

**STUDI KOMPARASI RESPON DINAMIK ANTARA TLP PONTON
BERTELAPAK LINGKARAN DENGAN TLP PONTON BERTELAPAK
PERSEGI PADA ARAH GELOMBANG SURGE**

(Skripsi)

**Oleh:
DWI FAJRI KEMALA INTAN
1615021003**



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

Oleh

Dwi Fajri Kemala Intan

Tension leg platform (TLP) adalah salah satu *compliant structures* yang efektif untuk perairan dalam, dengan ciri khasnya tendon yang bertegangan tarik. Salah satu penilaian kelayakan struktur TLP adalah perilaku dinamisnya terhadap beban lingkungan, terutama beban gelombang. Skripsi ini membandingkan antara dua TLP dengan konfigurasi telapak kaki yang berbeda, bertelapak kaki lingkaran (TLP Lingkaran) dan yang lainnya adalah bertelapak kaki persegi (TLP Persegi) dengan volume dan beban yang sama. Karena berada pada aliran transisi gelombang horizontal (*surge*), maka digunakan pendekatan teori getaran metode ayunan bandul pada struktur TLP. Data hasil yang didapatkan dengan metode eksperimen menggunakan bantuan sensor ultrasonic dan video tracker sedangkan untuk data hasil yang didapatkan dengan metode analitikal menggunakan bantuan software Matlab. Analisis respon dinamik dari struktur disajikan dalam bentuk kurva *displacement* terhadap waktu. Hasil perbandingan respon dan beban gelombang dengan menggunakan dua metode tersebut memiliki hasil yang mendekati, yakni dibawah 5%. Hasil perbandingan respon pada kedua TLP menimbulkan perbedaan yang signifikan pada nilai *displacement* untuk arah gangguan *surge* dan *yaw*.

Kata Kunci — analitik, eksperimen, *displacement*, TLP ponton bertelapak lingkaran, TLP ponton bertelapak persegi.

**STUDI KOMPARASI RESPON DINAMIK ANTARA TLP PONTON
BERTELAPAK LINGKARAN DENGAN TLP PONTON BERTELAPAK
PERSEGI PADA ARAH GELOMBANG SURGE**

Oleh:

DWI FAJRI KEMALA INTAN

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2022**

Judul Skripsi

**: STUDI KOMPARASI RESPON DINAMIK
ANTARA TLP PONTON BERTELAPAK
LINGKARAN DENGAN TLP PONTON
BERTELAPAK PERSEGI PADA ARAH
GELOMBANG SURGE**

Nama Mahasiswa

: Dwi Fajri Kemala Intan

Nomor Pokok Mahasiswa : 1615021003

Jurusan

: Teknik Mesin

Fakultas

: Teknik



Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.

NIP. 19690801 199903 1 002

Novri Tanti, S.T., M.T.

NIP. 19701104 199703 2 001

MENGETAHUI

**Ketua Jurusan
Teknik Mesin**

**Ketua Program Studi
S1 Teknik Mesin**

Dr. Amrul, S.T., M.T.

NIP. 19710331 199903 1 003

Novri Tanti, S.T., M.T.

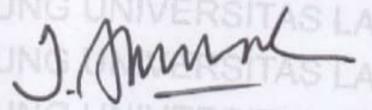
NIP. 19701104 199703 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

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



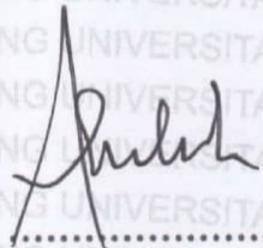
Anggota Penguji

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



Penguji Utama

: Asnawi Lubis, 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: 6 April 2022

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, 06 April 2022



Dwi Fajri Kemala Intan
NPM.1615021003

**DENGAN MENYEBUT NAMA ALLAH SWT YANG MAHA PENGASIH
DAN MAHA PENYAYANG**

KARYA TULIS INI DIPERSEMBAHKAN KEPADA

Kedua Orang Tua serta Keluarga Yang Terkasih

Dan

Semua Yang Selama Ini Telah Mendukung, Mendidik, dan Membimbing Penulis

Terima Kasih Banyak

SANWACANA

Assalamu'alaikum Warahmatullohi Wabarokatuh

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas rahmat, hidayah, dan lindungan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan skripsi dengan lancar dan tetap dalam keadaan sehat. Shalawat serta salam tak lupa penulis sanjungkan kepada Nabi Muhammad ﷺ yang telah membimbing umatnya menuju kehidupan yang berakhlak dan berilmu yang baik sehingga dapat menjalani kehidupan dengan baik dan benar. Skripsi ini dibuat sebagai tanda hasil pengerjaan tugas akhir yang penulis lakukan. Diharapkan karya tulis ini dapat menjadi salah satu bentuk perkembangan dalam ilmu di bidang mekanika, terkhusus 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. Selesainya skripsi ini tidak luput dari bantuan, bimbingan dan arahan dari semua pihak, oleh karena itu penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis, Bapak Malik Umar (Alm) dan Ibu Maysaroh (Almh) yang selalu menjadi motivasi penulis sehingga penulis dapat tetap bersemangat dalam menjalankan serta menyelesaikan studi Teknik Mesin.
2. Dr. Amrul, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
3. 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.

4. Ibu Novri Tanti, S.T., M.T., selaku Ketua Prodi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung sekaligus Dosen Pembimbing II yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
5. Dr. Asnawi Lubis selaku kepala Laboratorium Mekanika Struktur sekaligus Penguji yang telah bersedia mengoreksi serta memberi masukan kepada 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. Abang penulis Rangga Kemala Intan yang telah mensupport dan memberikan dukungan materil, doa dan semangat untuk menyelesaikan skripsi ini.
9. Adik Penulis Mutiara Ayu Pengukir Kemala Intan, Rizki Putra Kemala Intan, Aprilia Putri Kemala Intan dan Farid Adinata Ramadhan Kemala Intan dan seluruh keluarga penulis yang telah memberikan dukungan dan doa untuk menyelesaikan skripsi ini.
10. Afrilianti Ohorella yang telah mendukung, membantu menyelesaikan masalah, memberikan doa, dan memberikan semangat kepada penulis sehingga mampu menyelesaikan skripsi.
11. Tim Laboratorium Mekanika Struktur, terkhusus pada anggota AQUASCAPE Laboratory, Panji, Ardi, Zaky, Kak Adam, Eno, dan Yoki, yang telah bersama dan membantu segala suka duka proses pengerjaan skripsi.
12. Teman-teman, sahabat, serta grup Keluarga Kecil yang telah menemani penulis sejak SMA, berbagi rasa di setiap jatuh bangun proses menjalani kehidupan.
13. Teman-teman Angkatan 2016 yang telah ada menemani, mendengarkan keluhan, memberikan motivasi, dan memberi dorongan semangat.
14. 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.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, Provinsi Lampung pada tanggal 25 November 1998 sebagai anak kedua dari 6 bersaudara, dari pasangan Bapak Malik Umar (Alm) dan Ibu Maysaroh (Almh). Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN 2 Sukabumi Bandar Lampung hingga tahun 2010, lalu dilanjutkan di SMPN 29 Bandar Lampung yang diselesaikan tahun 2013, dan SMA Perintis 2 Bandar Lampung yang diselesaikan tahun 2016, hingga pada tahun 2016 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung melalui Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Ketua Umum. Selain aktif dalam HIMATEM, penulis juga pernah menjadi bagian dari Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM-FT) periode 2016/2017, sebagai staf bidang Komunikasi dan Informasi, serta staf magang dari Badan Eksekutif Mahasiswa Universitas Lampung (BEM-U) dengan posisi yang sama.

Penulis pernah melakukan kerja praktek (KP) di **PT. BUKIT ASAM Tbk**, Muara Enim, Sumatra Selatan tahun 2019 dengan judul laporan *“Analisis Tahanan Sabuk Dan Daya Motor Yang Diperlukan Pada Belt Conveyor System Jalur CE 32 Di CHF 1 Area Tambang Air Laya Satuan Kerja Perawatan Mesin PT. Bukit Asam Tbk.Tanjung Enim Sumatera Selatan”*. Kemudian pada tahun 2021 penulis melakukan penelitian dengan judul **STUDI KOMPARASI RESPON DINAMIK ANTARA TLP PONTON BERTELAPAK LINGKARAN DENGAN TLP PONTON BERTELAPAK PERSEGI PADA ARAH GELOMBANG SURGE** dibawah bimbingan Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T. dan Novri Tanti, S.T., M.T.

Daftar Isi

ABSTRAK.....	ii
SANWACANA.....	viii
RIWAYAT HIDUP.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian Tension Leg Platform.....	5
2.1.1 Gaya Gelombang Yang Terjadi Pada Tension Leg Platform	6
2.1.2 Teori Morison	7
2.2 Teori Ombak	8
2.2.1 Teori Ombak Linier	10
2.2.2 Kinematika Partikel Air.....	12
2.2.3 Distribusi Tekanan.....	14
2.3 Konsep Getaran	16
2.4 Teori Getaran Metode Ayunan Bandul (Pendulum)	17
2.5 <i>Response Amplitude Operator (RAO)</i>	20
2.6 Teori Stabilitas	21
2.7 Parameter dalam Stabilitas	24
2.8 Gaya Apung (Buoyancy).....	24
2.9 MATLAB	25
BAB III METODELOGI PENELITIAN.....	27
3.1 Waktu dan Tempat	27
3.1.1 Waktu Penelitian.....	27

3.2 Tahapan Penelitian	27
3.2.1 Studi Literatur	28
3.2.2 Persiapan Alat	28
3.2.3 Pengujian	28
3.2.4 Analisis dan Pengolahan Data	28
3.2.5 Pembuatan Laporan Akhir	28
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	28
3.4 Metode Pengujian.....	31
3.5 Metode Pengambilan Data	34
3.5.1 Sensor <i>Ultrasonic</i>	34
3.5.2 Tracker	36
3.6 Desain Kolam Ombak	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Validasi Alat Uji.....	41
4.2 Analisis Perbandingan Gerakan TLP Bertelapak persegi dengan TLP Bertelapak lingkaran	42
4.3 <i>Displacement</i> Pada TLP Ponton Bertelapak persegi dan Ponton Bertelapak lingkaran arah Surge	43
4.4 Perbandingan TLP Ponton Bertelapak persegi Vs TLP Ponton bertelapak lingkaran	45
4.5 Perbandingan Masing-masing TLP dengan Variasi Sudut.....	47
BAB V PENUTUP	51
5.1. Kesimpulan.....	51
5.2. Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN	56

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Parameter Ombak.....	41
Tabel 2. Karakteristik Model TLP	43
Table 3. Data Nilai Maksimum <i>Displacement</i> dan RAO TLP Ponton Bertelapak persegi Vs TLP Ponton Bertelapak lingkaran.....	49
Tabel 4. Perbandingan <i>Displacement</i> maksimum dalam Pengujian Di Gelombang Insiden yang sama.....	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Tension Leg Platform.....	1
Gambar 2. Komponen Tension Leg Platform.....	5
Gambar 3. Sistem koordinat global dan arah guncangan.....	6
Gambar 4. Profil Permukaan Ombak.....	8
Gambar 5. validasi untuk bermacam teori ombak	9
Gambar 6. parameter dan profil ombak.	10
Gambar 7. Variasi Kecepatan partikel air terhadap kedalaman.....	13
Gambar 8. Variasi lintasan partikel air, (a) Laut dangkal, (b) Laut menengah, (c) Laut dalam.....	14
Gambar 9. Distribusi tekanan hidrostatis dan dinamik.	15
Gambar 10. Getaran sederhana dari ayunan bandul.....	17
Gambar 11. model gerakan metode bandul pada struktur TLP	18
Gambar 12. Bentuk Umum Grafik Respon Gerakan Bangunan	21
Gambar 13. Tiga Kondisi Kestabilan.....	22
Gambar 14. Contoh Titik Berat Sebuah Benda Terapung	22
Gambar 15. Letak Titik Berat di Air.....	23
Gambar 16. Letak Titik Metacenter	23
Gambar 17. Parameter yang di gunakan dalam Perhitungan	24
Gambar 18. Alur Penelitian.....	30
Gambar 19. Skema Model TLP	31
Gambar 20. Geometri kolam ombak dan konfigurasi alat uji yang digunakan	32
Gambar 21. Konfigurasi alat uji yang dipakai	32
Gambar 22. Geometri TLP yang digunakan.	33
Gambar 23. Sketch Data Program Arduino Uno	35
Gambar 24. Data Acquistion (PLX-DAQ).....	35
Gambar 25. Contoh Hasil Data Menggunakan Sensor Ultrasonic.....	36
Gambar 26. Langkah Memasukkan Data.....	36
Gambar 27. Pengaturan Gradient Warna	37
Gambar 28. Titik Kordinat Pada TLP	37
Gambar 29. Kalibrasi Stick.....	38
Gambar 30. Point Mass	38

Gambar 31. Auto Tracking	39
Gambar 32. Contoh Hasil Percobaan Video Tracker.....	39
Gambar 33. Kolam Ombak	40
Gambar 34. Grafik Perbandingan <i>Displacement</i> Pada Arah Surge TLP Bertelapak persegi.....	43
Gambar 35. Grafik Perbandingan <i>Displacement</i> Pada Arah Surge TLP Bertelapak lingkaran	44
Gambar 36. Grafik Perbandingan <i>Displacement</i> TLP bertelapak persegi Vs TLP Bertelapak lingkaran Menggunakan Aplikasi Tracker	45
Gambar 37. Grafik Perbandingan <i>Displacement</i> TLP bertelapak persegi Vs TLP Bertelapak lingkaran Menggunakan Sensor Ultrasonic.....	45
Gambar 38. Grafik Perbandingan <i>Displacement</i> TLP bertelapak persegi Vs TLP Bertelapak lingkaran Menggunakan Numerik.....	46
Gambar 39. Grafik Perbandingan <i>Displacement</i> Sudut TLP Bertelapak persegi Menggunakan Tracker	47
Gambar 40. Grafik Perbandingan <i>Displacement</i> Sudut TLP Bertelapak lingkaran Menggunakan Tracker	47
Gambar 41. Grafik Perbandingan Besar Perpindahan Sudut Pada TLP Bertelapak persegi dengan TLP Bertelapak lingkaran.....	49
Gambar 42. Grafik Diagram Perbandingan RAO <i>Displacement</i> maksimum TLP Ponton Bertelapak persegi Vs Ponton Bertelapak lingkaran	49
Gambar 43. Grafik Diagram Perbandingan <i>Displacement</i> maksimum Yaw TLP Ponton Bertelapak persegi Vs Ponton Bertelapak lingkaran	50

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tension Leg Platform (TLP) adalah salah satu jenis *compliant structure* yang merupakan tambatan tether/tendon yang diikat ke dasar lautan. Keistimewaan yang membedakan struktur TLP dengan bangunan laut yang lainnya adalah pada *buoyancy* cadangannya. Dengan gaya apung yang melebihi berat struktur TLP dan moori vertikal yang disebut tendon akan mempertahankan TLP secara vertikal tetap stabil dan mengendalikan gerakan *heave*. Sifat alami TLP adalah kurang sensitif terhadap bertambahnya kedalaman perairan dan dengan demikian mengurangi pembiayaan pada instalasi di lapangan. Komponen utama dari struktur TLP terdiri dari *deck*, *ponton*, tali *tendon*, dan pondasi (lihat Gambar 1). Struktur TLP memiliki ciri-ciri bagian *deck* mengapung sedangkan bagian *ponton* tenggelam di dalam air laut yang ditambatkan menggunakan tali baja (*tendon*) ke dasar laut.



