

**MODIFIKASI GEOMETRI PEMBANGKIT GELOMBANG DAN  
KARAKTERISASI BENTUK GELOMBANG**

(Skripsi)

Oleh

**WIYOGA SATRIATAMA**

**NPM 2015021064**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

## **ABSTRAK**

### **MODIFIKASI GEOMETRI PEMBANGKIT GELOMBANG DAN KARAKTERISASI BENTUK GELOMBANG**

**Oleh**

**Wiyoga Satriatama**

Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan terbesar di dunia, dengan luas lautan yang mencapai 62% dari luas wilayahnya. Potensi sumber daya alam di bidang kelautan sangatlah besar dan perlu adanya dasar ilmu pengetahuan yang mempelajari hal tersebut. Salah satu ilmu pengetahuan yang dapat mengeksplorasi bidang tersebut adalah struktur kelautan. Kegiatan eksplorasi ilmu struktur kelautan akan lebih jelas apabila menggunakan media edukasi berupa alat media pengombak skala laboratorium.

Penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi geometri dari komponen alat media pengombak, yaitu pembangkit gelombang. Modifikasi geometri dilakukan karena geometri pembangkit gelombang yang ada menghasilkan tinggi gelombang air yang kurang optimal untuk pengujian struktur kelautan. Sebagai bentuk evaluasi dari modifikasi pembangkit gelombang maka dilakukan eksperimen dengan objek uji berupa pelampung. Untuk melihat karakteristik dan jenis gelombang air yang berbeda-beda maka digunakan suatu perlakuan pada pembangkit gelombang dengan variasi eksentrisitas rotor penggerak. Variasi eksentrisitas rotor penggerak yang digunakan adalah 1 cm, 2 cm, dan 3 cm. Hasil eksperimen berupa grafik hasil pendeteksian objek uji dengan aplikasi Tracker dan hasil eksperimen tersebut dibandingkan dengan nilai perhitungan teoritis menggunakan aplikasi Matlab.

Dari penelitian ini disimpulkan bahwa tinggi gelombang air yang dihasilkan dari pembangkit gelombang dengan geometri yang baru lebih besar jika dibandingkan dengan geometri pembangkit gelombang yang lama. Pada pembangkit gelombang dengan geometri yang baru menghasilkan tinggi gelombang air yang optimal pada nilai eksentrisitas rotor penggerak 1 cm dan 2 cm dengan karakteristik gelombang air berupa gelombang Airy.

**Kata kunci: Struktur Kelautan, Geometri Pembangkit Gelombang, Airy.**

## **ABSTRACT**

### **WAVE GENERATOR GEOMETRY MODIFICATION AND WAVEFORM CHARACTERIZATION**

**By**

**Wiyoga Satriatama**

*Indonesia is one of the largest archipelagic countries in the world, with an ocean area that reaches 62% of its territory. The potential for natural resources in the marine sector is enormous and there is a need for a scientific basis that studies this. One of the sciences that can explore this field is marine structure. Exploration activities of marine structural science will be clearer if using educational media in the form of laboratory-scale chopping media tools.*

*This research aims to modify the geometry of the wave generator component. Geometry modification is carried out because the existing wave generator geometry produces a water wave height that is not optimal for testing marine structures. As a form of evaluation of the wave generator modification, experiments were carried out with a test object in the form of a buoy. To see the characteristics and types of different water waves, a treatment is used on the wave generator with variations in the eccentricity of the driving rotor. The driving rotor eccentricity variations used are 1 cm, 2 cm, and 3 cm. The experimental results are in the form of graphs of test object detection results with the Tracker application and the experimental results are compared with theoretical calculation values using the Matlab application.*

*From this research, it is concluded that the water wave height generated from the wave generator with the new geometry is greater when compared to the old wave generator geometry. The wave generator with the new geometry produces optimal water wave height at the driving rotor eccentricity values of 1 cm and 2 cm with water wave characteristics in the form of Airy waves.*

**Keywords: Marine Structures, Wave Generator Geometry, Airy.**

**MODIFIKASI GEOMETRI PEMBANGKIT GELOMBANG DAN  
KARAKTERISASI BENTUK GELOMBANG**

Oleh

**WIYOGA SATRIATAMA**

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2024**

Judul Skripsi : **MODIFIKASI GEOMETRI PEMBANGKIT  
GELOMBANG DAN KARAKTERISASI  
BENTUK GELOMBANG**

Nama Mahasiswa : **Wiyoga Satriatama**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2015021064

Jurusan : Teknik Mesin

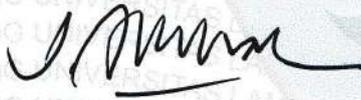
Fakultas : Teknik

**MENYETUJUI**

Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II



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



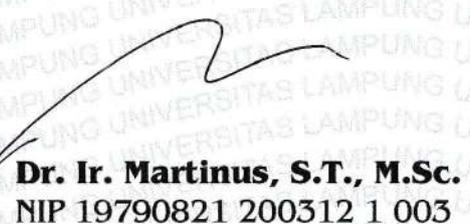
**Novri Tanti, S.T., M.T.**  
NIP 19701104 199703 2 001

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**

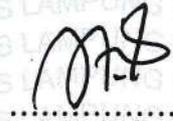
Ketua

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



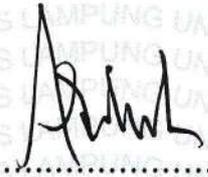
Anggota Penguji

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



Penguji Utama

**: Asnawi Lubis, S.T., M.Sc., Ph.D.**

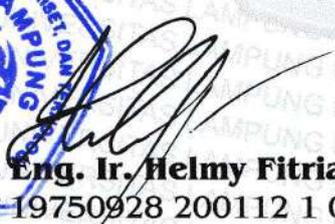


**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.**

**NIP 19750928 200112 1 002**



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 09 Oktober 2024**

## LEMBAR PERNYATAAN

TUGAS AKHIR INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL  
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 43 PERATURAN  
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN PERATURAN REKTOR  
No. 12 TAHUN 2022.

Bandar Lampung, 28 Oktober 2024

Pembuat Pernyataan



**Wiyoga Satriatama**  
NPM 2015021064

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Wiyoga Satriatama, dilahirkan di Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung pada tanggal 28 Januari 2002. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara, dari pasangan Bapak Condro Susilo, S.E. dan Ibu Daryanti. Penulis mengawali jenjang pendidikan formal di Taman Kanak-Kanak Al-Azhar Bandar Lampung pada tahun 2007 dan dilanjutkan SDS Al-Kautsar Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2014. Kemudian SMPS Al-Kautsar Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2017 dan SMAS Al-Kautsar Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2020. Pada tahun 2020, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung melalui Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Kepala Divisi Islam. Selain aktif dalam HIMATEM, penulis pernah menjadi asisten praktikum Fenomena Dasar Mesin dan Gambar Teknik. Penulis pernah melakukan kerja praktik (KP) di Pusat Riset Teknologi Tepat Guna (PRTTG) – Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Subang, Jawa Barat pada bulan Juli-Agustus tahun 2023 dengan judul **“Analisis Kekuatan Rangka dengan Beban Statik Menggunakan *Software Solidworks* pada Alat Ekstraktor Berbasis *Centrifuge* di Pusat Riset Teknologi Tepat Guna – Badan Riset dan Inovasi Nasional”**. Tahun 2024, penulis melakukan penelitian dengan judul **“Modifikasi Geometri Pembangkit Gelombang dan Karakterisasi Bentuk Gelombang”** dibawah bimbingan Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T. dan Ibu Novri Tanti, S.T., M.T.

