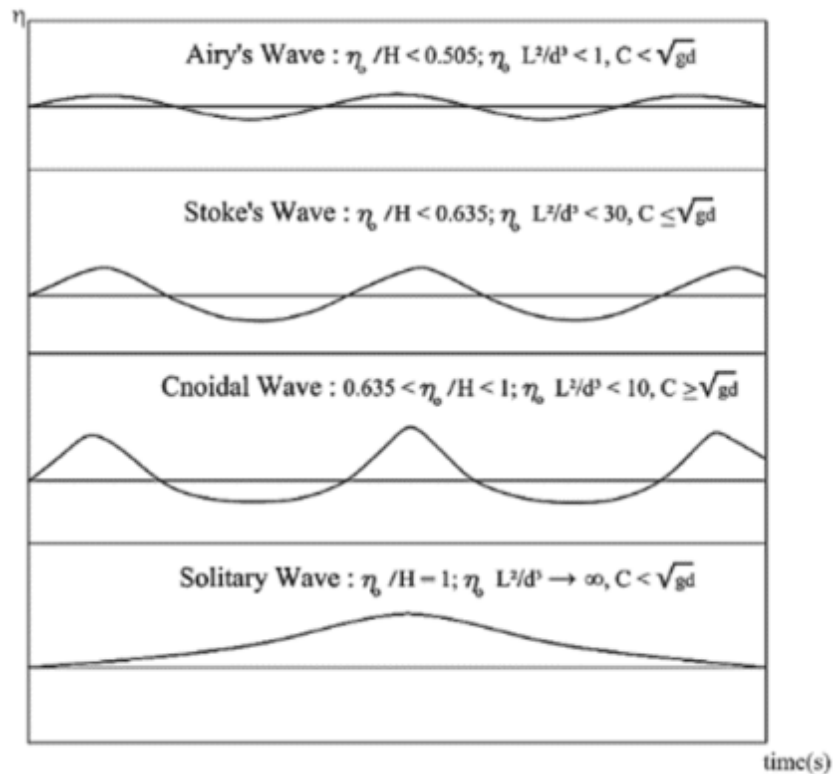
Gambar 2. Profil Gelombang
(Ewen *et al.*, 2012)

Gelombang merupakan faktor penting untuk menentukan tata letak (*lay out*) pelabuhan, perencanaan bangunan pantai, alur pelayaran dan sebagainya gelombang memiliki ukuran yang bervariasi mulai dari riak dengan ketinggian beberapa sentimeter hingga gelombang badai yang berukuran 30 m. Gelombang dapat menimbulkan energi yang dapat mempengaruhi profil pantai dan *transport* sedimen searah tegak lurus dan sepanjang pantai, yang dapat menyebabkan gaya-gaya bekerja pada bangunan pantai (Mamoto *et al.*, 2013). Sebuah gelombang terdiri dari beberapa bagian antara lain :

1. Puncak gelombang, merupakan titik tertinggi dari sebuah gelombang.
2. Lembah gelombang, merupakan titik terendah gelombang, di antara dua puncak gelombang.
3. Panjang gelombang, merupakan jarak mendatar antara dua puncak gelombang atau antara dua lembah gelombang.
4. Tinggi gelombang, merupakan jarak tegak antara puncak dan lembah gelombang.
5. Periode gelombang, merupakan waktu yang diperlukan oleh dua puncak gelombang yang berurutan untuk melalui satu titik.

Terdapat beberapa teori gelombang dengan beberapa derajat kerumitan dan ketelitian untuk menggambarkan kondisi gelombang di alam di antaranya adalah teori *Airy*, *Stokes*, *Gerstner*, *Mich*, *Cnoidal* dan *Tunggal*. Teori Gelombang *Airy* merupakan teori gelombang amplitudo kecil, sedangkan teori gelombang yang

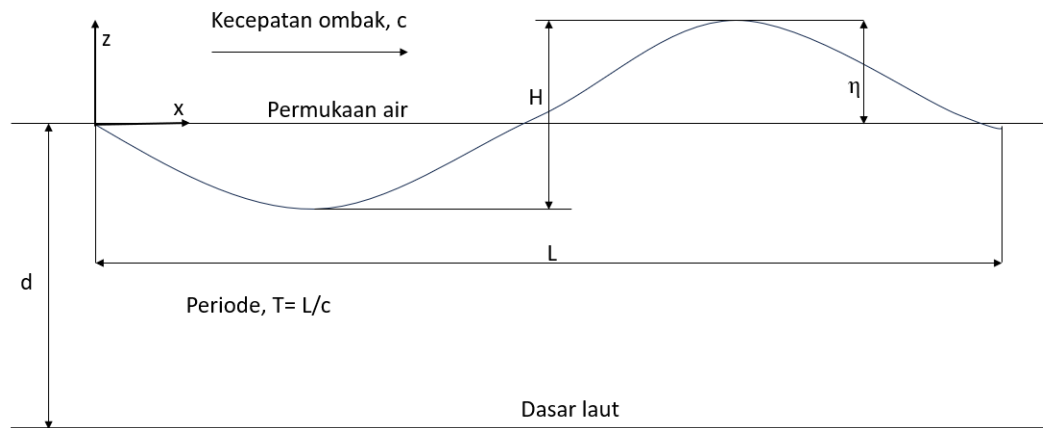
lain adalah gelombang amplitudo terbatas (*finite amplitude waves*), Profil Gelombang *Airy*, *Stokes*, *Cnoidal*, dan *Solitary* dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Profil Gelombang Airy, Stokes, Cnoidal, dan Solitary (Wilson, 1963)

2.2.1 Teori Gelombang Amplitudo Kecil

Teori gelombang *airy* merupakan salah satu teori yang menggambarkan kondisi gelombang di alam. Teori ini merupakan teori yang paling sederhana yang digunakan untuk menerangkan perambatan gelombang, gravitasi. Teori ini disebut juga dengan teori amplitudo kecil dan dapat digunakan untuk menganalisa gerakan gelombang, gelombang-gelombang menjalar tanpa terjadinya deformasi, baik untuk profil permukaan dan kecepatan partikel air membentuk sinusoidal. Sehingga amplitudo yang terjadi disini jauh lebih kecil dibandingkan dengan panjang gelombang (Aprili *et al.*, 2021).