Gambar 1 Tension Leg Platform (Sagita, 2019)

Dalam perumusan persamaan gerak bangunan apung diperlukan perhitungan beban lingkungan. Beban lingkungan yang ditinjau dalam penelitian ini

adalah beban yang secara umum merupakan beban dominan, yaitu beban gelombang. Pada jenis struktur laut dalam dan asumsi-asumsi yang mendasari desain, perhitungan gaya gelombang dapat dilakukan dengan menggunakan teori gelombang difraksi. Namun, ketika rasio panjang gelombang dengan diameter bertelapak lingkaran besar, maka persamaan Morison akurat dalam menghitung beban gelombang pada bertelapak lingkaran. Beberapa studi dalam menghitung kekuatan drag juga menggunakan persamaan Morison (Cendrawani dkk, 2012).

Menurut Cendrawani dkk (2012), Karakteristik dari TLP adalah respon keseluruhan struktur TLP yang ikut bergerak bersama gelombang atau sifatnya tidak menahan gelombang. Menurut Djatmiko dkk (2012), salah satu persoalan yang terjadi pada TLP adalah respon dinamik (goncangan) yang diakibatkan oleh gelombang laut. Goncangan ini pada taraf tertentu berpotensi merusak struktur dan peralatan pengeboran minyak. Bentuk kerusakan terutama terjadi akibat kelelahan (*fatigue*), baik pada komponen struktur utama maupun struktur sekunder dan tersier.

Beberapa penelitian lain yang telah dilakukan dengan lingkup yang sama yaitu, Lesmana (2002) melakukan beberapa eksperimen kecil guna mengetahui respon dinamis *Tension Leg Platform* pada gelombang reguler, dengan hasil akhir bahwa adanya perbedaan bentuk akan mempengaruhi respon terhadap gelombang terlihat dari grafik RAO. Safitri (2016) melakukan analisis pada respon gerak ponton dan pendulum vertikal pada (PLTG-SB), dengan hasil akhir bahwa berdasarkan grafik respon (RAO), ponton skala laboratorium pada penelitian tersebut akan menghasilkan gerakan maksimal untuk menggerakkan pendulum jika diletakkan pada frekuensi gelombang tertentu. Djatmiko dkk (2012) melakukan analisis dengan mengkomparasi perilaku dinamis 2 TLP dengan pendekatan berdasarkan teori Morison dan Difraksi, didapatkan hasil akhir bahwa perhitungan beban gelombang pada kedua TLP mempunyai perbedaan yang

tidak signifikan. Perhitungan yang diuji adalah perhitungan RAO pada arah *heave*.

Berangkat dari pesatnya perkembangan struktur kelautan, potensi geografis Negara Indonesia, dan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, oleh sebab itu maka pada penelitian ini akan dianalisis perilaku dan respon dinamis yang terjadi pada sebuah TLP dengan model ponton bertelapak lingkaran. Hasilnya akan dibandingkan dengan TLP model ponton bertelapak persegi dengan variasi sudut sebagai gambaran geometri laut. Harapannya dengan penelitian ini dapat menjadi gambaran untuk pengembangan struktur kelautan di masa mendatang.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang timbul adalah bagaimana pengaruh perubahan geometri *TLP* dalam bentuk ponton bertelapak lingkaran dan ponton bertelapak persegi pada respon dinamis yang terjadi untuk arah gerakan gelombang *surge* akibat beban gelombang.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membandingkan hasil respon dinamik model TLP bertelapak lingkaran dengan model TLP bertelapak persegi.
2. Membandingkan besarnya nilai *displacement* model TLP bertelapak lingkaran dan TLP bertelapak persegi pada arah *surge*
3. Membandingkan mana yang lebih baik TLP ponton bertelapak persegi dengan TLP Ponton Bertelapak lingkaran

1.4 Manfaat

Dari analisis dan bantuan *software* yang dilakukan untuk TLP dengan berbagai bentuk ponton yang berbeda akan diketahui respon dinamis gerakan *surge* akibat beban gelombang regular.

1.5 Batasan Masalah

Struktur *Tension Leg Platform* merupakan salah satu struktur yang kompleks dalam input data dan analisisnya sehingga pada penelitian ini diberikan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Analisis yang dilakukan hanya respon dinamik dari struktur yang disajikan dalam bentuk kurva *displacement* terhadap waktu.
2. Analisis respon dinamik dilakukan dengan arah gangguan ombak horizontal (*surge*). Ini didasarkan pada kenyataan bahwa respon vertikal (*heave*) relatif lebih kecil karena dibatasi tegangan tali *tendon*.
3. Eksperimen dilakukan hanya pada model TLP Bertelapak lingkaran dan bertelapak persegi dalam skala laboratorium.

1.6 Sistematika Penulisan

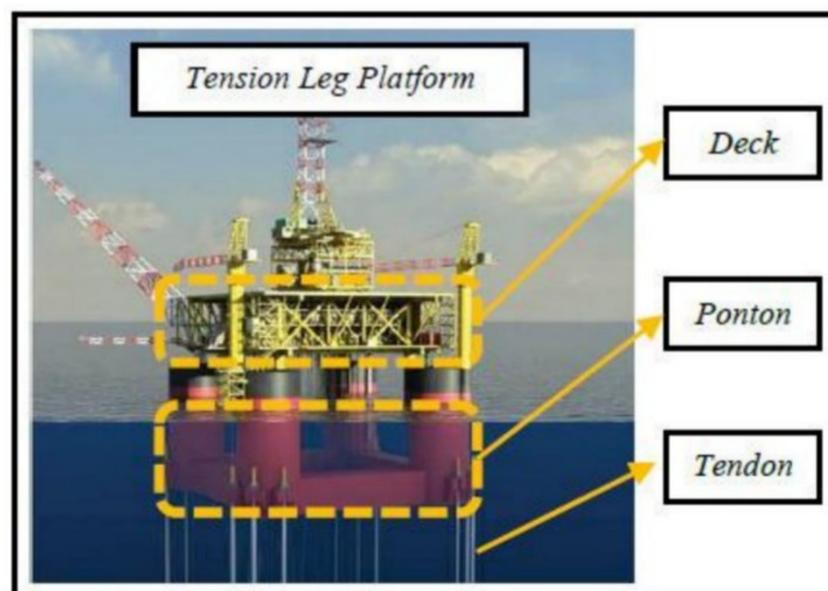
Penulisan skripsi ini dibagi menjadi 5 bab. Bab 1 merupakan pendahuluan yang menguraikan tentang latar belakang, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan sebagai bahasan utama. Bab 2 merupakan tinjauan pustaka yang berisikan teori dasar secara singkat yang mendukung penelitian ini dan parameter-parameter yang berhubungan dengan penelitian. Bab 3 berisi mengenai waktu dan tempat, alur atau tahapan, serta metode-metode yang digunakan oleh penulis dalam pelaksanaan penelitian. Bab 4 merupakan hasil dan pembahasan yang berisikan tentang data-data yang diperoleh dari hasil penelitian beserta pembahasannya. Bab 5 merupakan penutup yang berisikan kesimpulan yang dapat ditarik serta saran-saran yang disampaikan dari penelitian yang sudah dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Tension Leg Platform

Tension Leg Platform (TLP) adalah struktur apung vertikal yang biasanya digunakan untuk eksplorasi minyak atau gas lepas pantai, dan sangat cocok untuk kedalaman air lebih dari 300 m dan kurang dari 1500 m. *Platform* ditambatkan secara permanen dengan cara *tendon* yang dikelompokkan di masing-masing sudut struktur. Sekelompok *tendon* disebut *tension leg* dimana sifatnya adalah mereka memiliki kekakuan aksial yang relatif tinggi (elastisitas rendah), sehingga hampir semua gerakan vertikal *platform* dihilangkan (El-gamal dan Refat, 2014).



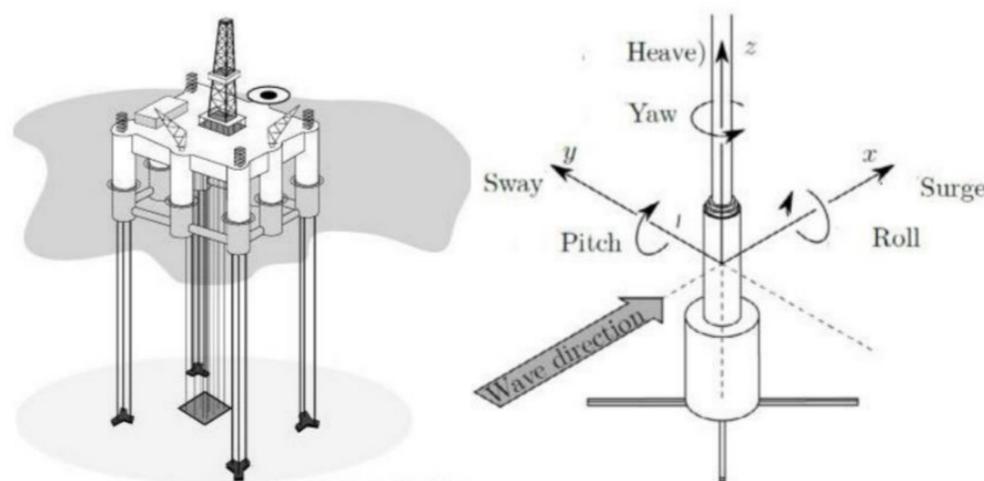
Gambar 2 Komponen Tension Leg Platform (Sagita, 2019)

Gambar 2. menunjukkan bagian-bagian dari struktur TLP antara lain *deck*, *ponton*, *tendon* dan fondasi. *Deck* adalah struktur yang mengapung dimana di dalamnya terdapat tempat meletakkan fasilitas produksi serta tempat tinggal pekerja (Wikipedia, 2018). *Ponton* adalah bagian bawah dari *platform* yang menerima gaya apung untuk menjaga agar *deck* selalu berada di atas air

dimana gaya apung yang bekerja pada *ponton* lebih besar jika dibandingkan dengan berat struktur TLP secara keseluruhan. *Tendon (tether)* merupakan tali pengikat antara *platform* (bagian bawah sudut *ponton*) dan fondasi dimana *tendon* mengalami gaya tarik (*tension*) akibat gaya apung dari *ponton* yang kemudian berfungsi untuk gaya pengembali untuk struktur TLP terhadap beban luar. Fondasi merupakan pondasi yang ditanam ke dasar laut untuk mengikat tali *tendon* (Djatkiko dkk 2012).

2.1.1 Gaya Gelombang Yang Terjadi Pada Tension Leg Platform

Gelombang laut merupakan gejala alam yang menimbulkan ayunan akibat massa air yang bergerak tanpa hentinya pada lapisan permukaan maupun di bawah permukaan laut. Bentuk gelombang laut maupun macamnya sangat bervariasi dan kompleks sehingga hampir tidak dapat diuraikan dan sulit digambarkan secara sistematis karena ketidaklinieran, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang random. Bentuk gelombang yang dihasilkan cenderung tidak menentu dan tergantung pada beberapa sifat gelombang seperti periode dan tinggi gelombang yang dibentuk (Triadmojo, 1999). Gambar 3 menunjukkan sistem koordinat global dan arah gangguan akibat gelombang air laut yang bekerja pada struktur *Tension Leg Platform* yaitu *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch* dan *yaw*. Pada penelitian ini analisis hanya dilakukan pada arah gangguan horizontal (*surge*) dikarenakan gangguan vertikal (*heave*) tidak terlalu besar atau dapat diabaikan karena tendon diberikan beban yang terbenam.