## MOTTO

“Dan janganlah kamu memalingkan wajah dari manusia (karena sombong) dan janganlah berjalan di bumi dengan angkuh. Sungguh, Allah tidak menyukai orang-orang yang sombong dan membanggakan diri”.

(Q.S. Luqman : 18)

“Maka sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya beserta kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain), dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap”.

(Q.S. Al-Insyirah : 5-8)

“Maka barangsiapa mengerjakan kebaikan seberat zarrah, niscaya dia akan melihat (balasan)nya, dan barangsiapa mengerjakan kejahatan seberat zarrah, niscaya dia akan melihat (balasan)nya”.

(Q.S. Az-Zalzalah : 7-8)

“Belajarlah kamu semua, dan mengajarlah kamu semua, dan hormatilah guru-gurumu, serta berlaku baiklah terhadap orang yang mengajarkanmu”.

(H.R. Tabrani)

## PERSEMBAHAN



Alhamdulillahirobbil'alamin

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang.  
Puji Syukur kepada Allah atas segala nikmat, taufik, serta hidayah-Nya.

Kupersembahkan skripsi ini untuk:

Bapak dan Ibu tercinta, tersayang, dan terhormat. Terima kasih atas segala pengorbanan yang luar biasa, kasih sayang, dan doa yang diberikan untuk kesuksesanku.

Para guru dan dosen. Terima kasih atas kesabaran dan keikhlasannya dalam membimbing dan mengajariku.

Saudara dan teman-teman yang selalu memberikan dukungan serta selalu membantu dan menemani ketika dalam kesulitan.

Almamater Tercinta

## SANWACANA

*Assalamu'alaikum Warahmatullohi Wabarakatuh*

Alhamdulillahirobbil'alamin segala puji dan syukur kepada Allah S.W.T yang telah memberikan rahmat, hidayah serta karunia-Nya, dan shalawat serta salam tak lupa penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad S.A.W. sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Modifikasi Geometri Pembangkit Gelombang dan Karakterisasi Bentuk Gelombang”**.

Dalam mengerjakan skripsi ini penulis menyadari bahwa banyak bantuan, bimbingan, saran, dukungan, serta perhatian dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriyani, D.E.A., I.P.M. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan FT Universitas Lampung.
3. Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin FT Universitas Lampung.
4. Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin FT Universitas Lampung.
5. Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang dengan sabar membimbing, memberikan arahan, bantuan, nasihat, ilmu, dan motivasi selama proses pelaksanaan penelitian hingga penyusunan skripsi.
6. Ibu Novri Tanti, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Komputasi Mekanik Teknik Mesin FT Universitas Lampung sekaligus sebagai Dosen Pembimbing II yang dengan sabar membimbing, memberikan arahan, bantuan, nasihat, ilmu, dan motivasi hingga selesainya skripsi ini.

7. Dr. Asnawi Lubis, S.T., M.Sc. selaku Kepala Laboratorium Mekanika Struktur FT Universitas Lampung sekaligus sebagai Dosen Pembimbing Akademik dan Dosen Pembahas yang telah memberikan bimbingan, nasihat, kritik, saran, dan motivasi selama penulis menuntut ilmu di Jurusan Teknik Mesin FT Universitas Lampung serta dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai.
8. Kedua orang tua penulis, Bapak Condro Susilo, S.E. dan Ibu Daryanti yang aku cintai dan sayangi. Terima kasih atas nasihat, kasih sayang, dukungan, bimbingan, dan motivasi yang terus diberikan serta doa yang selalu dipanjatkan setiap saat. Semoga Allah S.W.T. senantiasa selalu menyayangi, melindungi, memberikan kesehatan, serta memberikan rezeki yang cukup.
9. Kakak penulis, Niken Ayuningtyas, S.Si. yang selalu memberikan semangat, dukungan, doa, dan kasih sayangnya.
10. Sahabat sekaligus keluarga kedua penulis, Ariza Rahman, Chairil Anwar, Riza Tohariansyah, M. Taufik Nurkalam, Fadil Rizky Irawan, dan Bagus Satriotomo yang selalu memberikan dukungan, canda tawa, bantuan, selalu menemani serta mendengarkan keluh kesah selama pelaksanaan penelitian hingga penyusunan skripsi.
11. Teman-teman Mesin Angkatan 2020 yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih atas kebersamaan, keakraban, canda tawa, bantuan, serta dukungan selama ini yang telah kalian berikan.
12. Seluruh dosen dan staf Jurusan Teknik Mesin FT Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu dan bantuan kepada penulis.
13. Almamater tercinta Universitas Lampung dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Semoga Allah S.W.T. selalu memberikan berkah dan karunia-Nya kepada semua pihak yang telah membantu penulis. Akhir kata, penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan dan penyusunan skripsi ini. 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.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Bandar Lampung,

Penulis,

*Wiyoga Satriatama*

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>SAMPUL DEPAN</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN JUDUL DALAM</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	<b>vi</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b>	<b>vii</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b>	<b>viii</b>
<b>MOTTO</b>	<b>ix</b>
<b>PERSEMBAHAN</b>	<b>x</b>
<b>SANWACANA</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan	3
1.3. Hipotesis	4
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Sistematika Penulisan	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Gelombang Air	6
2.2. Klasifikasi Gelombang Air	7
2.2.1. Teori Gelombang Airy	8
2.2.2. Teori Gelombang Stokes	10
2.2.3. Teori Gelombang Cnoidal	10
2.2.4. Teori Gelombang Soliter	11

2.3.	Orbit Partikel Gelombang Air	12
2.4.	Gaya Apung ( <i>Buoyancy</i> )	14
2.5.	Desain Rekayasa	15
2.6.	<i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD)	18
2.7.	Ansys	19
	2.7.1. <i>Modelling</i>	20
	2.7.2. <i>Meshing</i>	20
	2.7.3. <i>Setup dan Solution</i>	21
	2.7.4. <i>Result</i>	21
2.8.	Tracker	21
2.9.	Matrix Laboratory (MATLAB)	22
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>		
3.1.	Waktu dan Tempat	24
3.2.	Diagram Alir Penelitian	25
3.3.	Metode Penelitian	26
	3.3.1. Modifikasi Geometri	26
	3.3.2. Eksperimen	27
	3.3.3. Analitik	33
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1.	Hasil Modifikasi Geometri Pembangkit Gelombang	34
4.2.	Karakterisasi Gelombang Air	35
4.3.	Eksperimen dan Analitik	38
	4.3.1. Eksentrisitas ( $e$ ) = 1 cm	39
	4.3.2. Eksentrisitas ( $e$ ) = 2 cm	41
	4.3.3. Eksentrisitas ( $e$ ) = 3 cm	43
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
5.1.	Kesimpulan	47
5.2.	Saran	48
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>49</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Hasil Eksperimen $e_1$ , $e_2$ , dan $e_3$	36
Tabel 2. Perbandingan Parameter Gelombang Air	37