Gambar 4. Profil dan parameter ombak

Gambar 4 merupakan profil dan parameter ombak. Menggunakan prinsip gelombang amplitudo kecil, *Airy* menurunkan persamaan Laplace untuk aliran irrotasional dan melakukan linearisasi terhadap persamaan *Bernoulli* dan menghasilkan Teori Gelombang Airy dikenal juga sebagai Teori Gelombang Linear. Beberapa hasil penyelesaian terhadap persamaan Laplace adalah sebagai berikut yaitu pada persamaan.

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \sigma t) \quad (2.1)$$

$$L = \frac{g}{2\pi} T^2 \tanh \frac{2\pi}{L} h \quad (2.2)$$

Dimana η : Elevasi muka air laut

L : Panjang gelombang

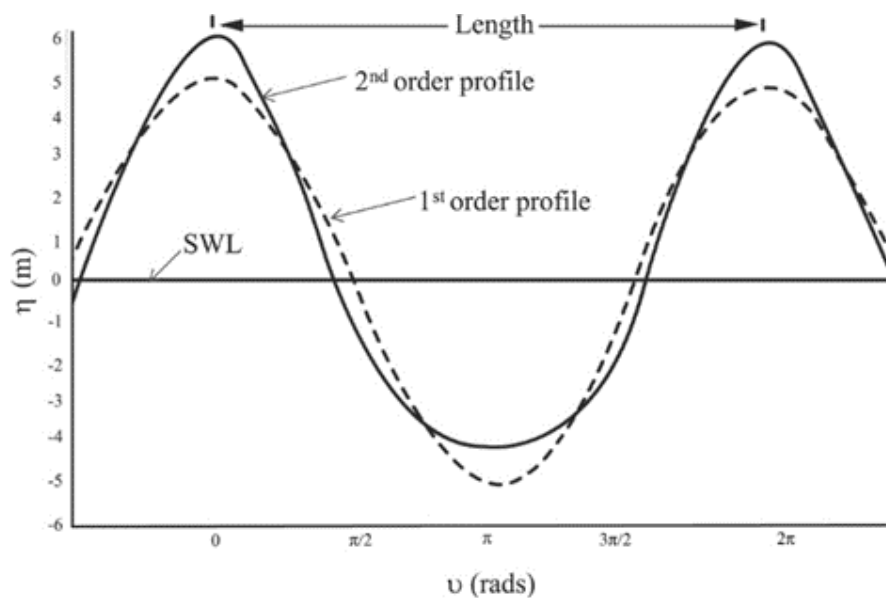
Kemudian kondisi batas yang digunakan agar teori ini bisa diaplikasikan ialah:

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 :

2.2.2 Teori Gelombang dengan Amplitudo Hingga (*finite*)

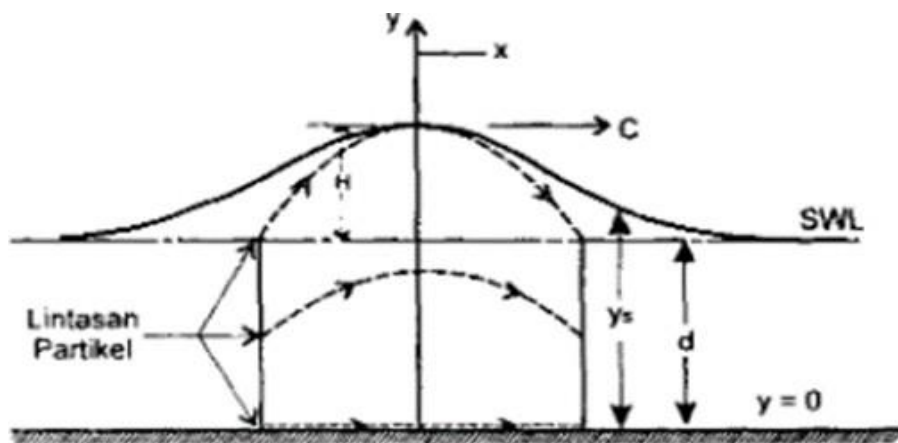
Teori gelombang ini dapat disebut juga sebagai teori *Stokes* yang merupakan modifikasi dari teori *Airy* yang tidak cukup pada keadaan gelombang yang besar. Perhitungan pada teori *Stokes* memakai konsep non-linearitas dan memiliki orde tinggi. Pada umumnya, semakin tinggi orde dari teori gelombang, 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 5 dapat dilihat perbedaan bentuk profil gelombang dengan teori *Airy* (Sundar, 2016)



Gambar 5. Perbandingan Profil Gelombang *Airy* dan *Stokes* (Sundar, 2016).

2.2.3 Teori Gelombang *Solitary*

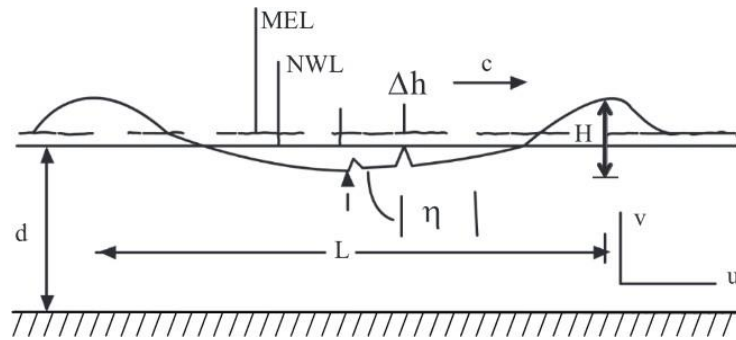
Pada kasus gelombang *solitary*, profil gelombangnya benar-benar berada di atas SWL dan bentuk *crest*-nya menjadi lebih tinggi dengan profil *trough* yang lebih mendatar menjadikannya tidak periodik serta memiliki panjang gelombang yang tidak jelas. Gelombang *solitary* merupakan sebuah gelombang translasi, dimana kecepatan partikel airnya hanya berpindah ke arah penjalaran gelombang. Gelombang *solitary* sangat berguna untuk pembelajaran tentang ombak yang sangat panjang seperti *tsunami*. Gambar 6 Menunjukkan sistem koordinat dari gelombang *solitary*.