Gambar 3 Sistem koordinat global dan arah guncangan (Triadmojo, 1999)

2.1.2 Teori Morison

Persamaan Morison disusun oleh Morison dkk (1950) untuk menggambarkan gaya gelombang horizontal yang bekerja pada sebuah bertelapak lingkaran vertikal yang terpancang di dasar perairan hingga muncul ke permukaan air. Morison, dkk menyatakan bahwa gaya yang ditimbulkan oleh gelombang permukaan utuh (*unbroken surface wave*) pada sebuah bertelapak lingkaran vertikal tersebut tersusun dari dua komponen gaya yaitu komponen gaya inersia (*inertia force*) dan gaya seret (*drag force*). Teori ini dalam penggunaannya dibatasi kondisi bahwa diameter bertelapak lingkaran adalah kecil dibandingkan dengan panjang gelombang datangnya yaitu berkisar 1/10 atau kurang sehingga distorsi atau difraksi gelombang akibat keberadaan bertelapak lingkaran diabaikan (Gde dan Rudy, 2003). Dengan demikian, persamaan Morison didapat dengan cara menggabungkan komponen gaya inersia dan komponen gaya seret di atas. Jadi gaya per satuan panjangnya adalah:

$$F = F_{inersia} + F_{seret}$$

$$F = \rho C_I A \dot{u} + \frac{1}{2} \rho C_D D u |u| \quad (1)$$

Dimana

F = Gaya morison per satuan panjang, N/m

ρ = Massa jenis air laut, kg/m³

A = Luas penampang struktur, m²

D = Diameter luar struktur, inch, mm

C_I = Koefisien inersia

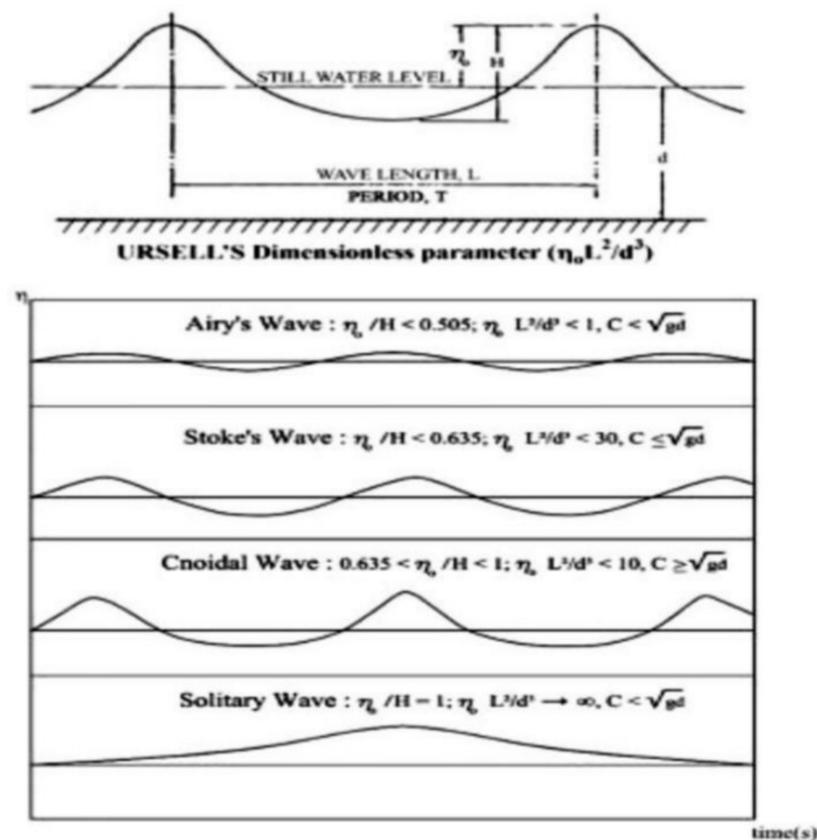
C_D = Koefisien seret

u = Kecepatan horizontal partikel gelombang, m/s

\dot{u} = Percepatan horizontal partikel gelombang, m/s²

2.2 Teori Ombak

TLP termasuk dalam struktur lepas pantai (*offshore structure*), beban lingkungan pada TLP berasal dari pasang surut air laut, ombak, arus, angin dan gempa bumi. Pada umumnya beban lingkungan yang terjadi pada TLP yaitu ombak. Untuk mengetahui perilaku dinamis TLP, maka teori ombak perlu dipahami. Terdapat banyak sekali teori ombak yang menjelaskan tentang partikel air dan profil ombak, pada umumnya teori ombak yang banyak digunakan ialah teori ombak linier atau disebut juga teori Airy. Teori ini banyak digunakan karena asumsi yang sederhana. Terdapat beberapa teori lain selain teori Airy yaitu teori gelombang Stokes, Cnoidal dan Solitary. Perbedaan profil ombak dari beberapa teori tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.



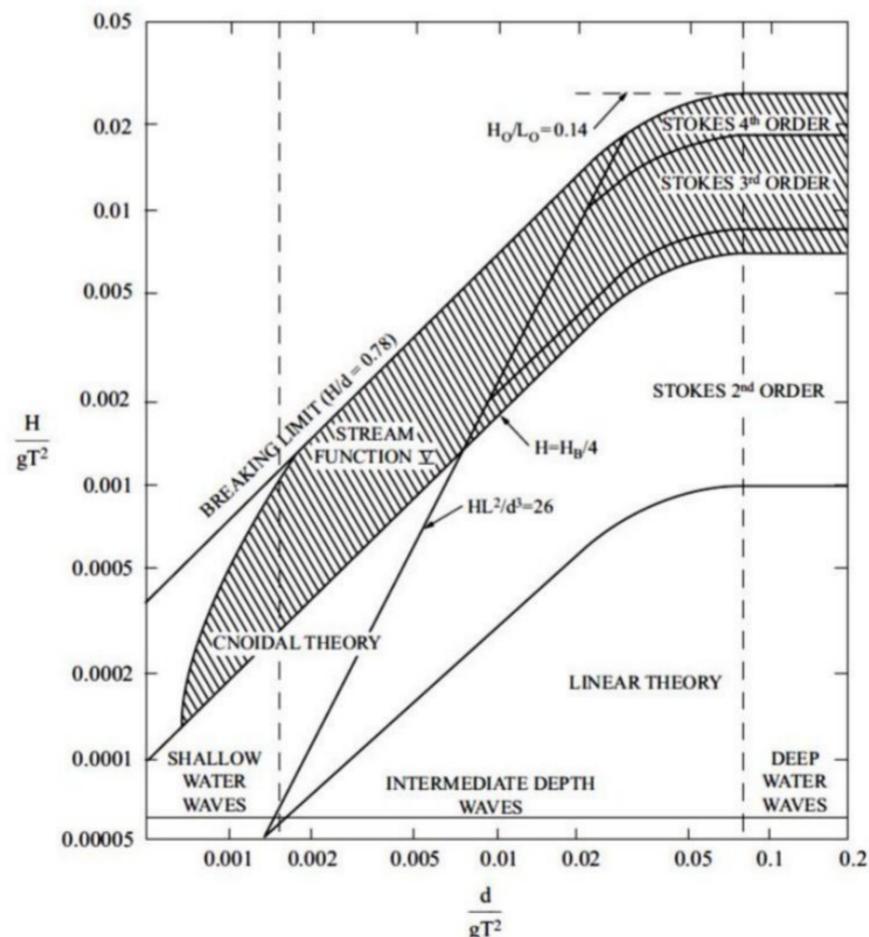
Gambar 4 Profil Permukaan Ombak (Wilson,1963)

Teori Airy termasuk ke dalam teori Stokes orde pertama. Dengan mengabaikan orde yang lebih tinggi dari persamaan yang digunakan pada teori Stokes, maka teori Airy relatif untuk ketinggian ombak yang kecil dibandingkan panjang ombak. Teori Airy akan dijelaskan pada subbab ini.

Untuk merepresentasikan kondisi ombak yang lebih mendekati kondisi nyata, dapat digunakan teori Stokes pada orde tinggi. Teori stokes mengasumsikan kecepatan potensial sebagai deret kuadrat dari parameter gangguan dan solusi diperoleh jika kondisi ombak tidak terlalu curam dan kedalaman laut tidak terlalu rendah (Sarpkaya, 2010).

Pada kondisi laut yang dangkal, dapat digunakan teori Cnoidal. Teori ini dapat merepresentasikan ombak yang curam dengan puncak ombak yang lancip dan lembah ombak yang datar. Keterbatasan teori Cnoidal adalah tidak valid terhadap kondisi panjang ombak yang sangat panjang atau tidak terhingga.

Pada kondisi ini teori Solitary dapat digunakan. Pemilihan teori ombak harus berdasarkan parameter ombak yaitu periode, ketinggian dan kedalaman. Setiap teori ombak hanya valid untuk diterapkan pada kondisi tertentu. Pembagian wilayah penerapan teori ombak berdasarkan periode, ketinggian dan kedalaman dapat dilihat pada Gambar 5.



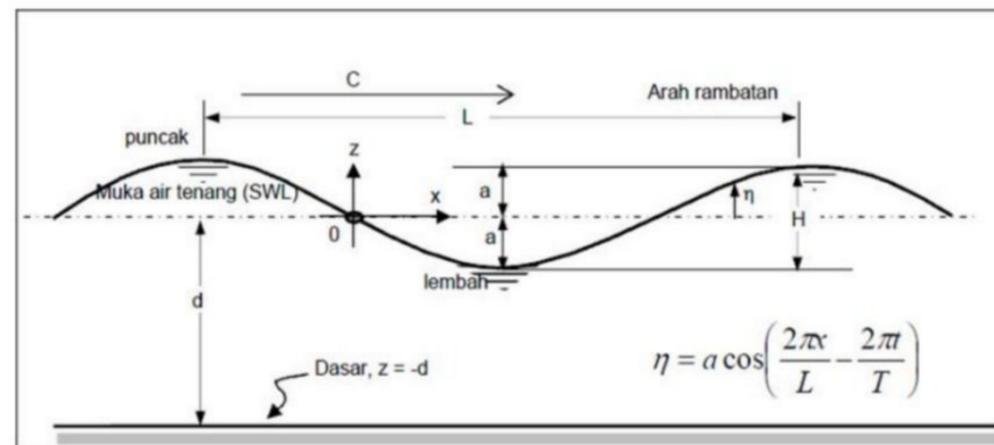
Gambar 5 validasi untuk bermacam teori ombak (Le Méhauté, 1976)

2.2.1 Teori Ombak Linier

Teori ombak linier atau sering disebut teori ombak Airy sering digunakan untuk memprediksi pergerakan ombak laut. Ciri khas dari teori ombak Airy adalah tinggi ombak relatif kecil dibandingkan dengan panjangnya. Ada beberapa asumsi yang digunakan, yaitu :

- Fluida tak mampat.
- Gradien temperatur diabaikan.
- Tegangan permukaan diabaikan.
- Gaya geser diabaikan.
- Dasar laut bersifat rigid dan horizontal.

Profil ombak laut didefinisikan melalui beberapa parameter yang digambarkan pada Gambar 6.



Gambar 6 parameter dan profil ombak.

Berdasarkan Gambar 6 terdapat parameter yaitu panjang L , tinggi ombak H , periode ombak T , kecepatan ombak c dan kedalaman laut d . Kecepatan ombak dapat dihitung menggunakan persamaan (2).

$$c = \frac{\omega}{k} \quad (2)$$

Frekuensi ombak ω dan bilangan ombak k dapat dicari menggunakan persamaan (3) dan (4).

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (3)$$

$$k = \frac{2\pi}{L} \quad (4)$$

Untuk menentukan gerakan partikel air pada bidang aliran dibutuhkan kecepatan potensial ϕ yang memenuhi persamaan Laplace. Pada persamaan (5) sumbu vertikal dinyatakan oleh z dan sumbu horizontal dinyatakan oleh x .

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (5)$$

Dengan kondisi batas di dasar laut $\partial\phi / \partial z = 0$ pada $z = -d$. Solusi dari persamaan (5) didapatkan dengan mengasumsikan ketinggian ombak H relatif kecil dibandingkan dengan panjang ombak L dan kedalaman laut d (Sarpkaya, 2010). Solusi dari persamaan (5) adalah persamaan kecepatan potensial ϕ yang didapat dengan menyelesaikannya menggunakan metode pemisahan variabel. Persamaan kecepatan potensial adalah sebagai berikut.

$$\phi + \frac{\pi H \cosh[k(z + d)]}{kT \sinh(kd)} \sin(kx - \omega t) \quad (6)$$

Selanjutnya diperoleh hubungan penyebaran sebagai berikut.

$$c^2 = \frac{\omega^2}{k^2} = \frac{g}{k} \tanh(kd) \quad (7)$$

dimana,

c^2 = kecepatan ombak, m/s

ω = Frekuensi, rad/s

k = bilangan ombak

g = gravitasi, m/s

Berdasarkan hubungan penyebaran, diketahui kecepatan perambatan gelombang merupakan hubungan antara frekuensi dan bilangan ombak. Dari persamaan (7) dapat diperoleh persamaan untuk mencari kecepatan perambatan dan panjang ombak. Kecepatan perambatan gelombang

dapat dicari menggunakan persamaan (8). Panjang gelombang dapat dicari menggunakan persamaan (9).

$$c = \frac{g}{\omega} \tanh(kd) \quad (8)$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (9)$$

2.2.2 Kinematika Partikel Air

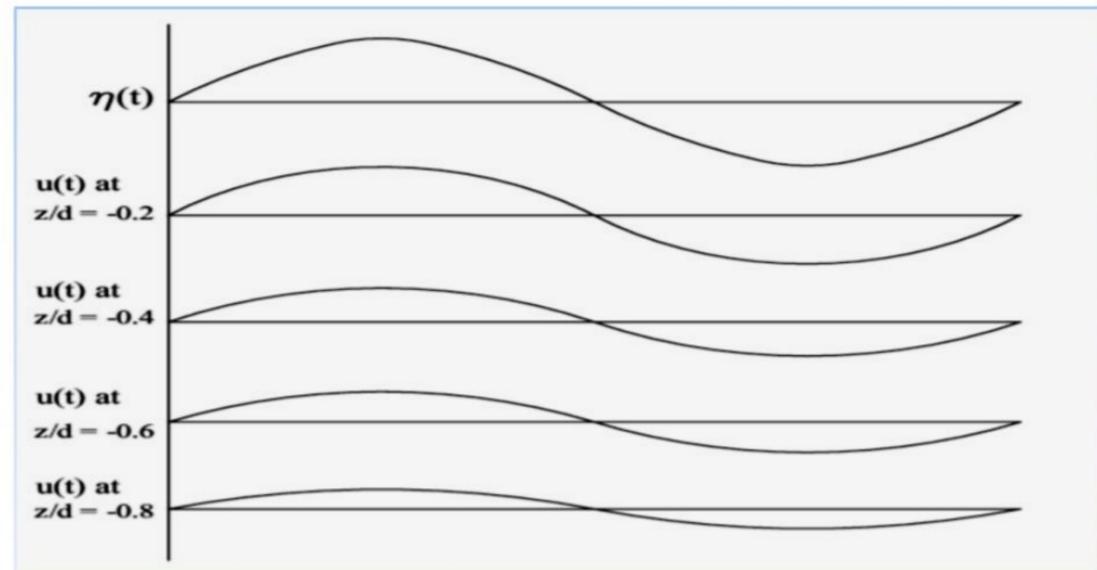
Besarnya gaya yang ditimbulkan oleh ombak pada struktur TLP sangat bergantung pada kinematika partikel air. Kecepatan partikel air pada arah horizontal dan vertikal didapat dengan menurunkan persamaan (6) terhadap arah x dan z . kecepatan partikel air pada arah horizontal dan vertikal ditunjukkan pada persamaan (10) dan (11).

$$v_x = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh [k(z + d)]}{\sinh(kd)} \cos(kx - \omega t) \quad (10)$$

$$v_z = \frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{\pi H \sinh [k(z + d)]}{\sinh(kd)} \sin(kx - \omega t) \quad (11)$$

Persamaan (10) dan (11) menunjukkan kecepatan partikel air pada ombak pada setiap kedalaman z . Pada setiap kedalaman z , kecepatan partikel air bersifat harmonik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Fungsi hiperbolik menyebabkan pengurangan kecepatan secara eksponensial dari permukaan air sampai dasar laut.

Percepatan partikel air dapat diketahui dengan menurunkan kecepatan partikel air terhadap waktu. Percepatan partikel air pada arah horizontal dan vertikal ditunjukkan pada persamaan (12) dan (13).