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Gelombang air berdasarkan frekuensi	7
Gambar 2. Klasifikasi gelombang berdasarkan profil	8
Gambar 3. Ilustrasi gelombang Airy	9
Gambar 4. Ilustrasi gelombang Stokes	10
Gambar 5. Ilustrasi gelombang Cnoidal	11
Gambar 6. Ilustrasi gelombang Soliter	12
Gambar 7. Gerakan orbital di perairan dalam, perairan dengan kedalaman menengah, dan gelombang perairan dangkal	13
Gambar 8. Ilustrasi hukum Archimedes; (a) benda tenggelam, (b) benda melayang, (c) benda terapung	15
Gambar 9. Model Pahl dan Beitz dari Proses Desain	17
Gambar 10. Model Pugh dari Proses Desain	18
Gambar 11. Diagram alir penelitian	25
Gambar 12. Model 3D pembangkit gelombang sebelum dimodifikasi	26
Gambar 13. Model 3D pembangkit gelombang setelah dimodifikasi	27
Gambar 14. Alat uji media pengombak	28
Gambar 15. Skema proses pengujian	28
Gambar 16. Variasi eksentrisitas penggerak	29
Gambar 17. Langkah memasukkan data	30
Gambar 18. Pengaturan <i>gradient</i> warna	31
Gambar 19. Kalibrasi <i>stick</i>	31
Gambar 20. <i>Point mass</i>	32
Gambar 21. <i>Auto Tracking</i>	32
Gambar 22. Hasil pengolahan data	33

Gambar 23. Pembangkit gelombang sebelum dimodifikasi	34
Gambar 24. Pembangkit gelombang setelah dimodifikasi	35
Gambar 25. Sampel hasil simulasi Ansys Fluent	36
Gambar 26. Grafik perbandingan gelombang untuk $e = 3$ cm	37
Gambar 27. Grafik perbandingan gelombang untuk $e = 5$ cm	38
Gambar 28. Grafik perpindahan objek uji	39
Gambar 29. Grafik perpindahan objek uji pada $e = 1$ cm	40
Gambar 30. Profil perbandingan eksperimen dengan analitik pada $e = 1$ cm	41
Gambar 31. Grafik perpindahan objek uji pada $e = 2$ cm	42
Gambar 32. Profil perbandingan eksperimen dengan analitik pada $e = 2$ cm	43
Gambar 33. Grafik perpindahan objek uji pada $e = 3$ cm	44
Gambar 34. Profil perbandingan eksperimen dengan analitik pada $e = 3$ cm	45
Gambar 35. Grafik kesimpulan	46
Gambar 36. Referensi profil lengkungan pembangkit gelombang	53
Gambar 37. Bentuk rangka pembangkit gelombang	53
Gambar 38. Pembangkit gelombang sebelum pengecatan	54
Gambar 39. Pembangkit gelombang setelah pengecatan	54
Gambar 40. Desain pembangkit gelombang dengan geometri yang baru	55

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan luas perairan mencapai 62% dari luas wilayah Indonesia. Menurut data rujukan yang dikeluarkan oleh Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman, Indonesia memiliki luas perairan pedalaman dan perairan kepulauan mencapai 3.110.000 km<sup>2</sup> dengan jumlah pulau sebanyak 17.504 pulau. Data ini menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara kepulauan dan negara maritim terbesar di dunia. Kondisi geografis tersebut menjadi identitas negara Indonesia yang dapat dijadikan sebagai potensi untuk memajukan bangsa.

Eksplorasi dari potensi kemaritiman negara Indonesia dapat dikembangkan dengan membuat desain rekayasa suatu alat simulasi berupa pembangkit gelombang air dengan ukuran skala laboratorium. Menurut Hurst (1999) desain rekayasa adalah suatu aktivitas yang dilakukan untuk mencari solusi – solusi dari permasalahan yang belum bisa terpecahkan. Pemecahan masalah tersebut menggunakan penyelesaian yang berbeda-beda. Perancang rekayasa menyelesaikan permasalahan yang ada dengan mengaplikasikan ilmu pengetahuan ke dalam metode pemecahan masalah tersebut. Akan tetapi, metode yang digunakan harus memenuhi pasar yang telah disepakati dan memungkinkan untuk dilakukan proses manufaktur dengan metode yang optimum. Aktivitas desain tidak lengkap hingga produk yang dihasilkan dalam penggunaannya memberikan suatu tingkat unjuk kerja yang dapat diterima serta dengan metode pembuangan yang diidentifikasi secara jelas. Identifikasi yang dapat dilakukan dengan melihat produk memecahkan masalah.

Desain rekayasa dapat menyelesaikan suatu permasalahan yang ada dengan memperhatikan beberapa hal. Salah satu permasalahan yang dapat diselesaikan dengan desain rekayasa adalah geometri dari pembangkit gelombang yang sebelumnya sudah dibuat. Bentuk geometri dari pembangkit gelombang yang ada dirasa kurang efektif dalam membangkitkan gelombang linier atau Airy. Selain itu, pembangkit gelombang tersebut masih memiliki gaya apung yang besar sehingga menyebabkan nilai efisiensi dari penggunaan motor listrik menjadi kurang optimal.

Teori gelombang Airy merupakan teori gelombang sederhana yang memiliki nilai amplitudo yang kecil. Teori ini pertama kali dikemukakan oleh Sir. George Biddell Airy pada tahun 1845 dan teori ini sering disebut juga teori gelombang linier atau teori gelombang amplitudo kecil (Gerrits dkk., 2020). Menurut Sundar (2016) teori gelombang Airy adalah teori Stokes orde pertama yang didasarkan pada premis bahwa gerakan cukup kecil untuk memungkinkan kondisi batas permukaan bebas dilinearisasi. Dilinearisasi merupakan ketentuan yang melibatkan amplitudo gelombang ke orde kedua dan lebih tinggi dapat diabaikan. Jika amplitudo gelombang besar maka suku orde tinggi harus dipertahankan untuk mendapatkan representasi gerak gelombang yang akurat. Gerak gelombang air sendiri terbentuk dari beberapa gaya yang diantaranya adalah gaya seret dan gaya inersia. Masing-masing gaya tersebut dipengaruhi oleh kecepatan dan percepatan partikel air, sebagaimana yang dikemukakan oleh Morison Familiar yang dikenal sebagai Persamaan Morison. Studi eksperimen dan analitik diperlukan untuk mengetahui bentuk gelombang air yang dihasilkan oleh pembangkit gelombang dengan geometri yang baru. Sebuah konsep yang ditemukan dalam penelitian mengenai pengaruh bentuk geometri pembangkit gelombang dalam pengelompokan jenis ombak yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya. Hasil gelombang yang dibentuk dari pembangkit gelombang dengan geometri baru diharapkan dapat menghasilkan gelombang Airy.