Gambar 6. Profil Gelombang *Solitary*
(Sundar, 2016)

2.2.4 Teori Gelombang Knoidal

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 gelombang) dilakukan dengan menggunakan teori ini, yang sangat baik mendeskripsikan gerakan ombak pada perairan dangkal. Pada Gambar 7 dapat dilihat lebih jelas bentuk profil dari ombak knoidal.



Gambar 7. Profil Gelombang knoidal
(Sundar, 2016)

2.3 Gaya Hidrodinamika

Hidrodinamika didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari gerak fluida, khususnya zat cair yang tidak dapat ditekan (*incompressible liquid*) yang dipengaruhi oleh gaya eksternal dan internal. Hidrodinamika merupakan cabang dari mekanika fluida. Hidrodinamika terdiri dari beberapa konsep antara lain: momentum, kontinuitas, tekanan, viskositas, waktu, turbulensi, gesekan, koriolis, transpot, mekanisme gaya dan persamaan Navier Stokes (Cahyana, 2005).

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 di antara 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 *et al.*, 2022). Persamaan Morison adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung gaya hidrodinamika yang bekerja pada struktur di dalam permukaan fluida. Menurut Morison seperti pada persamaan dinyatakan bahwa gaya gelombang terdiri dari bagian gaya inersia (*inertia*) dan gaya hambatan (*drag*), yang digabungkan secara linier. Jika silinder sirkular terbenam dalam posisi horizontal, persamaan Morison dapat digunakan. Namun sebagai tambahan,

silinder akan mengalami gaya vertikal yang bergerak paling jauh ke atas dari dasar air (Kawengian *et al.*, 2018)

$$F = \frac{1}{2} \rho C_D u |u| + \rho C_M \frac{\pi D^2}{4} \frac{du}{dt} \quad (2.3)$$

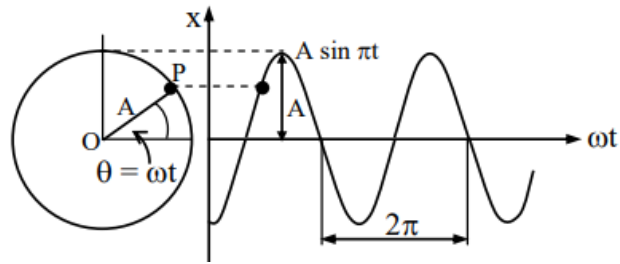
Dimana, ρ adalah massa jenis air, C_D adalah koefisien drag, C_M adalah koefisien inersia, u adalah kecepatan horizontal air, du/dt adalah percepatan horizontal air, dan D adalah diameter tabung.

2.4 Getaran

Getaran adalah gerakan yang berulang pada posisi keseimbangan selama periode waktu tertentu. Getaran adalah hasil dari gerak osilasi benda dan gaya yang menyertainya. Semua benda yang memiliki massa dan kekakuan mampu untuk bergetar. Medan magnet, ketidakseimbangan, interaksi, dan kontak gesekan adalah beberapa sumber getaran karena banyak struktur rekayasa teknik mengalami getaran pada tingkat tertentu, dan karena itu, saat merancang struktur, diperlukan untuk mempertimbangkan sifat osilasi struktur tersebut. Karena sifat struktural, geometri, dan kondisi batas dapat berubah dengan waktu, getaran bervariasi (Wilis *et al.*, 2022). Berdasarkan ada tidaknya gaya penyebab atau pengeksitasi sistem getaran, maka getaran dapat diklasifikasikan menjadi:

2.4.1 Getaran Harmonik

Getaran harmonik adalah gerakan bolak-balik dengan fokus satu titik dan jalur yang ditempuh selalu sama. "Respon harmonik" adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan bagaimana suatu sistem menanggapi eksitasi harmonik. Persamaan gerak sinusoidal getaran harmonik digunakan untuk menganalisis gerak periodik tertentu (Rao, 2011). Gerakan harmonik yang dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Gerak harmonik sebagai proyeksi sebuah titik yang bergerak melingkar
(Rao, 2011)

Perpindahan simpangan X dengan kecepatan sudut ω dapat dinyatakan dengan persamaan

$$X = A \sin \omega t \quad (2.4)$$

Dimana ω adalah frekuensi lingkaran (rad/detik). Karena gerak berulang dalam 2π radian, maka didapat persamaan

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (2.5)$$

Dengan f adalah frekuensi gerak harmonik yang dinyatakan dalam siklus per detik (hz) dan T adalah periode dari suatu gelombang (s).

2.4.2 Getaran Bebas

Dengan memberikan kondisi awal pada sistem, sistem yang bergetar bebas akan berosilasi pada satu atau lebih frekuensi naturalnya. Getaran bebas dikenal sebagai getaran yang terjadi apabila sistem berosilasi karena gaya dalam sistem itu sendiri bekerja tanpa gaya dari luar. Getaran bebas adalah fenomena yang dapat terjadi pada sistem apa pun yang memiliki massa dan kekakuan.

Persamaan diferensial seperti persamaan (2.6) terjadi jika sistem satu derajat kebebasan tidak memiliki gaya eksternal $f(t)$.

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = 0 \quad (2.6)$$

Solusi umum dari persamaan (2.6) dinyatakan dengan persamaan (2.7).

$$x(t) = C_1 e^{(-\zeta + \sqrt{\zeta^2 + 1})\omega_n t} + C_2 e^{(-\zeta - \sqrt{\zeta^2 + 1})\omega_n t} \quad (2.7)$$

Atau

$$x(t) = C e^{-\zeta\omega_n t} \sin(\omega_d t + \varphi) \quad (2.8)$$

Dimana

$$\omega_d = \sqrt{1 - \zeta^2} \cdot \omega_n \quad (2.9)$$

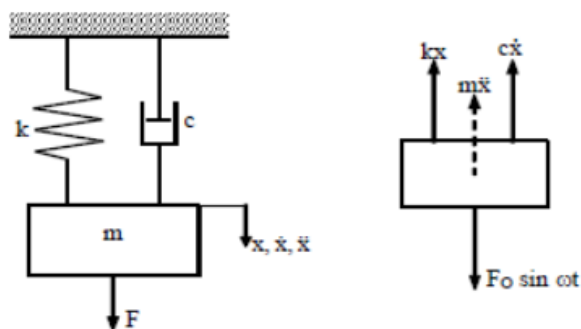
$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.10)$$

2.4.3 Getaran Paksa

Apabila sistem beresilasi karena stimulus gaya eksitasi dari luar, itu disebut getaran paksa. Jika gaya eksitasi adalah gaya harmonik yang beresilasi dengan frekuensi tertentu, sistem akan bergetar pada frekuensi tersebut. Namun, jika frekuensi gaya eksitasi sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka akan terjadi getaran besar yang dapat menyebabkan kerusakan atau kegagalan sistem.