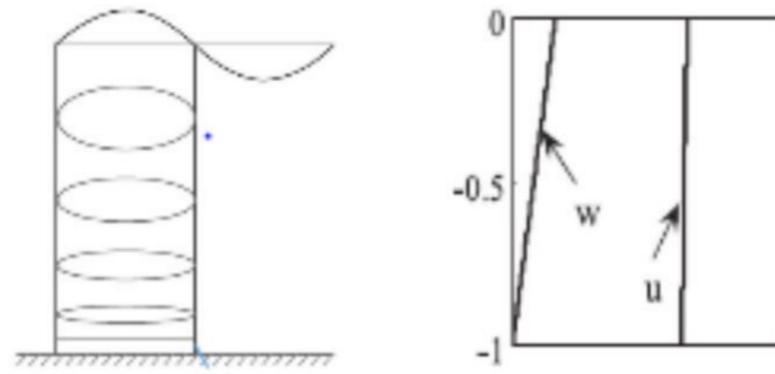


Gambar 7 Variasi Kecepatan partikel air terhadap kedalaman (Sundar, 2016)

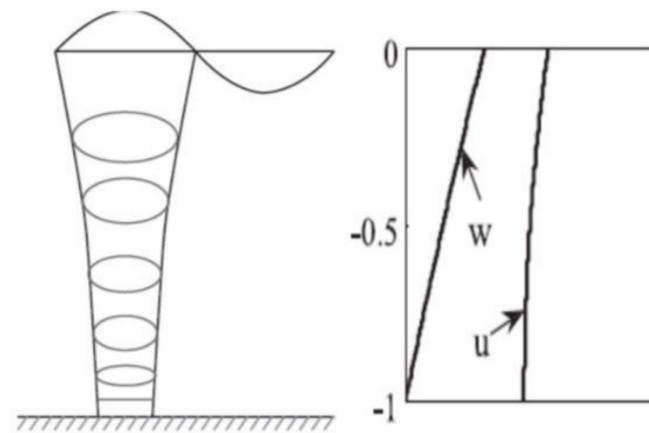
$$\dot{v}_x = \frac{2\pi^2 H}{T^2} = \frac{\cosh [k(z + d)]}{\sinh(kd)} \sin(kx - \omega t) \quad (12)$$

$$\dot{v}_z = \frac{2\pi^2 H}{T^2} = \frac{\sinh [k(z + d)]}{\sinh(kd)} \cos(kx - \omega t) \quad (13)$$

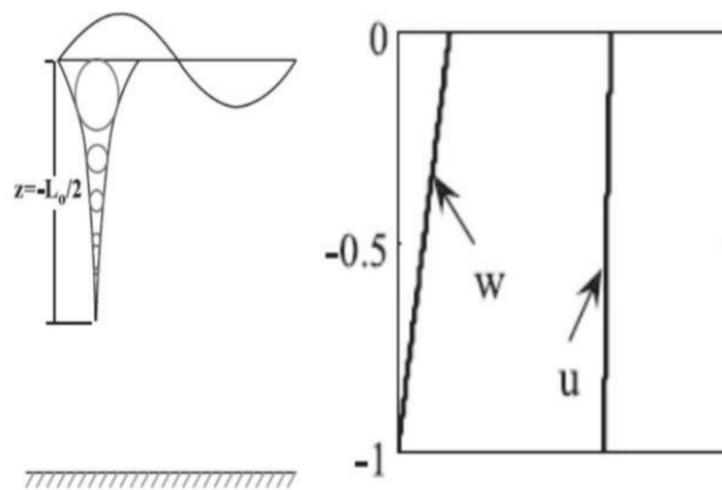
Gambar 8 memperlihatkan partikel air yang membentuk lintasan elips dan serah jarum jam. Pergerakan partikel air bergantung pada kedalaman dasar laut. Semakin dalam dasar laut, maka ketinggian ombak semakin kecil sehingga lintasan elips semakin tipis dan kecil. Berdasarkan kedalamannya laut dibagi menjadi tiga macam, yaitu laut dangkal ($d/L < 1/20$), laut menengah ($1/20 < d/L < 1/2$) dan laut dalam ($d/L > 1/2$). Profil lintasan partikel air untuk ketiga macam kedalaman laut, ditunjukkan pada Gambar 8, di mana v adalah kecepatan dan w adalah *displacement*.



(a)



(b)



(c)

Gambar 8 Variasi lintasan partikel air, (a) Laut dangkal, (b) Laut menengah, (c) Laut dalam (Sundar, 2016)

2.2.3 Distribusi Tekanan

Perepatan partikel air yang telah dijelaskan sebelumnya, terjadi akibat adanya gaya yang berkerja pada partikel tersebut. Gaya tersebut muncul karena terdapat gradient tekanan pada fluida. Besarnya tekanan yang terjadi diperoleh dengan mensubstitusikan persamaan kecepatan

potensial persamaan (6) ke dalam persamaan Bernouli yang ditunjukkan pada persamaan (14).

$$-\frac{\partial\phi}{\partial t} + \frac{P}{\rho} + gz = 0 \quad (14)$$

Kalikan persamaan (14) dengan massa jenis fluida ρ , sehingga tekanan P dinyatakan dengan persamaan (15).

$$P = -\rho gz + \rho \frac{\partial\phi}{\partial t} \quad (15)$$

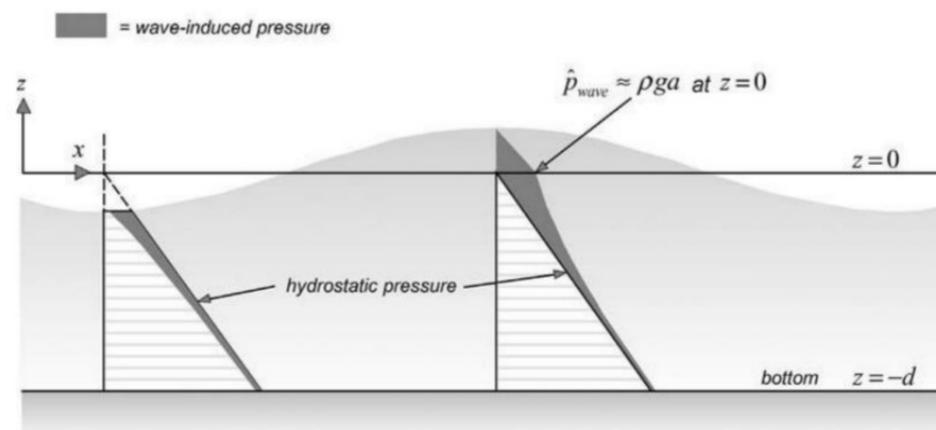
Substitusikan persamaan (10) ke persamaan (15) sehingga diperoleh tekanan total sebagai berikut.

$$P = -\rho gz + \frac{1}{2} \rho gH \frac{\cosh[k(z+d)]}{\cosh(kd)} \cosh(kx - \omega t) \quad (16)$$

Tekanan
hidrostatik

Tekanan dinamik

Suku pertama pada ruas kanan persamaan (16) merupakan tekanan hidrostatik dan suku kedua merupakan tekanan dinamik akibat ombak. Besarnya tekanan hidrostatik bersifat linier dari permukaan air sampai dasar laut, sedangkan besarnya tekanan dinamik tergantung pada kecepatan partikel air. Persamaan (16) hanya valid untuk ombak dengan amplitude kecil dari teori ombak linier. Gambaran distribusi tekanan hidrostatik dan dinamik, ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Distribusi tekanan hidrostatik dan dinamik (Holthuijsen, 2007).

2.3 Konsep Getaran

Getaran adalah gerakan bolak-balik dalam suatu interval waktu tertentu. Getaran berhubungan dengan gerak osilasi benda dan gaya yang berhubungan dengan gerak tersebut. Semua benda yang mempunyai massa dan elastisitas mampu bergetar. Jadi kebanyakan mesin dan struktur rekayasa (engineering) mengalami getaran sampai derajat tertentu dan rancangannya biasanya memerlukan pertimbangan sifat osilasinya. Secara umum, ada dua jenis getaran, bebas dan paksa.

a. Getaran Bebas

Getaran bebas adalah gerakan periodic yang diamati sebagai sistem yang berpindah dari kedudukan kesetimbangan statis. Gaya yang bekerja adalah gaya pegas, gaya gesekan, dan gaya inersia. Akibat adanya gesekan, getaran hilang seiring dengan waktu. Getaran ini disebut getaran bebas (*free vibration*).

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (17)$$

b. Getaran Paksa

Bila gaya luar bekerja pada sistem selama gerakan getarannya, diterminologikan sebagai getaran paksa (*forced vibration*). Pada getaran paksa, sistem cenderung bergetar pada frekuensi sendiri disamping mengikuti frekuensi gaya eksitasi. Dengan adanya gesekan, bagian gerakan yang ditahan oleh gaya eksitasi sinusoidal secara perlahan hilang. Dengan demikian sistem akan bergetar pada frekuensi gaya eksitasi dengan mengabaikan kondisi awal atau frekuensi pribadi sistem. Bagian getaran yang berlanjut terus disebut getaran keadaan steady (tunak) atau respon (response) sistem. Respon keadaan sistem selalu dibutuhkan dalam analisa getaran karena efek sinambungnya.

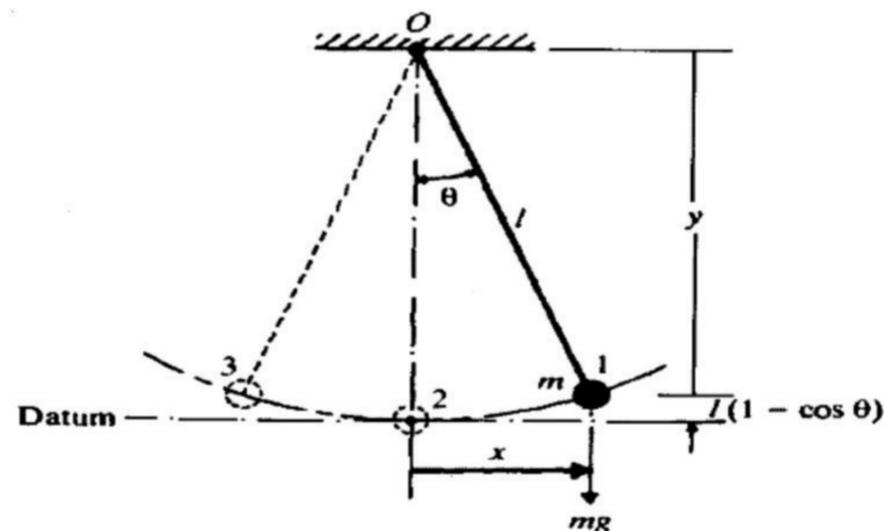
$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(x) \quad (18)$$

Getaran bebas terjadi bila gerakan dipertahankan oleh gaya gravitasi atau gaya pemulih elastis, seperti misalnya gerakan mengayun sebuah bandul atau getaran barang elastis. Atau dengan kata lain sistem berosilasi karena

bekerjanya gaya-gaya yang ada di dalam sistem itu sendiri (*inherent*) dan jika tidak ada gaya luar yang bekerja. Getaran paksa disebabkan gaya periodik eksternal atau gaya intermitten yang diberikan pada sistem. Dengan lala lain, sistem beresilasi karena eksitasi gaya luar dan dipaksa untuk bergetar pada frekuensi eksitasi. Jika frekuensi eksitasi sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka akan didapat keadaan resonansi, dan osilasi besar yang berbahaya mungkin terjadi (Lesmana, 2002).

2.4 Teori Getaran Metode Ayunan Bandul (Pendulum)

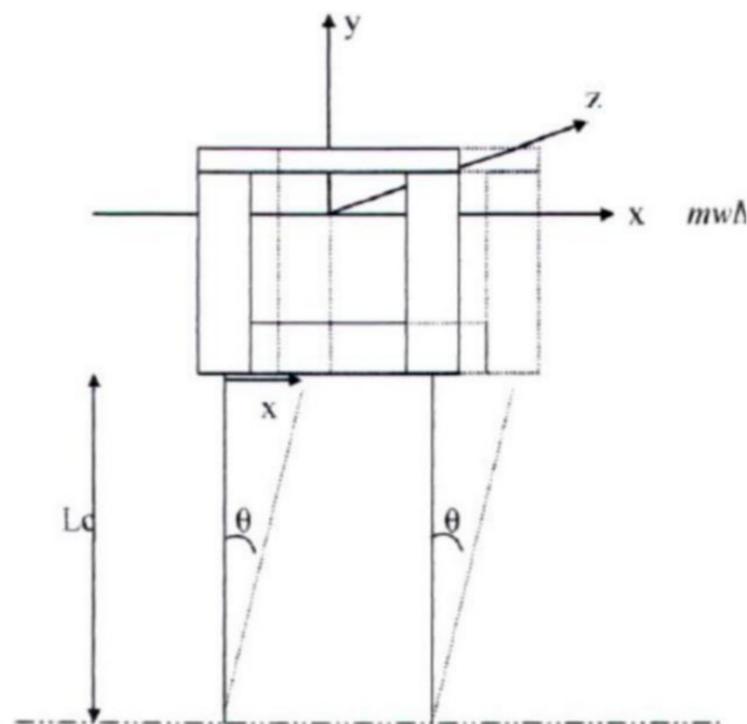
Getaran umumnya terjadi akibat adanya gaya yang bervariasi dengan waktu. Contohnya adalah ayunan sebuah pendulum yang dikaitkan dengan sebuah kawat seperti Gambar 10.



Gambar 10 Getaran sederhana dari ayunan bandul (pendulum)

Gambar 10 menunjukkan getaran sederhana dari ayunan bandul (pendulum). Jika sebuah massa (m) dilepas setelah disimpangkan membentuk sudut (Θ) pada posisi-1, maka energi kinetiknya adalah nol. Namun pada posisi yang bersamaan energi potensialnya adalah $mgl(1-\cos\Theta)$. Karena gaya gravitasi (mg) akan memberikan torsi sebesar $mgl \sin\Theta$ di titik O. Hal ini akan memberikan percepatan angular searah jarum jam. Ketika mencapai posisi-2, semua energi potensial benda dikonversi menjadi energi kinetik. Ayunan benda kemudian berlanjut ke posisi-3, namun torsi yang berlawanan dengan arah jarum mulai bereaksi akibat gaya resultan sebagai gaya radial. Hal ini

menyebabkan terjadinya perlambatan pada benda. Kecepatan benda berkurang hingga menjadi nol pada posisi-3. Pada posisi ini semua energi kinetik benda dikonversi menjadi energi potensial. Akibat adanya torsi dari resultan gravitasi dan tegangan tali, dan meskipun pada posisi- 2 tidak ada gaya resultan radial. Dalam penelitian ini teori getaran metode bandul diterapkan pada bagian panjang tali tether dengan *massa struktur* . dalam mekanisme perancangan model TLP bertelapak lingkaran dan bertelapak persegi untuk batang kolom dibuat *fix* pada bagian *deck* dengan *ponton* sehingga ketika menerima gaya gangguan horizontal maka simpangan yang terjadi pada TLP adalah simpangan sudut terhadap waktu (θ)t.