Gelombang Airy berbentuk kurva sinusoidal dan dapat bangkit apabila kecepatan pembangkit gelombang yang semakin cepat. Penjalaran gelombang terjadi dari titik yang paling dekat dengan sistem pembangkit gelombang menuju titik simulasi

pantai. Sampel data yang diperoleh dari penelitian sebelumnya menunjukkan panjang gelombang maksimum yang terukur pada kecepatan motor DC 113 rpm sebesar 30 cm, pada kecepatan 145,3 rpm sebesar 26,5 cm, pada kecepatan 155,5 rpm sebesar 22 cm, pada kecepatan 195,5 rpm sebesar 16,5 cm, dan pada kecepatan 221,5 rpm sebesar 11 cm (Vionita dkk., 2022). Berdasarkan data tersebut, untuk menghasilkan panjang gelombang yang besar maka perlu menggunakan putaran motor yang kecil. Menurut Hughes dan Drury (2019) salah satu cara untuk mereduksi kecepatan motor penggerak listrik adalah dengan menambah beban pada poros keluaran dari motor listrik atau dengan kata lain menambah massa pembangkit gelombang. Sehingga gelombang air yang dihasilkan dapat lebih besar daripada pembangkit gelombang sebelumnya. Penelitian ini diawali dengan permodelan 3D menggunakan *software* Solidworks dengan membuat profil lengkungan pada pembangkit gelombang berdasarkan teori gelombang Airy. Selanjutnya model tersebut digunakan sebagai acuan dalam pembuatan pembangkit gelombang. Setelah itu, pembangkit gelombang yang baru dievaluasi dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik gelombang air yang terbentuk. Karakteristik gelombang air dianalisis menggunakan aplikasi Tracker untuk melihat pergerakan objek uji dan Matlab untuk membandingkan data eksperimen dengan data analitik. Penelitian ini memiliki urgensi sebagai analisis karakterisasi gelombang air, sehingga dapat mendukung realisasi pengaruh ombak dalam penerapan teknologi kemaritiman di Indonesia.

## **1.2. Tujuan**

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan modifikasi geometri pada pembangkit ombak, dengan tujuan khusus:

1. Mendapatkan bentuk geometri yang baru agar menghasilkan nilai tinggi gelombang air yang lebih besar dari pembangkit gelombang yang sudah ada.
2. Mengarakterisasi gelombang yang dihasilkan akibat pengaruh geometri pembangkit gelombang dengan variasi eksentrisitas penggerak.

### **1.3. Hipotesis**

Penulis memiliki hipotesis pada kajian penelitian ini yang diantaranya sebagai berikut:

1. Bentuk geometri dan massa dari pembangkit gelombang mempengaruhi karakteristik bentuk gelombang air yang dihasilkan. Semakin berat massa pembangkit gelombang maka akan semakin besar tinggi gelombang air yang dihasilkan.
2. Semakin besar nilai eksentrisitas penggerak atau panjang langkah dari pembangkit gelombang maka bentuk orbit partikel air yang dihasilkan akan semakin besar.

### **1.4. Batasan Masalah**

Kajian dalam penelitian ini penulis membatasi masalah sebagai berikut:

1. Karakterisasi gelombang dilakukan secara eksperimen dan analitik.
2. Hasil eksperimen yang diperoleh dibandingkan dengan teori gelombang Airy dan Stokes.

### **1.5. Sistematika Penulisan**

Isi dari laporan Tugas Akhir ini terdiri dari beberapa bab dengan substansi yang beragam yang diantaranya adalah pendahuluan, tinjauan pustaka, metodologi, hasil dan pembahasan, & kesimpulan dan saran. Bab pertama adalah pendahuluan yang menjelaskan latar belakang dilakukannya penelitian. Dijelaskan pula wawasan dalam mengetahui dasar-dasar karakterisasi dan teori mengenai gelombang air. Penelitian ini ditekankan pada beberapa pokok subjek yang terdapat pada batasan masalah.

Bab kedua adalah tinjauan pustaka yang berisi tentang teori dasar yang dirujuk sebagai pedoman untuk melakukan penelitian. Teori dasar ini dapat berupa tentang

gelombang air, desain rekayasa, dan penjelasan singkat tentang aplikasi Tracker dan Matlab. Selanjutnya, bab ketiga yang merupakan metodologi penelitian. Pada bab ini dijelaskan tahapan yang dilakukan untuk mendapatkan hasil penelitian serta agenda dan rancangan waktu penelitian juga anggaran yang dikeluarkan selama penelitian. Kemudian dijelaskan pula terkait metode yang digunakan pada penelitian seperti teknis perancangan alat dan pengambilan data dengan menggunakan aplikasi Tracker dan Matlab.

Bab keempat adalah hasil dan pembahasan, dimana hasil penelitian dijelaskan pada bab ini. Penjelasan diawali dengan penjabaran hasil dan dilanjutkan dengan pembahasan terkait hasil yang telah diperoleh. Dalam penjabaran hasil dan pembahasan didapatkan data berupa bentuk geometri yang dimodifikasi dan grafik pendekatan karakterisasi gelombang ombak dengan variasi eksentrisitas penggerak terhadap perhitungan klasifikasi teori gelombang air. Kemudian yang terakhir adalah bab kelima yang merupakan kesimpulan dan saran. Kesimpulan yang diperoleh dituliskan pada bagian ini secara ringkas dan jelas. Kemudian dilanjutkan dengan saran untuk penelitian selanjutnya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Gelombang Air**

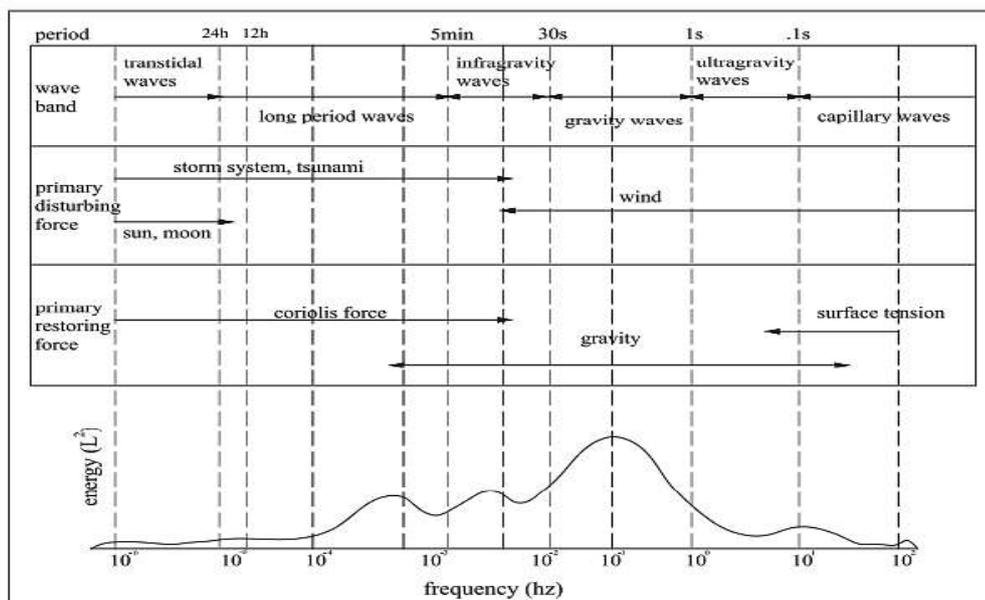
Gelombang laut (ombak) adalah pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. Gelombang laut biasanya disebabkan oleh angin. Gelombang laut selalu menimbulkan sebuah ayunan air yang bergerak tanpa henti-hentinya pada permukaan air laut dan jarang dalam sama sekali diam. Secara teori, pengertian gelombang laut (ideal) adalah pergerakan naik turunnya muka air laut yang membentuk lembah dan bukit mengikuti gerak sinusoidal (Faharuddin dkk., 2019).