Sistem satu derajat kebebasan, yang digambarkan pada Gambar 9, bekerja dengan gaya $F = F_0 \sin \omega t$ dan dapat dilihat pada persamaan (2.11)

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = F_0 \sin \omega t \quad (2.11)$$



Gambar 9. Sistem getaran paksa 1 derajat kebebasan (Rao, 2011)

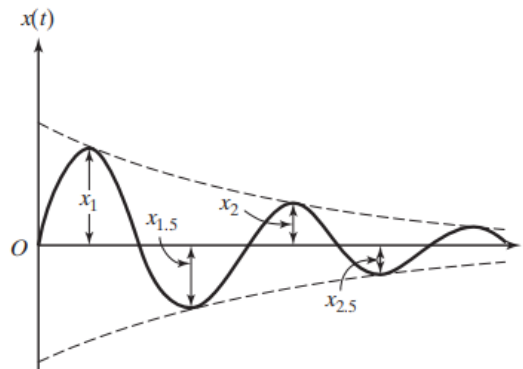
Solusi umum dari persamaan (2.11), dinyatakan dengan persamaan (2.12).

$$x(t) = X_0 e^{-\zeta \omega_n t} \sin(\omega_d t + \phi_0) + \frac{F_0}{\sqrt{(k-m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} \sin(\omega t - \phi) \quad (2.12)$$

Dimana

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{c\omega}{k-m\omega^2} \right) \quad (2.13)$$

Struktur SFT dapat dimodelkan seperti sebuah tabung yang terendam melayang di dalam permukaan air, sehingga redaman tidak dapat diabaikan karena ada fluida (air) di sekitar tabung. Koefisien redaman dapat dihitung menggunakan persamaan penurunan logaritmik δ , seperti yang ditunjukkan pada gambar 10 .



Gambar 10. Osilasi teredam
(Rao, 2011)

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{X_1}{X_{n+1}} \quad (2.14)$$

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{(2\pi)^2 + \delta^2}} \quad (2.15)$$

Jika rasio redaman sudah diketahui, maka nilai redaman C didapat menggunakan persamaan

$$C = \zeta \cdot c_c \quad (2.16)$$

Dimana ,

$$c_c = 2m\omega_n \quad (2.17)$$

BAB III

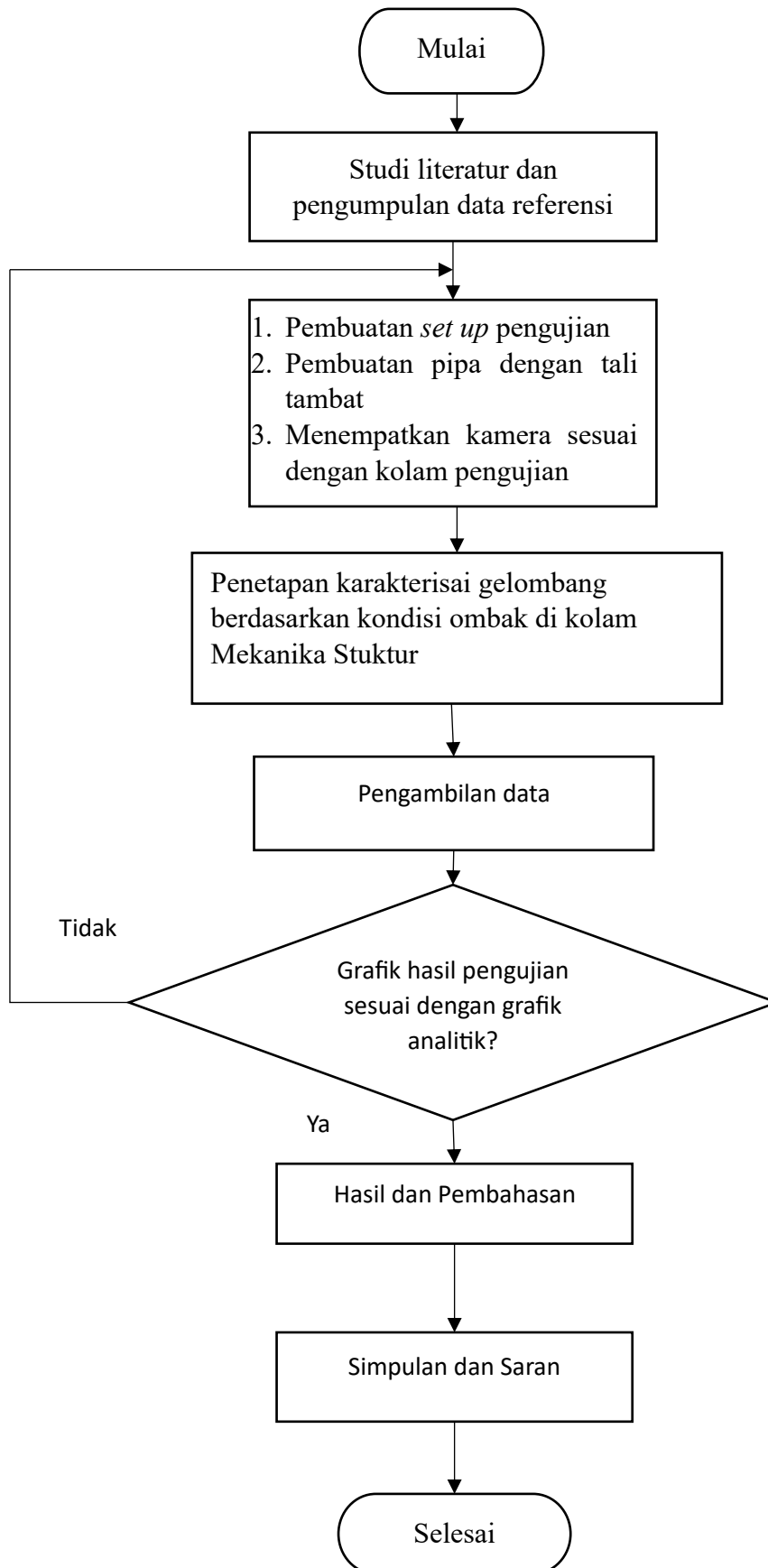
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan pada bulan Januari hingga Mei 2024. 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 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 dilakukan tahapan dari simulasi dan eksperimen.