Gambar 11 model gerakan metode bandul pada struktur TLP

Gambar 11 menunjukkan gerakan metode bandul pada struktur TLP. Respons gerak osilator sederhana yang dieksitasi langsung oleh gaya harmonik, $f(t) = F \cos \omega t$, dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan (19).

$$x(t) = \frac{F/K}{(1 - \Omega^2)^2 + (2\zeta\Omega)^2} [(1 - \Omega^2) \cos \omega t + (2\zeta\Omega) \sin \omega t] \quad (19)$$

Dimana, $\Omega = \omega/\omega_n$

F = gaya morison

K = kekakuan efektif tether dalam arah horizontal

ζ = ratio redaman, $c/2\sqrt{mk}$

Gaya untuk gerakan translasi horizontal dalam arah x (*surge*) dan z (*sway*) dengan mengabaikan redaman mempunyai persamaan gerakan sebagai berikut

$$(M_P + M_{ax})\ddot{x} + Kx = F_{xt}(\omega, t) \quad (20)$$

Dimana, M_P = massa struktur beserta perlengkapannya

M_{ax} = massa tambah fluida untuk kolom dan struktur dalam arah x

K = kekakuan efektif tether dalam arah horizontal

F_{xt} = gaya-gaya inerti total dalam arah x

Gaya pengembali (*restoring force*) untuk setiap waktu dapat dituliskan sebagai berikut:

$$F_r = T_0 \sin\theta \quad (21)$$

Untuk sudut θ yang kecil, maka persamaan (19) menjadi:

$$F_r = T_0 (x/L_c) \quad (22)$$

Sehingga,

$$K = T_0/L_c \quad (23)$$

T_0 dapat dicari dari persamaan berikut:

$$\varphi g - mg - T_0 = 0 \quad (24)$$

dimana,

T_0 = initial tension

L_c = panjang tether (*cable*)

K = Kekakuan

dengan mensubstitusi persamaan (18) maka diperoleh persamaan:

$$\ddot{x} + \frac{T_0}{L_c M_x} x = \frac{F_{xt}(\omega, t)}{M_x} \quad (25)$$

Frekuensi natural pada arah gelombang Surge TLP adalah fungsi dari panjang kabel, tension awal (*pretension*) kabel dan massa struktur

$$\omega_n = \sqrt{\frac{T_0}{L_C M}} \quad (26)$$

2.5 Response Amplitude Operator (RAO)

Response Amplitude Operator (RAO) adalah fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai struktur. Hal ini dikarenakan RAO adalah alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada suatu struktur. RAO memberikan informasi tentang karakteristik gerakan bangunan laut bentuk grafik, dimana absisnya adalah frekuensi dan ordinatnya merupakan rasio antara amplitude gerakan pada mode tertentu (lihat Gambar 12).

Persamaan RAO untuk gerakan translasi adalah

$$RAO(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \quad (m/m) \quad (27)$$

dimana,

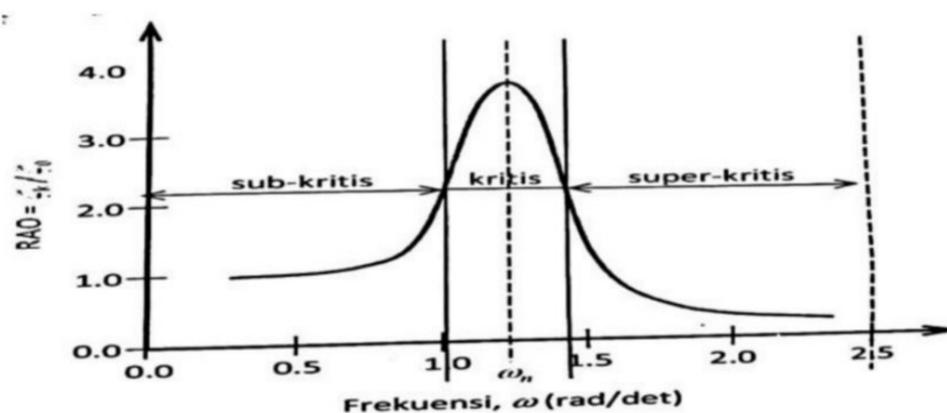
$X_p(\omega)$ = Amplitudo struktur, m

$\eta(\omega)$ = Amplitudo gelombang, m

Kurva respons gerakan bangunan apung pada dasarnya dapat dibagi menjadi tiga bagian:

- a. Pertama adalah bagian frekuensi rendah, atau gelombang (dengan periode) panjang, yang disebut daerah sub-kritis. Pada daerah ini bangunan laut akan mengikuti pola atau kontur elevasi gelombang yang panjang, sehingga amplitudo gerakan kurang lebih akan ekuivalen dengan amplitude gelombang, atau disebut sebagai *conturing*.

- b. Kedua adalah daerah kritis, meliputi pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi rendah sampai dengan puncak kurva dan diteruskan ke pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi tinggi. Puncak kurva berada pada frekuensi alami, yang merupakan daerah resonansi, sehingga respon gerakan mengalami magnifikasi, atau amplitudo gerakan akan beberapa kali lebih besar daripada amplitudo gelombang.
- c. Ketiga adalah gerakan super kritis, yaitu daerah frekuensi tinggi, atau gelombang-gelombang (dengan periode pendek). Pada daerah ini respon gerakan akan mengecil. Semakin tinggi frekuensi, atau semakin rapat antara puncak-puncak gelombang yang berurutan, maka akan memberikan efek seperti bangunan laut bergerak di atas air yang relatif datar. Oleh karena itu kondisi ini dapat diistilahkan sebagai *platforming*.

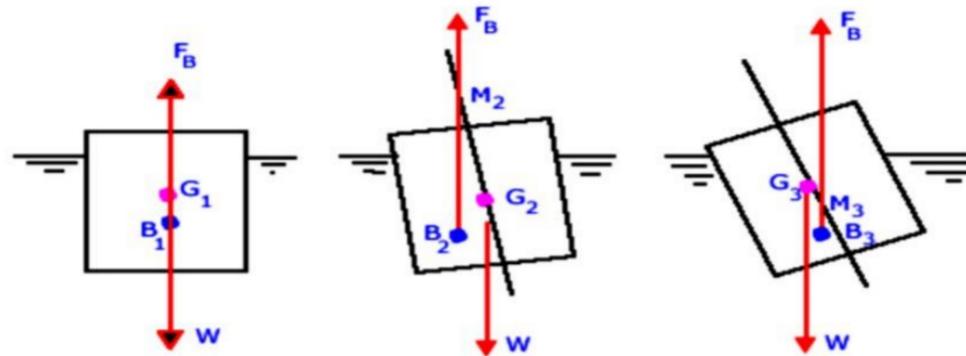


Gambar 12 Bentuk Umum Grafik Respon Gerakan Bangunan

2.6 Teori Stabilitas

Sebuah benda yang berada pada posisi awal, benda tersebut disebut berada dalam keseimbangan stabil (*stable equilibrium*) dan kondisi tersebut disebut stabilitas positif terhadap acuan keseimbangan posisi awalnya. Apabila saat benda digerakkan dari posisi keseimbangan digeser ke suatu posisi baru, lalu mampu kembali ke posisi kesetimbangannya ke posisi baru dan kemudian tetap pada posisi baru tersebut, benda tersebut disebut dalam keseimbangan netral (*neutral equilibrium*), tetapi apabila suatu benda setelah digerakkan ke suatu posisi baru, benda tersebut terus bergerak semakin menjauhi posisi awalnya, maka keseimbangan benda tersebut dikatakan keseimbangan labil

(*unstable equilibrium*) dan kondisi ini dikategorikan sebagai stabilitas negatif terhadap acuan posisi awalnya (lihat Gambar 13).

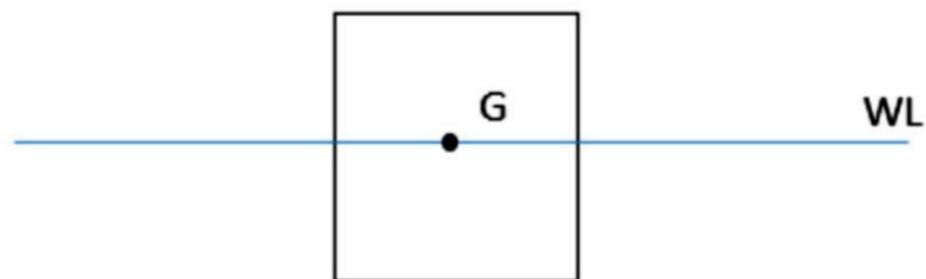


Gambar 13 Tiga Kondisi Kestabilan (Barras dan Derret, 2006)

Pada struktur terapung akan terdapat dua buah gaya vertikal yang bekerja, yakni gaya apung (*buoyancy*) yang mengarah ke atas dan berat struktur itu sendiri yang mengarah ke bawah.

- Titik Berat (*Center of Gravity, G*)

Titik berat (*G*) ialah titik tangkap dari semua gaya-gaya yang bekerja ke bawah. Gambar 14 menunjukkan contoh letak titik *G*. Letak titik *G* pada benda kosong ditentukan oleh hasil percobaan stabilitas. Perlu diketahui bahwa letak titik *G* bergantung pada pembagian berat di benda. Jadi, selama tidak ada berat yang digeser, ditambah, atau dikurangi titik *G* tidak akan berubah walaupun benda oleng atau *trim*. Berat pendulum pada penelitian ini sangat kecil, jadi dianggap tidak mempengaruhi titik gerak ponton.

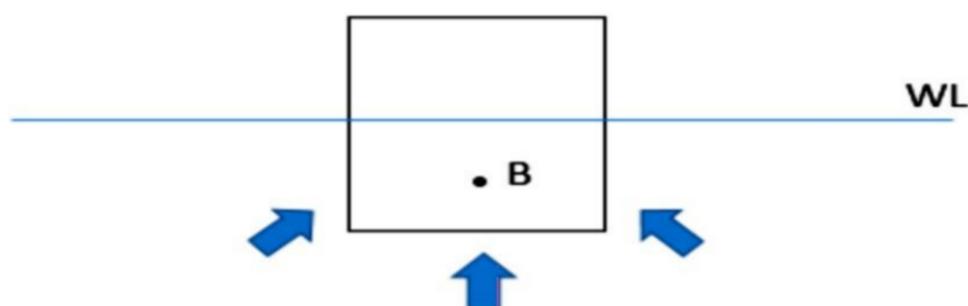


Gambar 14 Contoh Titik Berat Sebuah Benda Terapung

- Titik Apung (*Center of Buoyancy, B*)

Titik apung (*center of buoyancy*) dikenal dengan titik *B* dari sebuah benda (lihat Gambar 15), merupakan titik tangkap dari resultan gaya-gaya yang

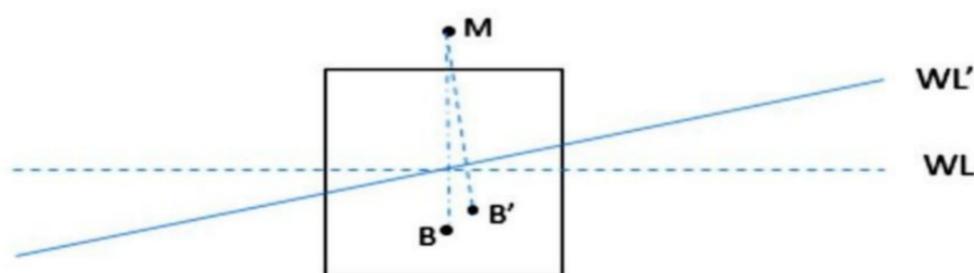
menekan ke atas dari bagian benda yang terbenam dalam air. Titik tangkap B bukanlah suatu titik yang tetap, akan tetapi akan berpindah-pindah oleh adanya perubahan sarat dari benda. Dalam stabilitas benda, titik B inilah yang menyebabkan benda mampu untuk tegak kembali setelah mengalami kemiringan. Letak titik B tergantung pada besarnya kemiringan benda (bila kemiringan berubah maka letak titik B akan berubah atau berpindah).



Gambar 15 Letak Titik Berat di Air (Barras dan Derret, 2006)

- Titik Metasentris (M)

Gambar 16 menunjukkan titik metasentris atau lebih dikenal dengan titik M dari sebuah benda, merupakan sebuah titik semu dari batas dimana titik G tidak boleh melewati di atasnya agar benda tetap mempunyai stabilitas yang positif (stabil). Meta artinya berubah-ubah, jadi titik metasentris dapat berubah letaknya tergantung besarnya sudut kemiringannya. Apabila benda miring pada sudut kecil maka titik apung B bergerak di sepanjang busur di mana titik M merupakan titik pusatnya di bidang tengah benda (*center of line*) dan pada sudut kemiringan yang kecil ini perpindahan letak titik M masih sangat kecil, sehingga masih dapat dikatakan tetap. Jika garis kerja gaya apung pada keadaan tegak dan garis kerja gaya apung dalam keadaan miring dilanjutkan, keduanya akan berpotongan di suatu titik. Titik potong ini kita beri nama **M**, singkatan dari *metasenter* (Mutedjo, 1999).