Gelombang air sangat identik dengan ombak atau gelombang yang timbul pada air laut. Gelombang laut adalah bentuk permukaan laut yang berupa punggung atau puncak gelombang dan palung atau lembah gelombang oleh gerak ayun (*oscillatory movement*) akibat tiupan angin, erupsi gunung api, pelongsoran dasar laut, atau lalu lintas kapal (Sumihi dkk., 2017). Gelombang laut memiliki dimensi seperti periode gelombang, panjang gelombang, tinggi gelombang, dan cepat rambat gelombang. Periode gelombang (T) adalah waktu tempuh di antara dua puncak atau dua lembah gelombang secara berurutan pada titik yang tetap (satuan detik). Panjang gelombang (L) adalah jarak horizontal antara dua puncak atau dua lembah yang berurutan (satuan meter). Tinggi gelombang (H) adalah jarak vertikal antara puncak gelombang dan lembah gelombang (satuan meter). Cepat rambat gelombang adalah kecepatan tempuh perjalanan suatu gelombang, yang dapat diperoleh dengan pembagian panjang gelombang (L) dengan periode gelombang (T) atau  $C=L/T$ .

## 2.2. Klasifikasi Gelombang Air

Secara umum, gelombang air dapat disebabkan oleh perambatan yang berasal dari alam atau berasal dari buatan manusia. Kedua penyebab tersebut akan menimbulkan gelombang air yang mana apabila diklasifikasikan dapat berdasarkan pada bentuk, kedalaman relatif air, dan asal usulnya. Berdasarkan bentuknya, gelombang dibedakan menjadi gelombang progresif dan gelombang berdiri. Gelombang progresif mungkin beresilasi atau soliter. Menurut kedalaman relatif air, ada dua jenis gelombang yaitu gelombang amplitudo kecil dan gelombang amplitudo terbatas. Gelombang dengan amplitudo terbatas selanjutnya dapat diklasifikasikan menjadi gelombang kedalaman menengah (gelombang Stokes) dan gelombang air dangkal (gelombang Cnoidal) (Sundar, 2016).

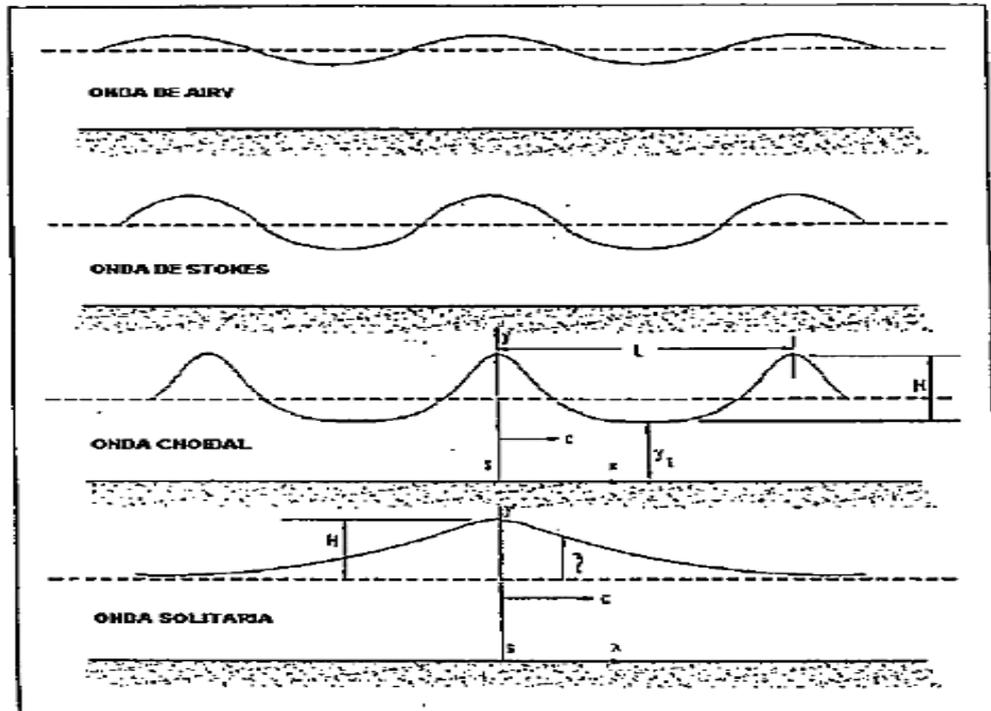
Gelombang air dapat diklasifikasikan menjadi beberapa bagian dan salah satunya adalah berdasarkan frekuensi. Klasifikasi gelombang air berdasarkan frekuensinya dapat dilihat pada Gambar 1. Frekuensi gelombang akan mempengaruhi bentuk gelombang air yang akan dihasilkan. Besarnya frekuensi gelombang berbanding lurus dengan nilai energi dari gelombang air. Energi yang besar menghasilkan bentuk gelombang air yang besar pula. Hal tersebut dapat dilihat pada besarnya panjang gelombang dari setiap jenis pergerakan gelombang air.



Gambar 1. Gelombang air berdasarkan frekuensi

(Sumber : Sundar, 2016)

Frekuensi yang dihasilkan dari pergerakan air akan membentuk gelombang air dengan profil tertentu. Pada Gambar 2 dijelaskan klasifikasi gelombang air berdasarkan bentuk profil gelombang yang dihasilkan.



Gambar 2. Klasifikasi gelombang berdasarkan profil

(Sumber : Sundar, 2016)

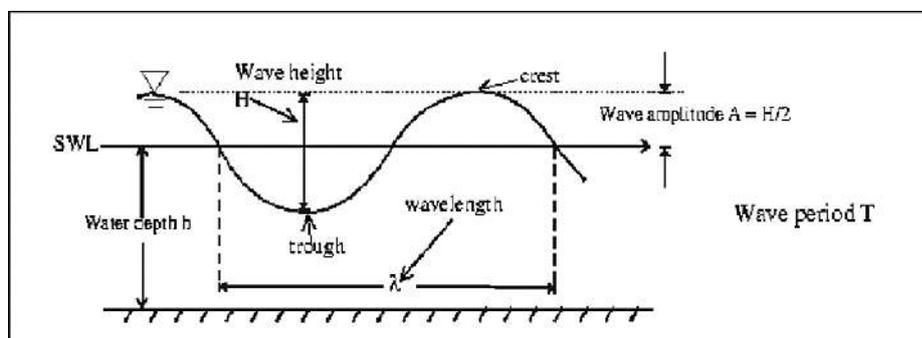
### 2.2.1. Teori Gelombang Airy

Teori gelombang Airy merupakan teori gelombang sederhana yang memiliki nilai amplitudo yang kecil. Teori ini pertama kali dikemukakan oleh Sir. George Biddell Airy pada tahun 1845 dan teori ini sering disebut juga teori gelombang linier atau teori gelombang amplitudo kecil (Gerrits dkk., 2020). Teori gelombang Airy adalah teori Stokes orde pertama yang berada pada rentang  $d/L$ . Teori gelombang Airy didasarkan pada premis bahwa gerakan cukup kecil untuk memungkinkan kondisi batas permukaan bebas dilinearisasi, yaitu, ketentuan yang melibatkan amplitudo gelombang ke orde kedua dan lebih tinggi dapat diabaikan. Jika amplitudo gelombang besar, suku orde tinggi gelombang besar, suku orde tinggi harus dipertahankan untuk mendapatkan representasi gerak gelombang yang akurat (Sundar, 2016).