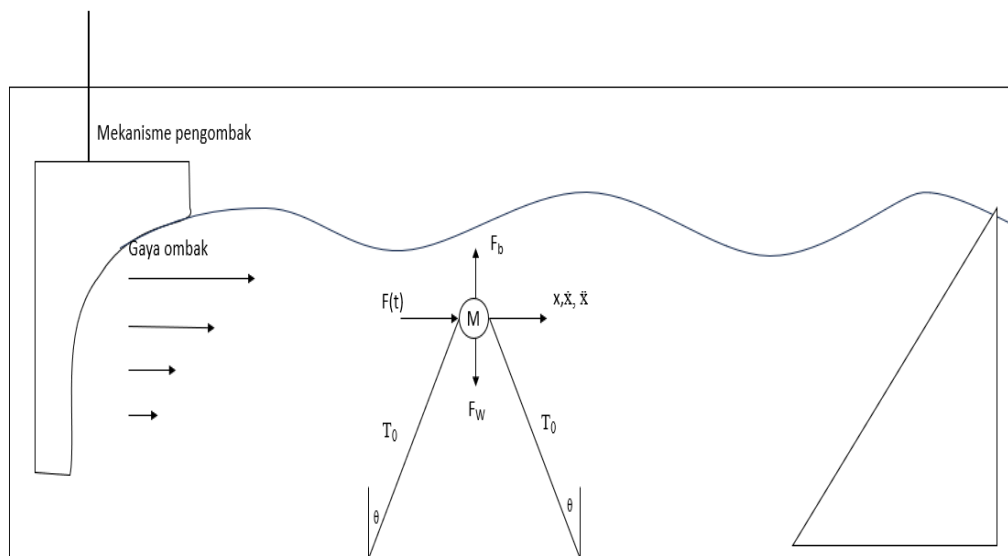
Perhitungan secara analitik dilakukan dengan menggunakan bantuan program MATLAB dan pengujian secara eksperimen menggunakan alat uji pemicu ombak yang sudah ada di Lab Mekanika Struktur. Sebelum data di proses lebih lanjut, kualitas data dinilai terlebih dahulu agar sesuai dengan teori. Grafik hasil eksperimental dan analitik lalu dibandingkan dan dianalisis. Analisis dilakukan dengan merujuk pada data referensi, dan terakhir dilakukan pelaporan kesimpulan penelitian yang disampaikan dalam laporan hasil akhir penelitian. Secara umum, alur penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Diagram alir penelitian

3.2 Model SFT

Adapun model SFT yang digunakan dalam pengujian eksperimen yaitu terdapat pada kolam pengombak dengan panjang 3,68 m, lebar 0,8 m dan tinggi 1m. Air yang digunakan pada kolam pengombak yaitu 0,6 m dengan SFT yang terbenam di bawah permukaan air sedalam 0,1 m. Mekanisme pengombak tersebut menggunakan motor listrik yang sudah di desain sedemikian rupa sehingga ketika motor listrik dinyalakan akan menghasilkan ombak dengan panjang gelombang, tinggi gelombang, periode dan frekuensi.



Gambar 12. SFT *with tension leg*

Dimana, $F(t)$ adalah gaya dalam satuan waktu, F_b adalah gaya apung, F_w adalah gaya berat, m adalah massa tabung, T_0 adalah tegangan awal tali, θ adalah sudut kemiringan tali. Kekakuan SFT meningkat dengan adanya tali tambat. Kekakuan tali tambat dihasilkan karena adanya kemiringan sumbu vertikal θ , tegangan awal T_0 , panjang tali tambat L_t , modulus elastisitas E , dan luas penampang tali tambat A . Persamaan untuk kekakuan tali tambat vertikal adalah (3.1) dan untuk kekakuan tali tambat miring adalah (3.2).

$$K_v = \frac{2T_0}{L_t} \quad (3.1)$$

$$K_h = \frac{2EA}{L_t} \sin^2 \theta \quad (3.2)$$

Kekakuan tali tambat akan mempengaruhi frekuensi alami.

3.3 Parameter Pengujian

Adapun parameter pengujian yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Parameter eksperimen

No	Parameter	Eksperimen	Satuan
1	Diameter	0,0508	m
		0,5	
2	Variasi massa	0,75	kg
		1	
		15	
3	Variasi sudut	30	°
		45	
4	Kedalaman	0,1	m