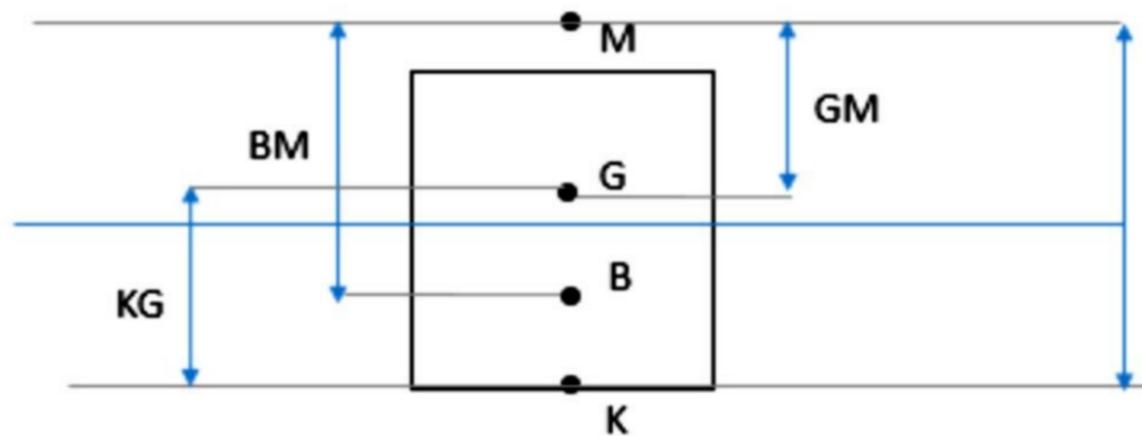
Gambar 16 Letak Titik Metacenter (Barras and Derret, 2006)

2.7 Parameter dalam Stabilitas

Ada beberapa parameter yang sering digunakan dalam stabilitas, hal ini lah yang nantinya akan dipergunakan untuk merancang stabilitas pada *Tension Leg Platform* Sistem Bandul, seperti pada Gambar 17 berikut:

- \overline{KG} - Adalah tinggi titik dari keel ke *center of gravity*

Nilai \overline{KG} dihitung dari titik keel ke titik *center of gravity*



Gambar 17 Parameter yang digunakan dalam Perhitungan

- \overline{BM} - *Radius Metacentric*

BM dinamakan jari-jari metasentris atau metasentris radius karena bila kapal mengoleng dengan sudut-sudut yang kecil, maka lintasan pergerakan titik B merupakan sebagian busur lingkaran dimana M merupakan titik pusatnya dan \overline{BM} sebagai jari-jarinya. Titik M masih bisa dianggap tetap karena sudut olengnya kecil.

2.8 Gaya Apung (Buoyancy)

Seperti yang telah dibahas pada hukum Archimedes, semua benda yang berada di dalam air akan mengalami gaya apung (buoyancy). Adapun bunyi hukum Archimedes adalah:

“benda yang tercelup ke dalam zat cair akan mengalami gaya angkat yang besarnya setara dengan berat zat cair yang dipindahkan. Gaya apung *ponton* dapat dihitung menggunakan persamaan (26).

$$F_a = \rho_c v_c g \quad (26)$$

Dimana :

F_a = Gaya apung *ponton* (N)

ρ_c = Massa jenis zat cair (kg/m^3)

v_c = Volume *ponton* yang tenggelam (m^3)

g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

2.9 MATLAB

MATLAB atau *Matrix Laboratory* merupakan perangkat lunak yang dikembangkan oleh perusahaan Amerika Serikat yang bernama *MathWorks, Inc.* MATLAB memiliki bahasa pemrograman dengan kemampuan tinggi yang dapat memecahkan berbagai masalah matematis. MATLAB sendiri memiliki bahasa yang serupa dengan *C*, *C+*, dan *Java*, tetapi memiliki kelebihan untuk dapat menyelesaikan berbagai masalah numerik dengan memadukan kemampuan perhitungan dalam satu paket. Salah satu aspek yang sangat berguna dari MATLAB adalah kemampuannya untuk menggambarkan berbagai jenis grafik, sehingga dapat memvisualisasi data dan fungsi yang sangat kompleks (Widiarsono, 2005).

Salah satu fitur yang ada pada MATAB ialah GUI (*Graphical User Interface*). GUI MATLAB adalah salah satu program yang menggunakan interaksi elektronik secara grafis dan bukan perintah teks antara *user* dan komputer. Tujuan dari penggunaan GUI MATLAB salah satunya untuk membuat program terlihat lebih simpel dan praktis, khususnya bagi para *end-user*. Adapun fungsi dari menu–menu yang ada pada GUI MATLAB adalah sebagai berikut:

1. *Selector*, berfungsi seperti kursor untuk memilih objek–objek grafik yang ada pada GUI MATLAB.
2. *Push Button*, berfungsi untuk membuat sebuah tombol yang apabila ditekan akan menghasilkan tindakan.
3. *Slider*, berfungsi untuk membuat objek grafik yang berisi rentang angka, dimana besar angka diperoleh dengan menggeser poin pada *slider*.

4. *Radio Button*, berfungsi membuat pilihan dari beberapa poin yang hanya dapat dipilih satu poin saja.
5. *Check Box*, hampir sama dengan *Radio Button*, namun perbedaannya pada *check box* dapat dipilih lebih dari satu kualifikasinya.
6. *Edit Text*, berfungsi untuk memasukkan (*input*) atau modifikasi sebuah data berbentuk angka ke dalam program MATLAB.
7. *Static Text*, berfungsi untuk menuliskan karakter atau angka pada tampilan GUI MATLAB, dan dapat pula untuk keluaran (*output*) dari program.
8. *Pop Up Menu*, berfungsi untuk membuat tampilan dari beberapa pilihan yang ditampilkan (dapat berupa angka ataupun teks).
9. *List Box*, hampir sama dengan *pop up menu* yaitu membuat tampilan dari beberapa pilihan, namun pada *list box* tampilannya dalam bentuk list.
10. *Toggle Button*, hampir sama dengan *push button*, dengan perbedaan pada *toggle button* saat tombol dipilih tidak langsung kembali ke posisi semula saat tombol mouse dilepas.
11. *Axes*, berfungsi untuk menampilkan grafik ataupun gambar. *Axes* tidak masuk dalam *UIControl*, tetapi dapat diprogram agar berinteraksi dengan grafik yang ada dalam program MATLAB.
12. *Panel*, berfungsi untuk mengelompokkan objek-objek grafik yang dibuat.
Button Group, hampir sama dengan panel, namun pada *button group* yang dikelompokkan adalah *radio button* dan *toggle button*. *Table*, berfungsi untuk menampilkan tabel pada GUI dari program MATLAB.
13. *Active X control*, berfungsi untuk mengkonfigurasi MATLAB dengan *microsoft windows*.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian yang dilaksanakan meliputi proses eksperimen dan perhitungan numerik dari TLP bertelapak lingkaran dan bertelapak persegi yang dikenai gaya hidrodinamis akibat gaya ombak. Eksperimen dilakukan dengan bantuan media uji kolam ombak yang kemudian dibandingkan dengan data referensi yang didapatkan, termasuk gaya-gaya yang bereaksi pada TLP tersebut selama dikenai gaya di dalam air dan perhitungan numerik dapat dilakukan sebagai data referensi dari hasil eksperimen.

3.1 Waktu dan Tempat

Waktu dan tempat penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

3.1.1 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari bulan Juni 2021 hingga Januari 2022.

3.1.2 Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Struktur Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan - tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur dilaksanakan dengan mengumpulkan referensi-referensi, teori, dan data yang terkait dengan penelitian, baik itu jurnal-jurnal penelitian yang telah dilakukan oleh sesama peneliti ataupun dari buku yang mendukung. Proses ini juga meliputi pengumpulan data terkait dari parameter dan koefisien yang dibutuhkan.

3.2.2 Persiapan Alat

Proses ini meliputi validasi program MATLAB dan kalibrasi alat uji yang ada di lab dengan menggunakan sensor *Ultrasonic* untuk sensor jarak.

3.2.3 Pengujian

Pengujian dilakukan apabila data dan referensi telah matang serta persiapan dari simulasi dan alat telah selesai. Pada tahap ini alat uji dimaksimalkan penggunaannya.

3.2.4 Analisis dan Pengolahan Data

Proses ini dilakukan setelah pengujian selesai dan data hasil eksperimen telah didapatkan. Data yang diambil adalah *displacement* yang terjadi pada TLP bertelapak lingkaran dan bertelapak persegi.

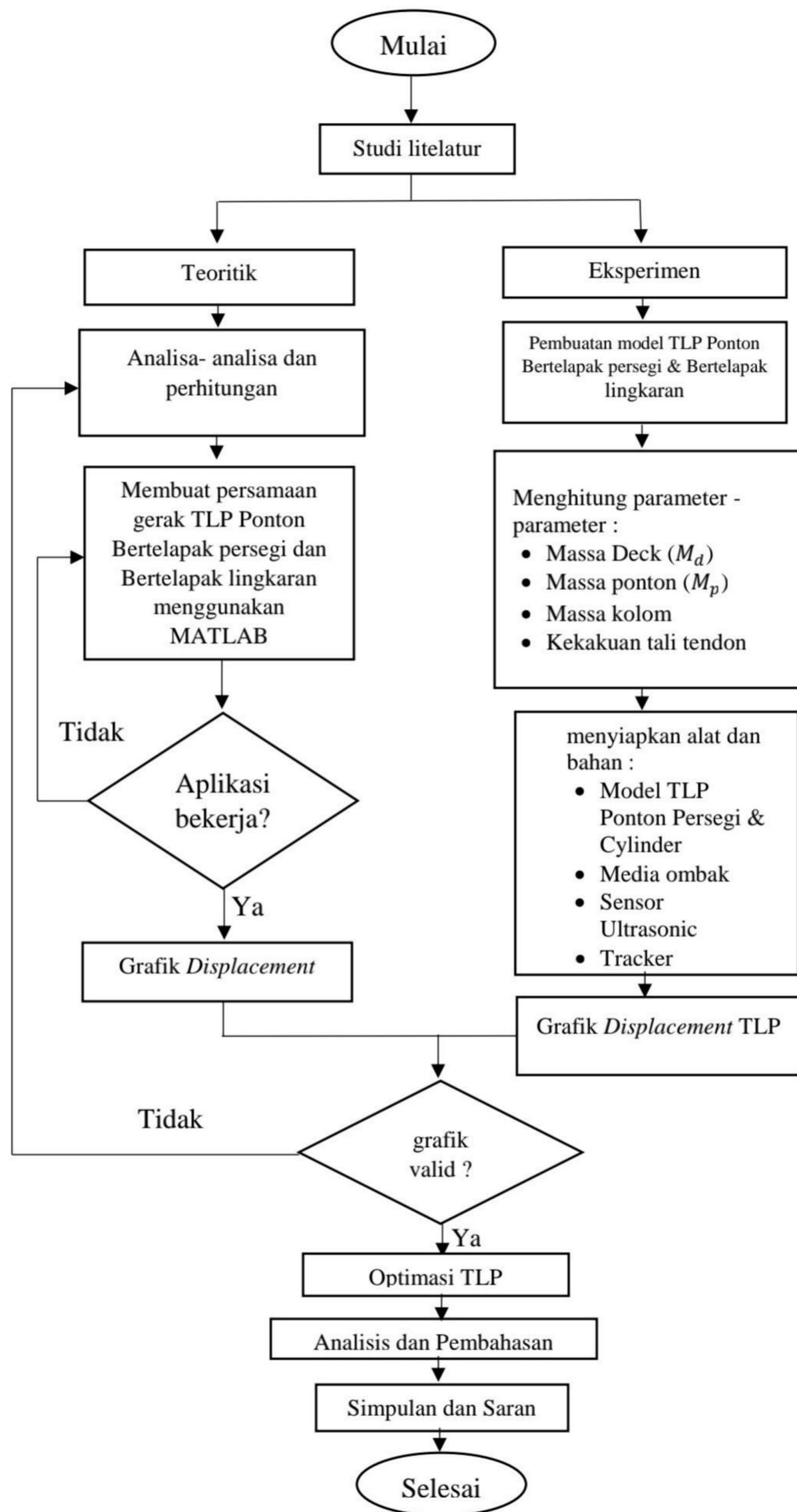
3.2.5 Pembuatan Laporan Akhir

Setelah analisis selesai, kesimpulan dirangkum dan dibuat pada laporan akhir hasil penelitian.

3.3 Diagram Alir Penelitian

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. Buku dan jurnal diperoleh dengan memanfaatkan fasilitas Perpustakaan

Universitas Lampung dan juga dengan bantuan mesin pencari seperti *Google*. Setelah semua data dan referensi pendukung telah cukup, maka data-data berguna yang telah didapat dikumpulkan dan dijadikan satu. 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 digambarkan pada diagram alir (Gambar 18) berikut:



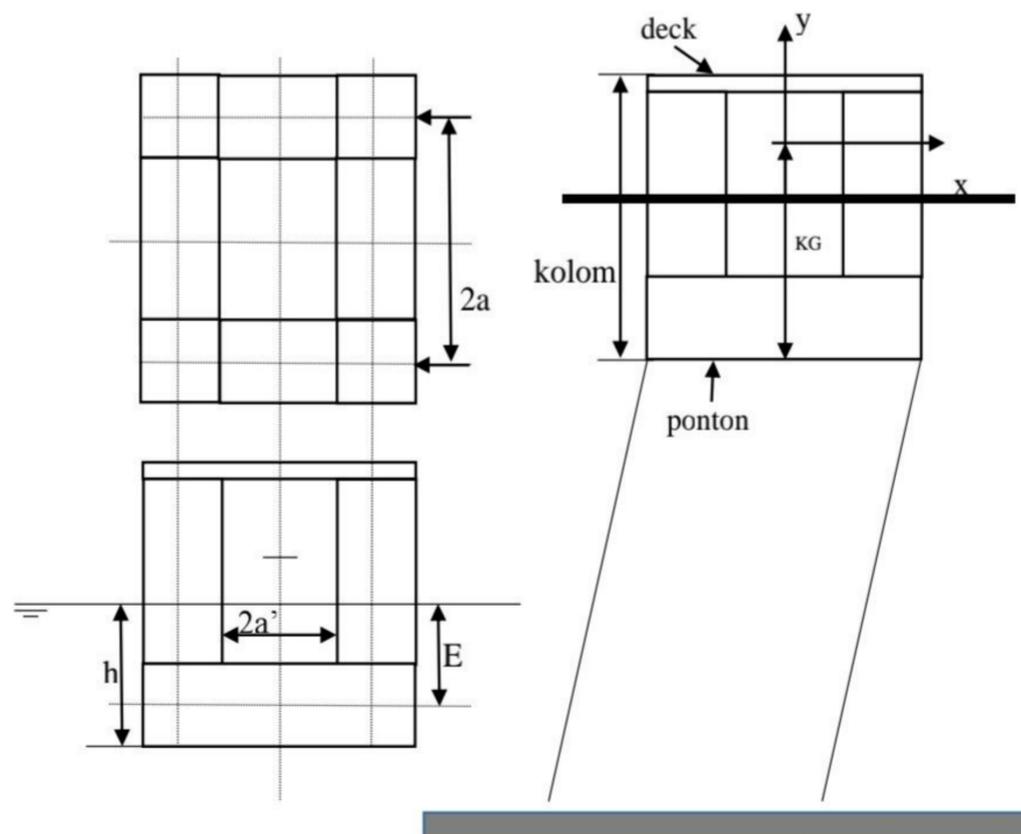
Gambar 18. Alur Penelitian

3.4 Metode Pengujian

Pengujian pada penelitian ini menggunakan 2 TLP yaitu TLP dengan bentuk ponton bertelapak persegi dan bertelapak lingkaran. Untuk respon dinamik TLP ini menggunakan perhitungan teoritik dan eksperimen. Perhitungan teoritik sendiri bertujuan agar mempermudah dalam melakukan optimasi atau mencari parameter terbaik dari struktur TLP dalam meredam gelombang air laut (eksitasi). Sebelum melakukan optimasi terlebih dahulu dilakukan komparasi antara eksperimen dan perhitungan teoritik, agar persamaan yang digunakan tepat peruntukannya dalam melakukan optimasi TLP. Adapun penjelasan ataupun langkah-langkah pada tiap metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