Menurut Kiftiah dkk. (2016) persamaan gelombang Airy adalah Persamaan Diferensial Parsial Linear Orde 3 yang disebut persamaan dispersi. Dispersi sendiri merupakan fenomena penguraian gelombang berdasarkan frekuensi gelombang. Dispersi muncul pada suatu kasus dimana gelombang mempunyai dua kerapatan yang berbeda. Sehingga hal tersebut mengakibatkan pembiasan dan pembelokan arah. Berdasarkan persamaan dispersi, terdapat hubungan antara frekuensi dan kecepatan yang disebut relasi dispersi. Relasi dispersi muncul akibat dekomposisi gelombang berdasarkan frekuensinya. Semakin besar frekuensi yang dihasilkan semakin besar pula kecepatannya untuk merambat dan begitu pula sebaliknya. Walaupun terdapat dekomposisi antara frekuensinya, profil gelombang tetap stabil dan tidak menyebar yang diakibatkan adanya relasi dispersi didalamnya. Persamaan umum yang menjelaskan teori Airy dapat dilihat pada persamaan (1) berikut ini (Hutahean dkk., 2005):

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t) \quad (1)$$

Teori gelombang Airy mengasumsikan bahwa lapisan fluida memiliki kedalaman rata-rata yang seragam, dan aliran fluida adalah tidak dapat dimampatkan serta tidak berotasi. Teori gelombang Airy sering diaplikasikan dalam teknik kelautan dan teknik pesisir untuk pemodelan keadaan laut acak Teori linier ini sering digunakan untuk mendapatkan perkiraan yang cepat dan kasar tentang karakteristik gelombang dan efeknya. Perkiraan ini akurat untuk rasio yang kecil antara tinggi gelombang dengan kedalaman air (untuk gelombang di perairan dangkal), dan tinggi gelombang dengan panjang gelombang (untuk gelombang di perairan dalam). Bentuk dari gelombang Airy dapat dilihat pada Gambar 3.

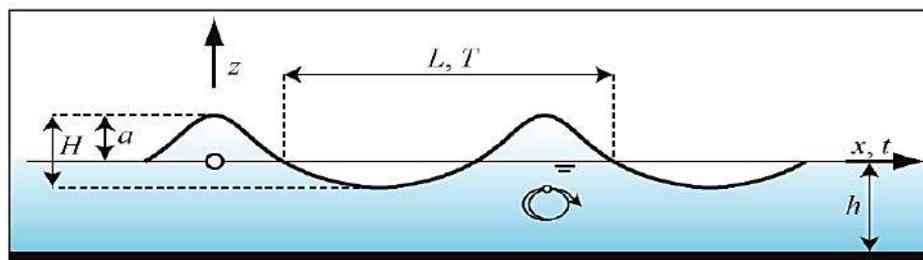


Gambar 3. Ilustrasi gelombang Airy

(Sumber : Kiftiah dkk., 2016)

### 2.2.2. Teori Gelombang Stokes

Teori gelombang Stokes merupakan pengembangan dari teori Airy yang menambah dan mengembangkan suatu pemecahan masalah gelombang dalam bentuk serial kemudian menentukan koefisien-koefisien untuk masing-masing persamaan gelombang (Kawengian dkk., 2018). Bentuk teori gelombang Stokes dinyatakan sebagai rangkaian suku  $\cos n(kx - \omega t)$ , dimana  $(n = 0, 1, 2, 3, \dots)$ . Di perairan dalam,  $(H/L)^3$  dan pangkat yang lebih tinggi diabaikan dari deret Fourier yang berkaitan dengan analisis tersebut (Sundar, 2016). Untuk parameter tinggi gelombang Stokes, dapat didefinisikan menggunakan tinggi gelombang yang tidak berdimensi terhadap panjang gelombang dalam bentuk  $\varepsilon = kH/2$ , dimana  $k$  adalah bilangan gelombang  $k = 2\pi/\lambda$ . Teori ini dapat dapat dijelaskan secara lengkap pada kedalaman tak berdimensi  $kd$  (Fenton, 1990). Adapun bentuk profil dari gelombang Stokes dapat dilihat pada ilustrasi pada Gambar 4.



Gambar 4. Ilustrasi gelombang Stokes

(Sumber : Heller dkk., 2009)

Teori gelombang Stokes diperoleh dari penurunan persamaan teori gelombang Airy. Adapun persamaan tersebut dapat dilihat pada persamaan (2) berikut ini (Hutaean dkk., 2005):

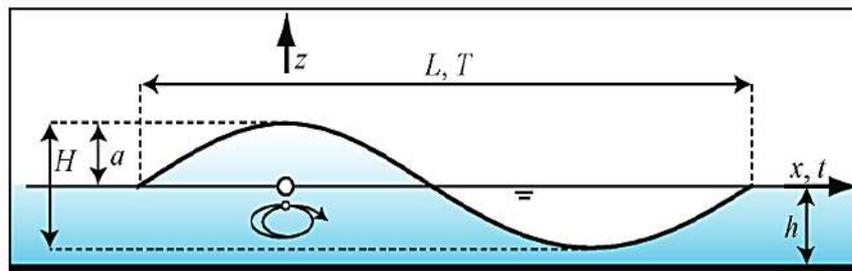
$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t) + \frac{\pi H^2}{8L} \frac{\cosh kd}{\sinh^3} (2 + \cosh 2kd) \cos 2(kx - \omega t) \quad (2)$$

### 2.2.3. Teori Gelombang Cnoidal

Teori gelombang Cnoidal digunakan untuk gelombang periodik yang merambat di air yang kedalamannya kurang dari sepersepuluh panjang gelombang (Wiegel, 1960). Teori gelombang Cnoidal dapat didefinisikan sebagai gelombang non-linier di perairan dangkal yang memiliki interaksi triad (Mahmoudof dan Hajivalie,

2017). Menurut Budipriyanto (2008) gelombang Cnoidal mempunyai puncak terjal dengan lembah yang lebar hampir landai dan panjang gelombang yang lebih besar dari panjang gelombang linier (Airy). Akibatnya tekanan, gaya, dan momen guling akibat gelombang yang panjang gelombangnya dihitung berdasarkan asumsi gelombang linier akan lebih kecil dibandingkan panjang gelombang yang dihitung dengan gelombang tidak linier. Namun untuk menghitung panjang gelombang dari gelombang tidak linier lebih sulit sehingga dengan alasan praktis biasanya perhitungan didasarkan asumsi gelombang linier.

Menurut Fenton (1990) gelombang Cnoidal, yaitu gelombang periodik di perairan menengah atau dangkal. Gelombang ini dihasilkan oleh angin di perairan dangkal. Gelombang Cnoidal mempunyai karakteristik berosilasi, tetapi juga menunjukkan orbit partikel air terbuka dan mengangkut massa fluida. Gelombang Cnoidal memiliki nilai amplitudo yang lebih kecil dari nilai tinggi gelombang. Hal tersebut dapat dilihat ilustrasi gelombang Cnoidal pada Gambar 5 berikut ini.