3.4 Metode Pengambilan data

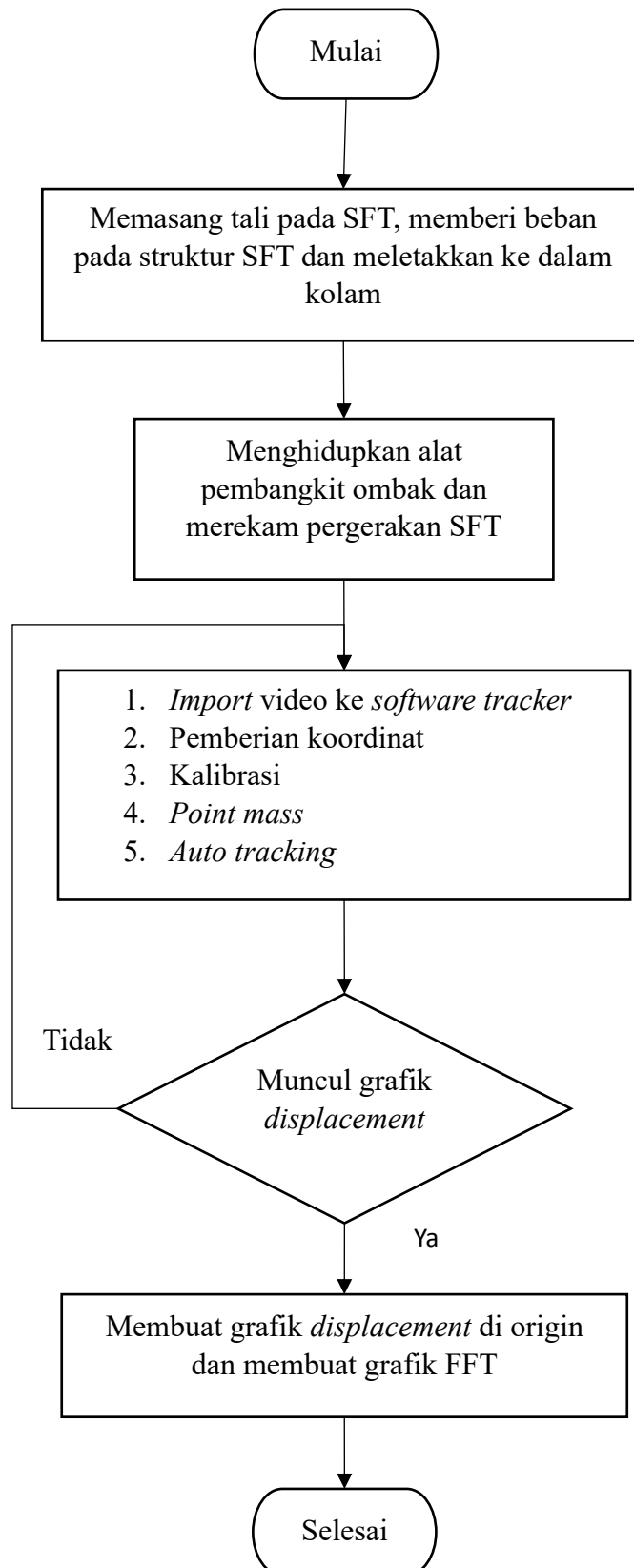
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui respon dinamik pada tabung akibat gangguan gelombang yang diuji secara eksperimental dari sebuah alat pembuat gelombang dengan variasi kemiringan tali tambat dan massa tabung. Hasil eksperimen ini kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan dengan MATLAB untuk memvalidasi respon dinamik yang terjadi pada tabung akibat gangguan gelombang oleh alat tersebut. Eksentrisitas yang digunakan adalah 2 cm dengan gelombang yang dihasilkan adalah gelombang *stokes*, amplitudo yang dihasilkan adalah 2,99 cm, panjang gelombang 51,98 cm, periode 0,544 s dan tinggi

gelombang 5,98 cm. Setup pengujian dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar.



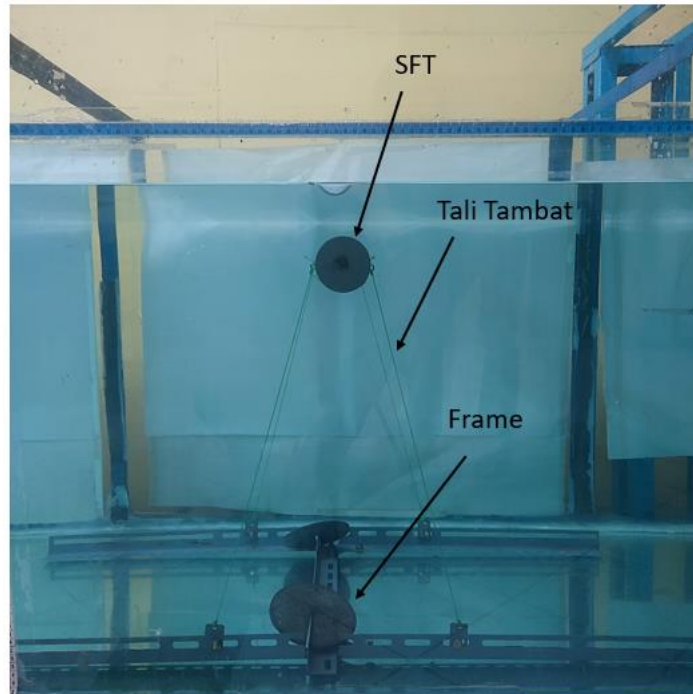
Gambar 13 *Set up* pengujian

Eksperimen dilakukan dengan mengamati pengaruh gelombang yang dihasilkan oleh alat pembuat gelombang terhadap media air sebagai objek uji. Set up pengujian respon dinamik SFT ini memiliki variasi kemiringan tali dan massa tabung. Beberapa asumsi yang digunakan adalah: gelombang memiliki parameter tinggi, panjang, dan frekuensi sesuai pengamatan visual, dan analisis data berdasarkan gerakan objek secara langsung. Hasil eksperimen akan digunakan untuk validasi dengan membandingkan hasil analitik yaitu dengan membandingkan grafik yang diperoleh. Dalam pelaksanaan eksperimen, dilakukan beberapa tahap pengolahan data yaitu dengan menampilkan data selama 12 detik dan pada kondisi yang sudah stabil kemudian data tersebut di *input* ke dalam *software* origin dan dibuat ke dalam bentuk *Fast Fourier Transform* (FFT). Eksperimen dimulai dari pembuatan objek uji, penyetelan eksentrisitas alat gelombang, hingga pengambilan data. Secara rinci, tahapan pengambilan data secara eksperimen dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 14 .



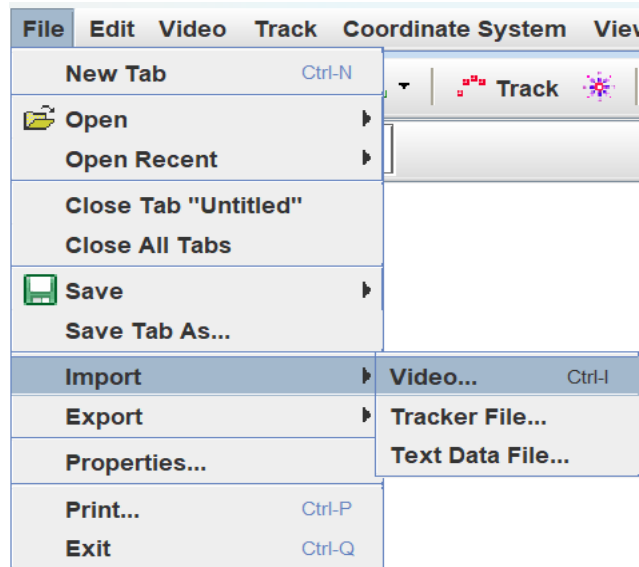
Gambar 14. Diagram alir metode penelitian

- a) Menyiapkan objek uji dengan perbedaan sudut kemiringan tali tambat tabung dan massa tabung dan meletakkan objek uji ke dalam kolam media ombak. Gambar 15 menunjukkan tampilan objek uji dalam penelitian.