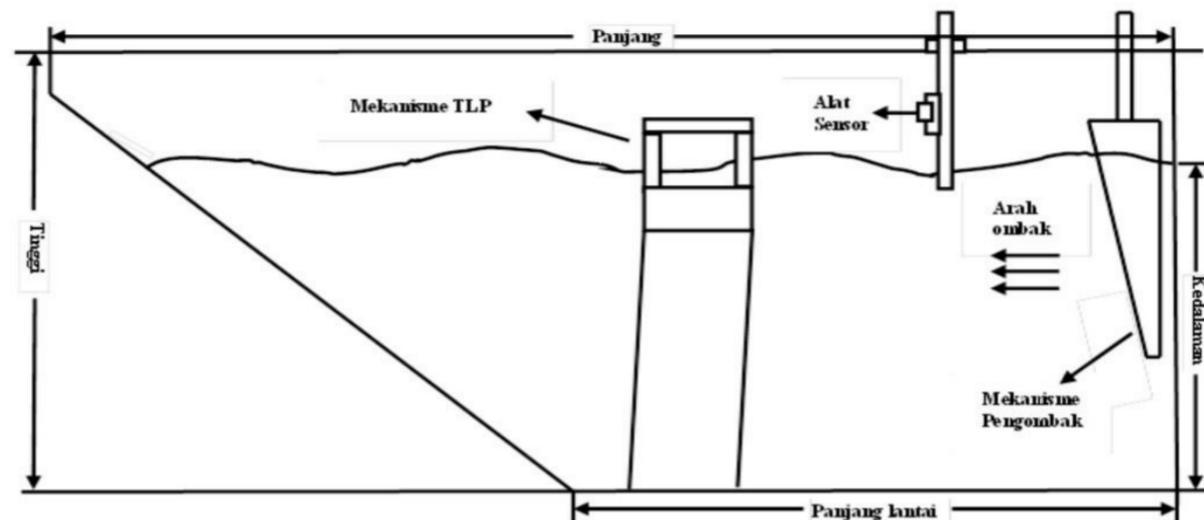
- Eksperimen

Proses pengambilan data secara eksperimen yaitu dengan melakukan pengujian langsung terhadap struktur TLP. Namun, perlu dimodelkan (*scale down*) struktur TLP guna mempermudah dalam pengambilan data secara eksperimen. Adapun skema model TLP yang digunakan pada eksperimen dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Skema Model TLP

Penelitian dilakukan dengan bantuan alat uji kolam ombak dengan dimensi 3600x800x800 mm yang diisi air dengan ketinggian 60 cm. Kemudian pembangkitan ombak dilakukan dengan menggunakan bantuan motor listrik dan mekanisme pemacu ombak yang telah didesain sedemikian rupa sehingga pada saat motor dinyalakan, pemacu ombak bergerak menghasilkan ombak.



Gambar 20. Geometri kolam ombak dan konfigurasi alat uji yang digunakan



Gambar 21. Konfigurasi alat uji yang dipakai

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan eksperimen pada alat uji dengan menggunakan parameter berdasarkan kondisi ombak di kolam uji Lab Mekanika Struktur. Validasi alat dilakukan dengan meletakkan TLP dengan variasi ponton bertelapak lingkaran dan bertelapak persegi ke dalam air dengan mekanisme ditambat ke dasar kolam sesuai dengan kedalaman yang diinginkan (Gambar 21), kemudian mekanisme

pembangkit ombak dihidupkan untuk memulai pengujian. Ketika gaya yang dihasilkan oleh ombak menghantam TLP, maka sensor yang diletakkan di dekat TLP mengukur besaran *displacement* yang ditimbulkan. Sensor membaca jarak 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 data dilakukan dengan membandingkan data *displacementnya* terhadap perhitungan numerik yang dilakukan di MATLAB. Program MATLAB yang dibuat telah divalidasi dengan menggunakan data yang didapat dari data referensi. Pemilihan teori ombak diambil dengan merujuk data referensi. Hasil dari perhitungan eksperimen alat dan perhitungan numerik kemudian dijadikan landasan dari keefektifan kerja alat.



Gambar 22. Geometri TLP yang digunakan.

Setelah verifikasi alat uji selesai dilakukan, Selanjutnya disesuaikan jarak antara sensor dengan spesimen TLP bertelapak persegi dengan ukuran 20,1 x 20,1 x 5,8 cm. Setelah selesai maka spesimen diganti dengan TLP bertelapak lingkaran berdiameter 22.5 cm (Gambar 22). Data *displacement* dari TLP bertelapak persegi dan bertelapak lingkaran ini diambil dari hasil pembacaan sensor seperti pada perhitungan validasi. Hasil pembacaan eksperimen kemudian dibandingkan dengan hasil pembacaan yang dilakukan dengan menggunakan simulasi. Setelah rangkaian eksperimen

selesai maka dilakukan analisis data dan dilanjutkan dengan pelaporan akhir penelitian.

3.5 Metode Pengambilan Data

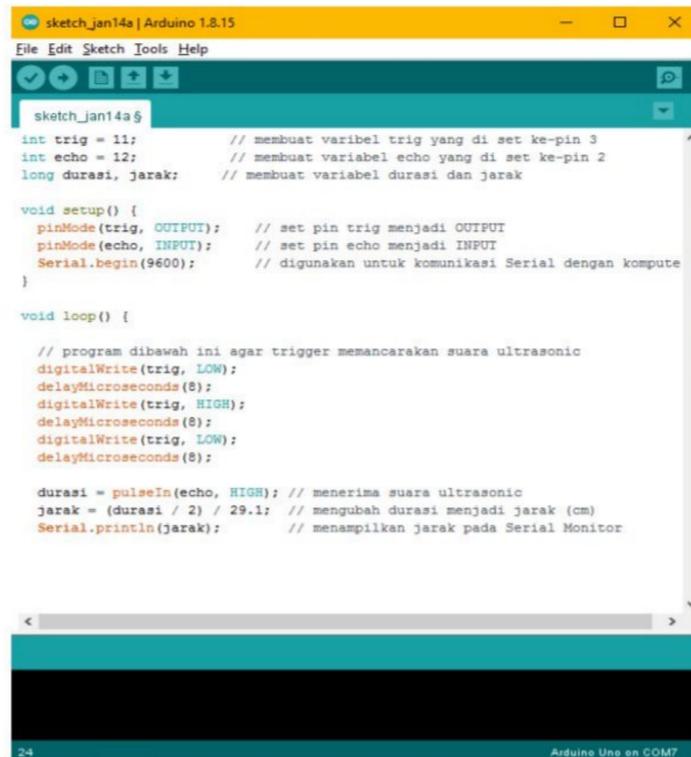
Pengambilan data dilakukan secara eksperimen dengan menggunakan dua metode yaitu metode video tracker dan metode sensor ultrasonic serta diverifikasi menggunakan MATLAB. Pengambilan data pada eksperimen dilakukan langsung dengan menggunakan kedua metode. Untuk cara penggunaan metode sensor *ultrasonic* dan metode video tracker lebih jelasnya dapat dilihat pada subbab 3.5.1 dan 3.5.2 berikut:

3.5.1 Sensor *Ultrasonic*

Sensor *Ultrasonic* HC-SR04 adalah modul sensor ultrasonik yang dapat mengukur jarak dengan rentang dari mulai 2 cm sampai dengan 400 cm (4 meter), dimana akurasinya mencapai 3 mm. Pada bagiannya terdapat ultrasonik transmitter, receiver, dan control circuit. Sensor *ultrasonic* membaca jarak spesimen pada sensor tiap detiknya dan mengirimkan datanya ke dalam aplikasi Arduino. Adapun proses pengambilan data menggunakan sesor ultrasonic sebagai berikut:

1) *Setting* data program

setting data program yang akan diterima dari sensor ultrasonic akan dilakukan menggunakan aplikasi arduino uno. Tujuannya adalah untuk membuat variabel durasi dan jarak. Langkah-langkahnya yang pertama yaitu membuat variabel trig yang diset ke-pin 3 berfungsi sebagai *Transmitter* (pengirim sinyal suara) > membuat variabel echo yang di set ke-pin 2 berfungsi sebagai *receiver* (penerima sinyal suara) > kemudian klik done di pojok kiri atas jika prgram selesai dibuat. Gambar 23 menunjukkan sketsa data program arduino uno.



```

sketch_jan14a | Arduino 1.8.15
File Edit Sketch Tools Help
sketch_jan14a $
int trig = 11; // membuat variabel trig yang di set ke-pin 3
int echo = 12; // membuat variabel echo yang di set ke-pin 2
long durasi, jarak; // membuat variabel durasi dan jarak

void setup() {
  pinMode(trig, OUTPUT); // set pin trig menjadi OUTPUT
  pinMode(echo, INPUT); // set pin echo menjadi INPUT
  Serial.begin(9600); // digunakan untuk komunikasi Serial dengan kompute
}

void loop() {
  // program dibawah ini agar trigger memancarkan suara ultrasonic
  digitalWrite(trig, LOW);
  delayMicroseconds(8);
  digitalWrite(trig, HIGH);
  delayMicroseconds(8);
  digitalWrite(trig, LOW);
  delayMicroseconds(8);

  durasi = pulseIn(echo, HIGH); // menerima suara ultrasonic
  jarak = (durasi / 2) / 29.1; // mengubah durasi menjadi jarak (cm)
  Serial.println(jarak); // menampilkan jarak pada Serial Monitor
}
24 Arduino Uno on COM7

```

Gambar 23. *Sketch* Data Program Arduino Uno

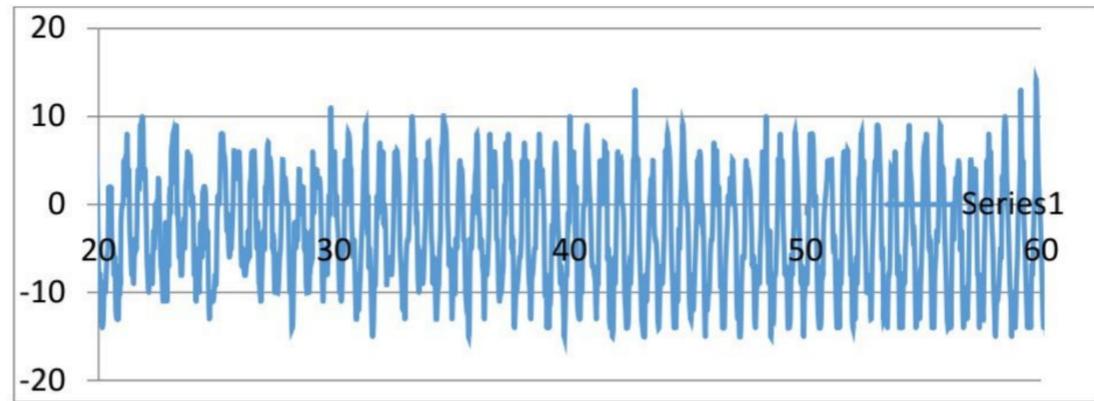
2) *Data Acquisition* (PLX-DAQ)

Untuk memudahkan analisis, maka pembacaan dari aplikasi Arduino diakuisisi ke dalam *spreadsheet*. Akuisisi data dilakukan dengan menggunakan bantuan *Data Acquisition* (DAQ) yang akan berbentuk matriks kolom .



Gambar 24. *Data Acquisition* (PLX-DAQ)

Proses pembacaan data akan dikatakan berhasil apabila mendapatkan output grafik dan nilai pergerakan perpindahan objek seperti pada (Gambar 25) berikut:



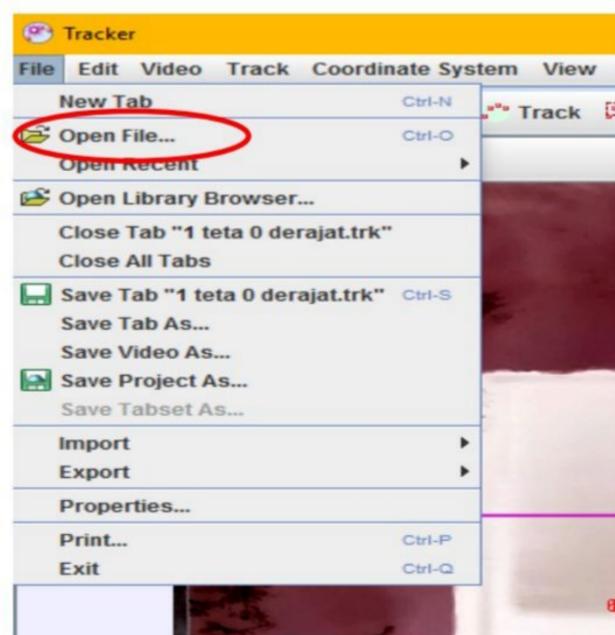
Gambar 25. Contoh Hasil Data Menggunakan Sensor *Ultrasonic*

3.5.2 Tracker

Eksperimen menggunakan metode video tracker ini adalah proses membaca titik objek yang bergerak dari waktu ke waktu menggunakan kamera. Adapun proses pengolahan data dengan tracker secara lebih rinci adalah sebagai berikut:

1) Input data

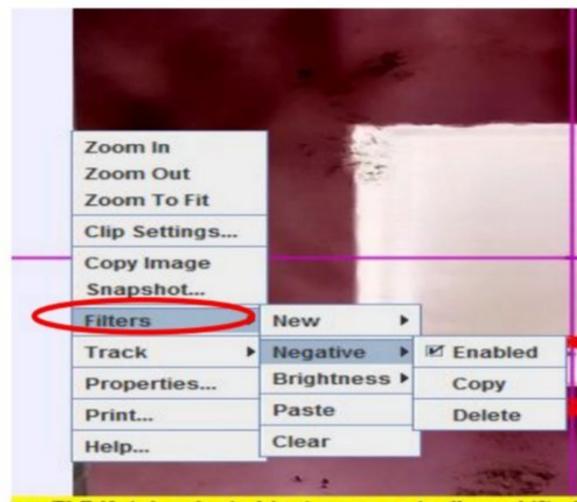
Input data dimulai dengan membuka file project berupa video pergerakan TLP pada aplikasi tracker. Kemudian memilih file video yang akan digunakan. Proses ini dilakukan dengan membuka file > open library browser. Dalam memasukan file video juga dapat ditentukan berapa frame yang akan diambil saat pengamatan perpindahan suatu objek benda yang dilakukan pengaturan frame pada saat memasukkan file video.