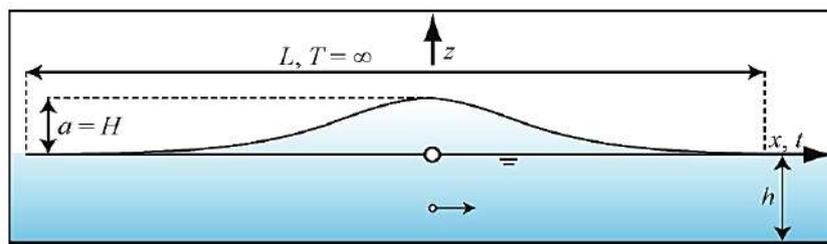
Gambar 5. Ilustrasi gelombang Cnoidal  
(Sumber : Heller dkk., 2009)

#### 2.2.4. Teori Gelombang Soliter

Gelombang Soliter tidak periodik dan tidak mempunyai panjang gelombang yang pasti dan mengalami penurunan karakteristik ketika berada di kedalaman perairan dangkal. Gelombang soliter berguna dalam permasalahan teknik seperti studi gelombang yang sangat panjang dengan contoh tsunami dan dalam menentukan sifat gelombang yang hampir pecah di perairan dangkal. Dalam kondisi tertentu, karakteristik gelombang tidak bergantung pada  $L$  dan  $T$  dan hanya bergantung pada  $H$  dan  $d$  (Sundar, 2016).

Salah satu contoh teori gelombang soliter adalah fenomena tsunami yang disebabkan oleh pergerakan lempeng tektonik. Gelombang soliter diklasifikasikan sebagai gelombang air non-linier yang terdiri dari puncak gelombang tetapi tidak ada palung. Amplitudo gelombang yang dihasilkan adalah sama dengan tinggi gelombang ( $a = H$ ). Selain itu, panjang gelombang ( $L = \infty$ ) dan gelombang tersebut diklasifikasikan sebagai gelombang perairan dangkal ( $L/h > 20$ ). Teori gelombang Soliter dikembangkan dari teori gelombang Cnoidal, dengan periode gelombang  $T \rightarrow \infty$ .

Pergerakan partikel air dari teori Soliter bersifat horizontal dan berdampak pada terjadinya transpor massa fluida dalam jumlah besar. Pada saluran berbentuk persegi panjang pada posisi horizontal, tinggi gelombang jenis ini secara teori tidak berkurang dan gelombang dapat merambat dalam jarak yang tidak terbatas tanpa adanya perubahan bentuk. Pada kenyataannya, turbulensi, yang terutama terjadi di dasar laut atau danau, mengakibatkan penurunan tinggi gelombang, namun hal ini masih lebih kecil dibandingkan dengan jenis gelombang lainnya (Heller dkk., 2009). Adapun penjelasan tersebut dapat dilihat ilustrasi pada Gambar 6.



Gambar 6. Ilustrasi gelombang Soliter

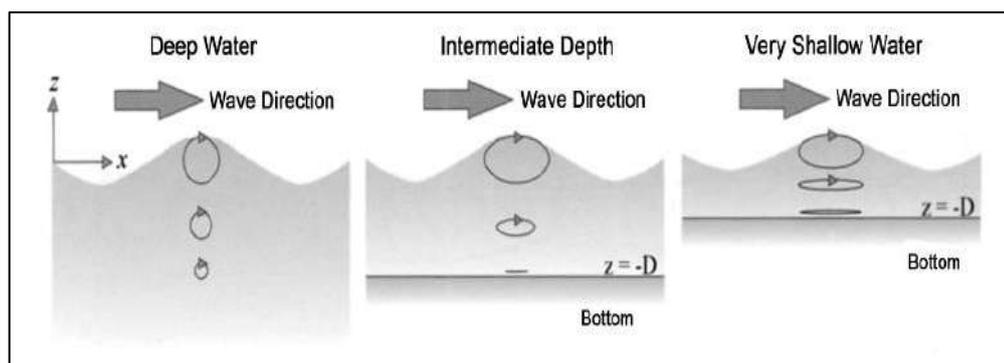
(Sumber : Heller dkk., 2009)

### 2.3. Orbit Partikel Gelombang Air

Gelombang air yang terbentuk pada suatu permukaan air akan menghasilkan arus melingkar di dalam air. Arus melingkar tersebut apabila diamati berbentuk gerakan partikel yang seperti orbit di dalam air. Gerakan orbit gelombang paling besar terjadi di permukaan dan berkurang seiring dengan kedalaman. Kedalaman orbital adalah kedalaman dimana gerakan orbital energi gelombang dapat dirasakan.

Kedalaman orbital sama dengan setengah dari panjang gelombang. Di permukaan laut, diameter orbital sama dengan tinggi gelombang. Dengan bertambahnya kedalaman, semakin sedikit energi gelombang yang dapat dirasakan. Kedalaman orbital adalah kedalaman di mana tidak ada energi gelombang yang tersisa.

Menurut Faizal dkk. (2010) gelombang air terbentuk dari gerakan longitudinal dan transversal. Pada gerakan longitudinal, partikel-partikel berosilasi bolak-balik sejajar dengan arah penjalaran gelombang. Sedangkan pada gerakan transversal, perpindahan partikel tegak lurus dengan arah transmisi gelombang. Partikel-partikel tidak bergerak bersama gelombang, tetapi berosilasi naik dan turun pada posisi stabilnya masing-masing. Menurut Ahmed dkk. (2010) gerakan orbit partikel air terdapat pada gelombang air dalam (kedalaman,  $D > \lambda/2$ ) dan juga pada gelombang air dangkal ( $D < \lambda/20$ ). Namun, meskipun orbitnya melingkar pada gelombang air dalam, orbitnya berbentuk elips pada gelombang air dangkal, dengan sumbu utama pada arah horisontal. Jari-jari orbit melingkar di perairan dalam berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman dan berhenti pada  $z < -\lambda/2$ . Di perairan dangkal, panjang sumbu minor berkurang dengan bertambahnya kedalaman, sedangkan sumbu mayor tetap konstan hingga ke dasar; yang berarti bahwa efek gelombang terasa hingga ke dasar. Dalam kasus ketika  $\lambda/20 < D < \lambda/2$ , gelombang disebut gelombang kedalaman menengah. Gerakan orbit dari partikel gelombang air dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Gerakan orbital di perairan dalam, perairan dengan kedalaman menengah, dan gelombang perairan dangkal

(Sumber : Ahmed dkk., 2010)

Karakteristik dari gelombang air yang terbentuk sangat bergantung dengan pergerakan partikel air. Adapun persamaan yang menjelaskan pergerakan partikel air dalam suatu kedalaman dapat dilihat pada persamaan (3) berikut ini (Sundar, 2016):

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh[k(z+d)]}{\sinh(kd)} \cos(kx - \omega t) \quad (3)$$

#### 2.4. Gaya Apung (*Buoyancy*)

Dalam hukum Archimedes, bahwa semua benda yang tercelup ke dalam fluida akan mendapat gaya apung sebanding dengan berat fluida yang dipindahkannya. Karena tekanan pada setiap titik di permukaan benda setara dengan *specific weight* dari fluida dan kedalaman, maka total gaya yang bekerja pada bagian kiri dan kanan benda tersebut menjadi sama dan dapat diabaikan (kesetimbangan gaya arah horizontal,  $\Sigma F_x = 0$ ) (Sugiri dkk., 2016).