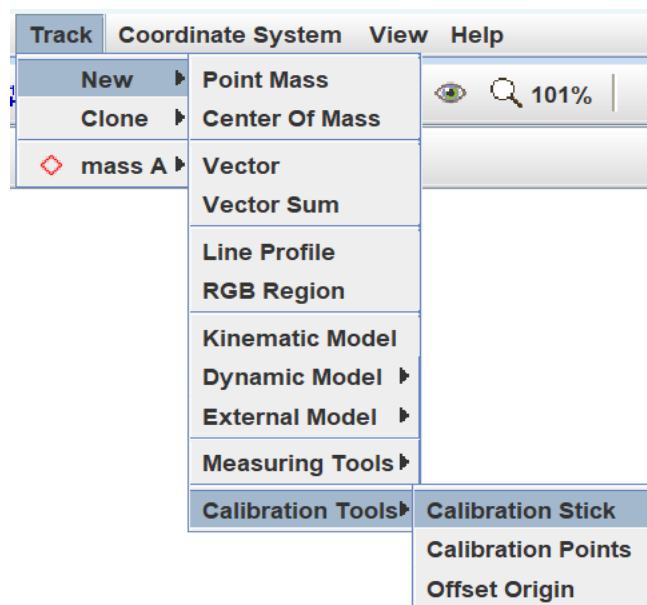
Gambar 15. Tampilan objek uji

- b) Menghidupkan penggerak media ombak dan melakukan pengambilan video. Adapun proses pengambilan data dengan *tracker* secara lebih rinci adalah sebagai berikut:
1. Perpindahan objek uji dari posisi keseimbangan dilakukan dengan membuat media objek uji yang dimasukkan ke dalam media penggerak ombak. Perpindahan objek uji akibat gelombang direkam, kemudian dilakukan pembacaan data dengan aplikasi *video tracker*.
 2. Memasukkan data dimulai dengan membuka *file* pada aplikasi *tracker*. Kemudian memilih di dalam *folder* di mana *file video* tersimpan. Proses ini dilakukan dengan membuka *file > import > video*. Gambar 16 merupakan langkah awal memasukkan data.



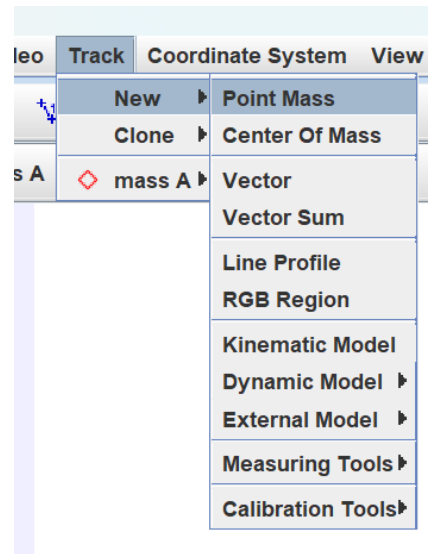
Gambar 16. *Import video*

3. Pemberian titik koordinat dilakukan dengan menu *stick>coordinate*, hal ini berfungsi untuk menentukan peletakan arah sumbu x dan y dalam pembacaan perpindahan.
4. Kalibrasi *stick* digunakan untuk mengetahui acuan skala pergerakan terhadap sumbu x. proses ini dilakukan dengan mengklik *calibration tools > mengubah nama tools > memberikan ukuran sesuai skala*. Gambar 17 merupakan proses kalibrasi *stick*.



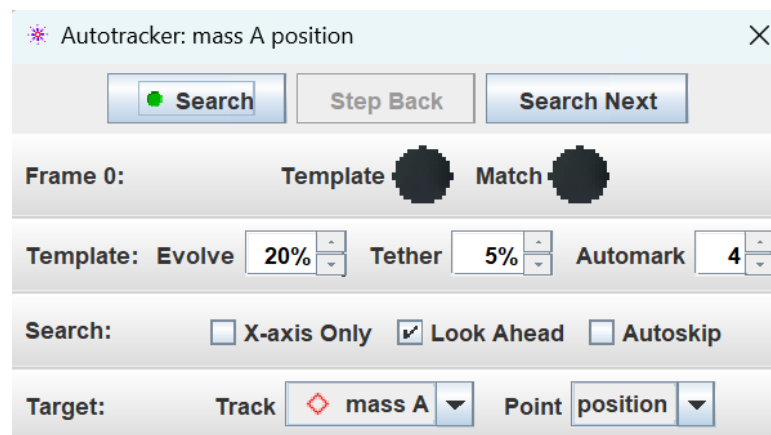
Gambar 17. Kalibrasi *stick*

5. *Point mass* merupakan penentuan koordinat objek yang akan diamati dilakukan dengan menggunakan menu *track > new > point mass*. Proses pembacaan data dilakukan berulang kali sesuai dengan kedalaman yang berbeda. Gambar 18 berikut merupakan proses pembuatan *point mass*.



Gambar 18. *Point mass*

6. *Auto tracking* merupakan pembacaan data dilakukan secara otomatis dengan cara menentukan titik tengah *point mass* dengan menekan *ctrl + shift > klik objek yang akan diamati secara bersamaan kemudian klik search* maka *auto tracking* siap dilakukan. Gambar 19 menunjukkan proses *auto tracking*.