Gambar 26. Langkah Memasukkan Data

2) Pengaturan gradient warna

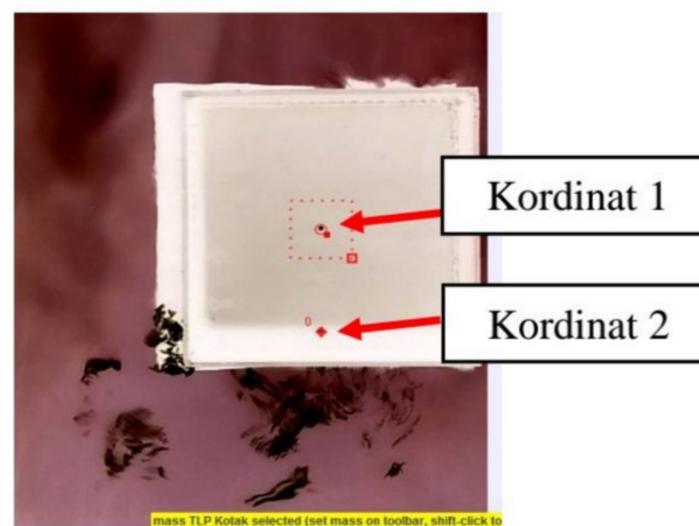
Gradient warna dalam video tracker dilakukan dengan membuka program tracker dan klik kanan kursor dan memilih filter>negative kemudian ditambahkan dengan mengatur *brightness* untuk membedakan warna kontras pada titik kordinat agar lebih mencolok. Pengaturan gradient warna sebaiknya dilakukan dengan membalik saturasi warna-warna. Hal ini dilakukan agar saat proses pembacaan data terjadi lebih akurat.



Gambar 27. Pengaturan Gradient Warna

3) Pemberian titik kordinat

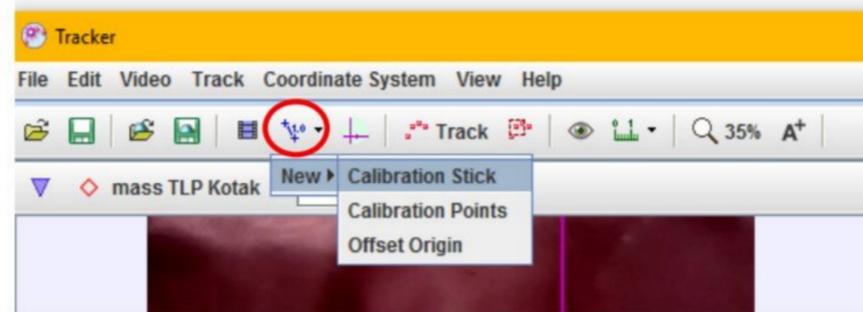
Pemberian titik kordinat dilakukan dengan membuka menu stick>coordinate, hal ini berfungsi menentukan peletakkan arah sumbu x dan y dalam pembacaan perpindahan yang terjadi pada struktur TLP.



Gambar 28. Titik Kordinat Pada TLP

4) Kalibrasi stick

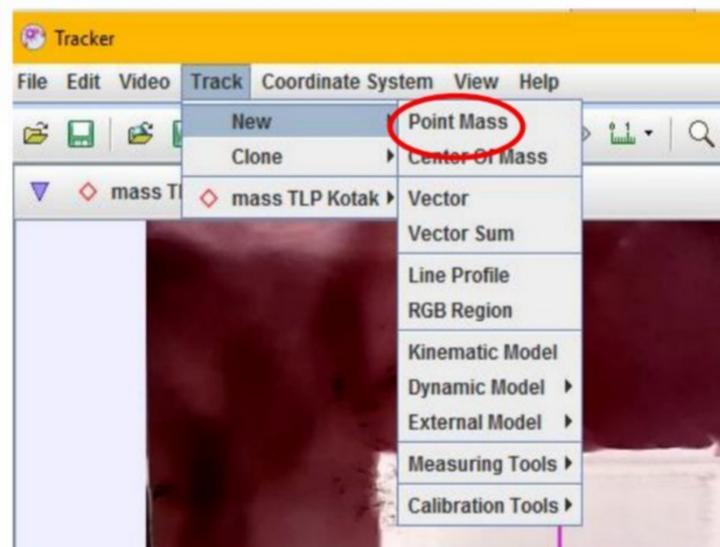
Kalibrasi stick digunakan untuk mengetahui acuan skala pergerakan terhadap sumbu x. proses ini dilakukan dengan membuka calibration tools > mengubah nama tools > memberikan ukuran sesuai skala.



Gambar 29. Kalibrasi Stick

5) Point mass

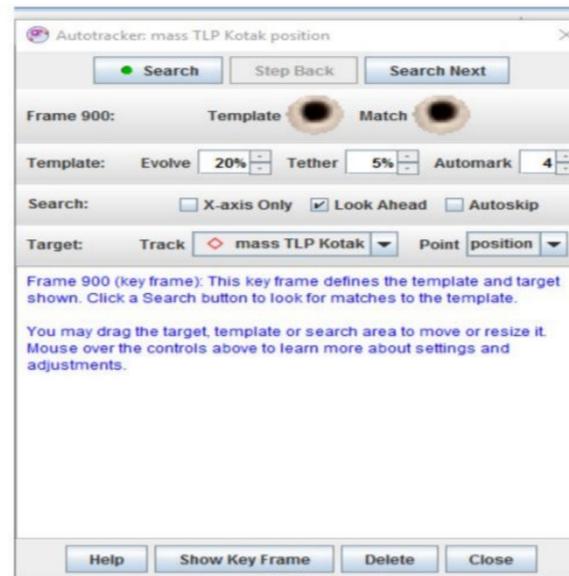
Point mass merupakan penentuan koordinat objek yang akan diamati dilakukan dengan menggunakan menu track > new > point mass. Proses pembacaan data dilakukan berulang kali sesuai dengan kedalaman yang berbeda.



Gambar 30. Point Mass

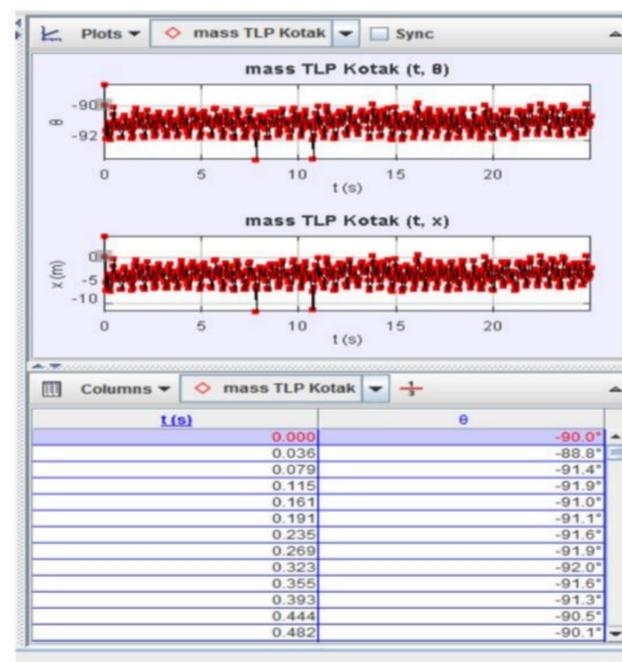
6) Auto Tracking

Auto tracking merupakan pembacaan data dilakukan secara otomatis dengan cara menentukan titik tengah point mass dengan menekan ctrl + shift > search next secara bersamaan maka auto tracking siap dilakukan.



Gambar 31. *Auto Tracking*

Adapun hasil output grafik dari percobaan *eksperiment* menggunakan metode video tracker seperti yang terlihat pada Gambar 32 berikut:



Gambar 32. Contoh Hasil Percobaan Video Tracker

3.6 Desain Kolam Ombak

Kolam ombak yang ada di Lab Mekanika Struktur memiliki dimensi $4000 \times 800 \times 800$ 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. Material dari kolam terbuat dari kaca dengan ketebalan 10 mm yang disambungkan dengan menggunakan lem kaca yang

ditambahkan lem silikon kemudian diperkuat dengan rangka besi siku. Rangkaian besi siku yang mengelilingi kolam ombak disambung dengan bantuan las agar lebih kokoh dan pada bagian bawah terdapat rangka kayu yang berfungsi menopang kolam menjauh dari lantai. Bentuk kolam yang lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 33.



Gambar 33. Kolam Ombak

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.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari tahap validasi alat uji hingga pengujian TLP maka penulis dapat menarik kesimpulan, sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan beban gelombang dan respon pada TLP ponton bertelapak lingkaran dan TLP ponton bertelapak persegi secara eksperimental dan teoritikal mempunyai perbedaan yang tidak signifikan. Perhitungan yang diuji adalah perhitungan *displacement motion* pada arah *surge*. *Displacement* yang dihasilkan melalui eksperimen pada arah *surge* memiliki perbedaan hasil sebesar 32,68% dengan *displacement* yang dianalisa pada arah yang sama.
2. Dari hasil eksperimen menunjukkan bahwa dengan adanya gangguan horizontal, *displacement* yang dialami oleh model TLP Ponton Bertelapak lingkaran sebesar 8.674197 mm sedangkan untuk Model TLP bertelapak persegi sebesar 12.68356 mm. Model TLP Bertelapak lingkaran mampu mereduksi puncak *Displacement* hingga 32%.
3. Solusi terbaik model TLP yang mampu meredam gaya gangguan horizontal adalah model TLP Ponton Bertelapak lingkaran, dimana TLP Ponton Bertelapak lingkaran mampu mempertahankan kestabilannya ketika menerima gangguan gelombang dari sudut manapun. Model TLP ponton bertelapak lingkaran terbukti meredam getaran pada maksimum displacement sudut gangguan horizontal contohnya pada sudut 30 derajat yaitu TLP bertelapak persegi sebesar 9.63999 derajat sedangkan TLP bertelapak lingkaran sebesar 0.783686 derajat dengan rasio 1:12.

5.2. Saran

Setelah rangkaian penelitian dilakukan, terdapat beberapa saran untuk penelitian lebih lanjut, yaitu:

1. Disarankan untuk mencoba metode pembuat ombak lain, seperti tipe *flap* atau *piston*.
2. Penelitian lebih lanjut dapat menggunakan aplikasi khusus penelitian struktur kelautan seperti Ansys Aqwa dan Maxsurf
3. Penelitian lebih lanjut terhadap aliran pada kolam uji dan aliran di sekitar struktur dapat membantu penjelasan lebih mendalam tentang bagaimana aliran air berinteraksi terhadap struktur.
4. Simulasi numerik tidak hanya pada arah gaya gangguan horizontal (*surge*) saja melainkan ke semua derajat kebebasan yaitu *sway*, *heave*, *roll*, *pitch* dan *yaw*.
5. Parameter frekuensi gangguan dibuat mendekati frekuensi air laut yang sesungguhnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Barras, B., & Derrett, D., (2006), *Ship Stability for Master and Mates*. England: Stanford Maritime.
- Cendrawani, E.B., Djatmiko dan Sutomo J., (2012), Studi Komparasi Perilaku Dinamik *Tension Leg Platform* Kolom Tunggal Bertelapak Kaki Bintang Tiga dan Bintang Empat dengan Pendekatan Pembebanan Berdasar Teori Morison dan Difraksi. *JURNAL TEKNIK ITS* Vol. 1, No. 1, hal. G155-G160.
- Djarmiko, E.B., Murdjito dan Sad'yah, M.H.D., (2012), Analisis *Fatigue Top Side Support Structure Silindris Seastar Tension Leg Platform (TLP)* Akibat Beban Lingkungan *North Sea*. *JURNAL TEKNIK ITS* Vol. 1, No. 1, hal.G207-G211.
- El-gamal, A.R., and Refat, H.M., (2014), *Influence of the Density of Water on the Dynamic Behavior of Square Tension Leg Platform*. *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, Vol. 2, No. 4, pp. 122-129.
- Gde, P.S, dan Rudi, W.P., (2003), Respon Dinamik Nonlinier Struktur *Tension Leg Platform* Akibat Gaya Gelombang. *Jurnal Teknik Sipil ITS* Vol. 10, No. 3, hal. 81-91.
- Holthuijsen, L. H., (2007), *Waves in Oceanic and Coastal Waters*. Cambridge University Press; Cambridge Core.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511618536>
- Le Méhauté, B., (1976), *An Introduction to Hydrodynamics and Water Waves* (Springer Study Edition). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
<https://www.springer.com/gp/book/9783642855672>

- Lesmana, A.,(2002), *Studi Parametrik Respon Dinamis Tension Leg Platform Pada Gelombang Reguler*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS.
- Morison, J.R., O'Brien, M.P., Johnson, J.W. and Scaaf, S.A., (1950), *The Forces Exerted by Surface Waves on Piles*. Petroleum Transactions AIME, Vol.189, pp.149-154.
- Mutedjo, (1999), *Teori Bangunan Kapal 1*.
- Safitri, Y., (2016), *Analisa Respon Gerak Ponton Dan Pendulum Vertikal Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut- Sistem Bandul (PLTGL-SB)*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS.
- Sagita, I.O., (2019), *Jenis-Jenis Offshore Platform Rig yang Sering Dipakai oleh Pemburu Minyak*. <<http://rinaldyaulia.blogspot.com/2009/12/berbagai-jenis-anjungan-lepas-pantai.html>> [Diakses pada 08 September 2020].
- Sarpkaya, T., (2010), *Wave Forces on offshore structures*. Cambridge university press
- Sarpkaya, T., (1976), *Vortex Shedding and resistance in harmonic flow about smooth and rough circular cylinders at higt reynolds number*. Naval Postgraduate School Monterey CA.
- Sundar, V., (2016), *Ocean Wave Mechanics: Applications in Marine Structures*. John Wiley & Sons Ltd.
- Triadmojo, B., (1999), *Teknik Pantai*. FT. TGM, Yogyakarta.
- Tungga Bhimadi Karyasa, (2010), Penerbit; CV. Andi Offset, November 2010
Buku ; dasar-dasar Getaran Mekanis

Wilson, B., (1963), Condition of Existance for Types Of Tsunami waves. XIII Th
General Assembly IUGG, Berkeley, California.

Widiarsono, T., (2005), *Tutorial Praktis Belajar Matlab*. Jakarta