Gambar 19. *Auto tracking*

BAB V

PENUTUP

3.1 Simpulan

Dari hasil eksperimen yang telah diperoleh, maka penulis dapat menyimpulkan bahwa respon dinamik yang diterima pada tabung memiliki perbedaan pada setiap variasi kemiringan tali tambat dan massa tabung. Semakin miring sudut tali tambat maka perpindahan posisi struktur akibat gaya gelombang akan semakin kecil dan semakin kecil sudut kemiringan tali tambat maka perpindahan posisi struktur akibat gaya gelombang akan semakin besar, hal tersebut diakibatkan karena sudut yang besar dapat menahan gaya yang diterima struktur supaya tetap pada kondisi awal sedangkan sudut yang kecil atau mendekati tegak lurus susah untuk menahan struktur supaya dalam kondisi semula akibat gaya gelombang. Sudut kemiringan tali tambat 45 derajat adalah sudut yang terbaik dibandingkan dengan sudut kemiringan tali tambat 30 derajat dan 15 derajat. Massa tabung memiliki pengaruh yang sangat signifikan yaitu semakin berat massa maka perpindahan yang diakibatkan gelombang semakin besar, hal tersebut diakibatkan karena massa dapat mempengaruhi kekakuan dari tali tambat yang diakibatkan gaya apung yang semakin kecil dan hal tersebut yang sangat mempengaruhi perpindahan posisi struktur SFT. Massa 0,5 kg mendapatkan *displacement* yang kecil pada setiap variasi sudut kemiringan tali tambat dibandingkan dengan massa 1 kg. Penelitian ini merekomendasikan rancangan SFT dengan sudut miring tali tambat yang sebesar mungkin dan massa silinder yang sekecil mungkin, namun dengan batasan-batasan yang ada di lapangan.

3.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan penulis untuk keberlanjutan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Disarankan untuk dilakukannya penelitian lebih lanjut dengan menggunakan variasi desain tali tambat, supaya dapat mengetahui desain tali tambat yang efektif.
2. Disarankan untuk dilakukannya penelitian lebih lanjut dengan menggunakan tabung yang berbentuk elips supaya dapat mengetahui getaran yang disebabkan oleh gelombang terhadap struktur SFT akan semakin kecil atau semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahrens, & Donna. 1997. Submerge Floating Tunnel : a concept whose time arrived. . *Tunneling And Underground Space Technology*, 12.
- 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.
- Aprili, A. I., Tugiono, S., Zakaria, A., & Wahono, E. P. 2021. Analisis Kinerja Redaman Gelombang pada Breakwater Tenggelam Tipe Berlubang dengan Pemodelan Fisik 2D. *JRSDD*, 9(1), 189–200.
- Beseto, H., Mairizal, & Yulindasari, H. 2018. Studi Kelayakan Penerapan Submerged Floating Tunnel Sebagai Alternatif Jembatan Penyeberangan Selat Lombok. *Jurnal HPJI*, 4(2), 103–112.
- Bruschi, G., Nishioka, T., Tsang, K., & Wang, R. 2003. *A Comparison Of Analytical Methods Drag Coefficient Of A Cylinder*.
- Cahyana, C. 2005. Model Hidrodinamika Laut. *Buletin Limbah*, 10(1), 24–32.
- Damayanti, F., Utomo, W. P., & Muslim. 2019. Kajian Teknis Submerged Floating Tunnel Sebagai Alternatif Jembatan Penyeberangan Antar Pulau di Indonesia. *Jurnal Transportasi*, 19(2), 115–122.

- Djalal, D. P. 2011. Geostrategi Laut dan Samudera Indonesia. *Jurnal Luar Negeri*, 48(1), 111–132.
- Ewen, D., Schurter, N., & Gundersen, P. E. 2012. *Applied physics*. Boston: Prentice Hall
- Jin, X., & Wang, Z. 2021. Hydroelastic Analysis of A Submerged Floating Tunnel Under Hydrodynamic Loads. *Marine Structures*.
- Kawengian, S., Balamba, S., & Sarajar, A. N. 2018. Analisis Daya Dukung Lateral Pada Tiang Pancang Kelompok Di Dermaga Belang. *Jurnal Sipil Statik*, 6(9), 683–692.
- Mamoto, J. D., Jasin, M. I., & Tawas, H. J. 2013. Perencanaan Jetty di Muara Sungai Ranoyapo Amorang. *Jurnal Sipil Statik*, 1(6).
- Mazzolani, F. M., Landolfo, R., Faggiano, B., Esposito, M., Perroti, F., & Barbella, G. 2008. Structural Analyses of the Submerged Floating Tunnel Prototype in Qiandao Lake (PR of China). *Advances in Structural Engineering*, 11(4), 439–454.
- Nadia, A. F., Nur, S., Shofwatul, F., Kartika, C. S., & Siti, F. 2023. *Analisis Gelombang Bunyi Melalui Alat Peraga Sederhana dan Relevansinya dalam Pembelajaran di SD*. Universitas Sebelas Maret.
- Rao, S. S. 2011. *Mechanical vibrations*. Prentice Hall.
- Rofiq, S. A., Rusdhianto, E. A., & Sulisetyono, A. 2014. Perancangan Sistem Pengaturan Kestabilan Autonomous Underwater Vehicle (AUV) untuk Gerak Lateral Menggunakan Sliding Mode Control (SMC). *Jurnal Teknik Pomits*, 3(1), 19–24.
- Sundar, V. 2016. *Ocean wave mechanics : applications in marine structures*.

- Tjahjanto, E. 2017. Studi Potensi Penerapan Submerged Floating Tunnel di Indonesia. *Jurnal Penelitian Transportasi Laut* , 21(1), 1–12.
- Tveit Per. 2010. *Submerged floating tunnels (SFTs) for Norwegian fjords*. Docent Emeritus, Agder University, N-4876 Grimstad.
- Wilis, G. R., Hidayat, R., Santosa, I., Mustaqim, & Chamim, M. 2022. *Analisis Getaran pada Alat Peraga 1 Derajat Kebebasan dengan Penambahan Peredam*. 13(2), 42–50.
- Wilson, B. W. 1963. *Condition of Existence for Types of Tsunami waves*. (XIII). University of California.
- Zdravkovich, M. M. 1985. *Forces on a circular cylinder near a plane wall*.
- Zhang, H., Yang, Z., Li, J., Yuan, C., Xie, M., Yang, H., & Yin, H. 2021. A global review for the hydrodynamic response investigation method of submerged floating tunnels. In *Ocean Engineering* (Vol. 225). Elsevier Ltd.
- Zhang, M., Wu, C., Zhang, X., & Wang, H. 2021. Review on Hydroelastic Responses of Long-span Bridges and Submerged-floating Tunnels Under Hydrodynamic Loads. *Journal of Hydrodynamics*, 33(4), 657–674.