Besar gaya apung bergantung pada volume benda yang tercelup dan fluida yang dipindahkan (didesak). Besarnya gaya apung juga dipengaruhi oleh massa jenis fluida. Semakin besar massa jenis fluida, semakin besar gaya apungnya, dan sebaliknya. Oleh karena itu, berat benda yang tercelup dalam fluida selalu lebih kecil daripada berat benda sesungguhnya akibat adanya gaya apung. Hal tersebut dapat dijelaskan pada persamaan (4) berikut ini (Sugiri dkk., 2016):

$$F_a = \rho_c v_c g \quad (4)$$

Dimana :

$F_a$  = Gaya apung (N)

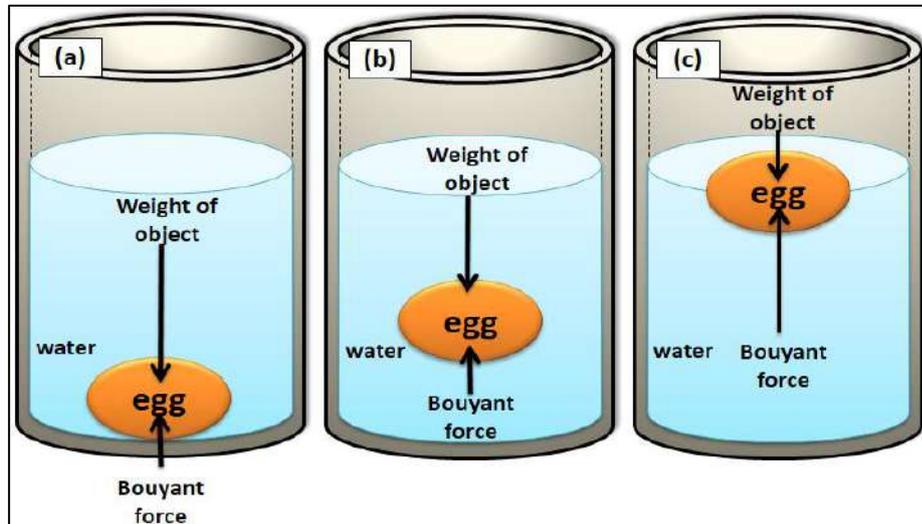
$\rho_c$  = Massa jenis zat cair ( $\text{kg/m}^3$ )

$v_c$  = Volume yang tenggelam ( $\text{m}^3$ )

$g$  = Percepatan Gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

Hukum Archimedes adalah hukum yang menyatakan bahwa setiap benda yang dicelupkan seluruhnya atau sebagian ke dalam zat cair, maka benda tersebut menerima gaya ke atas (atau gaya apung). Besarnya gaya apung sama dengan berat

air yang dipindahkan oleh benda ( $W = m \times g$ ; dimana  $W$  adalah berat benda,  $m$  adalah massa benda, dan  $g$  adalah gravitasi bumi ( $9,807 \text{ m/s}^2$ )). Gaya ini berlawanan arah dengan gaya berat (arah  $W$  ke bawah sedangkan arah gaya apung ( $F_a$ ) ke atas) (Hidayat dkk., 2020). Gambar 8 menunjukkan ilustrasi benda-benda di dalam medium yang memenuhi hukum Archimedes.



Gambar 8. Ilustrasi hukum Archimedes; (a) benda tenggelam, (b) benda melayang, (c) benda terapung  
(Sumber : Hidayat dkk., 2016)

Berdasarkan Gambar 8 bahwa sebuah benda dikatakan tenggelam jika  $W > F_a$ , melayang jika  $W = F_a$ , dan terapung jika  $W < F_a$ .

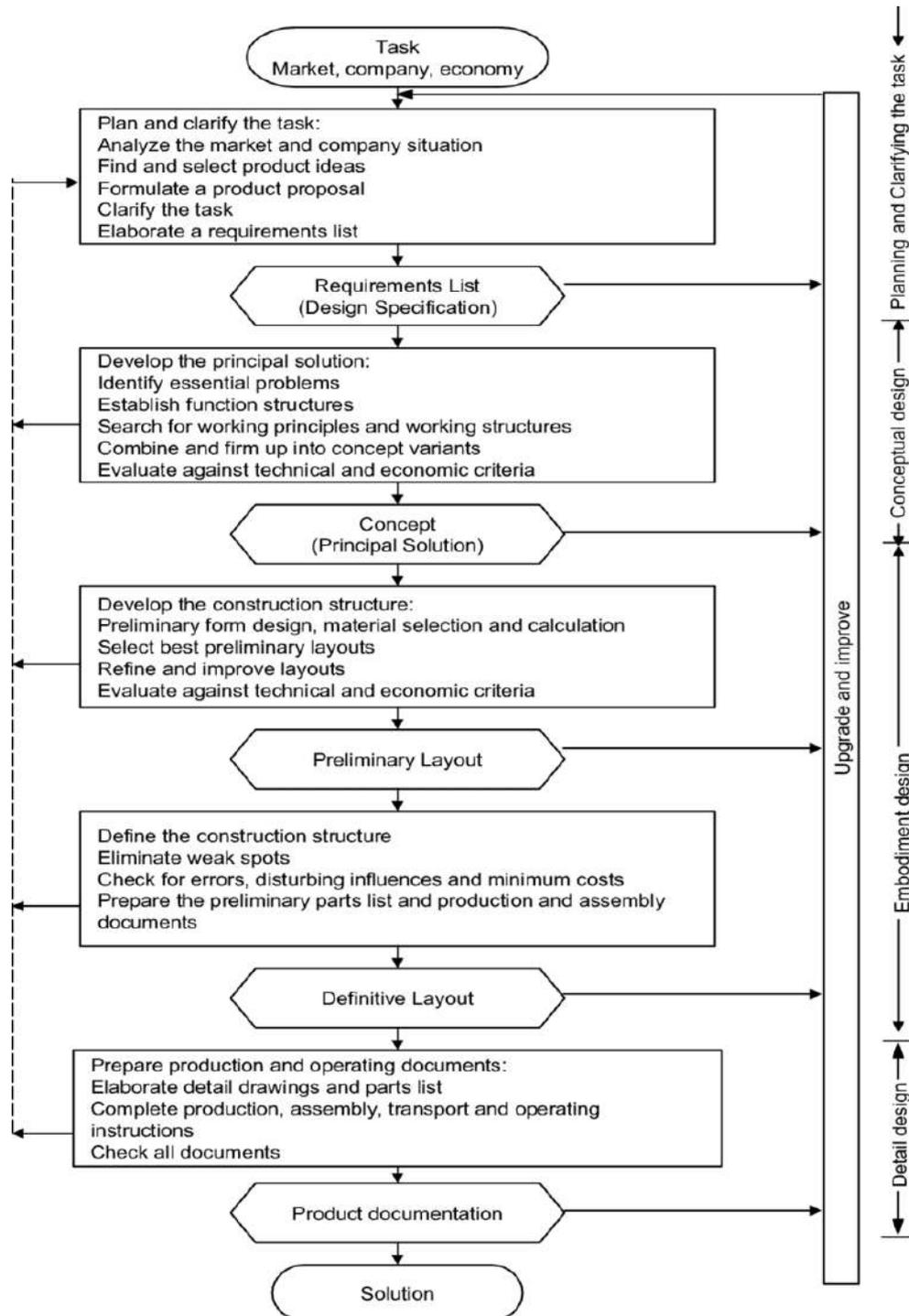
## 2.5. Desain Rekayasa

Menurut Hurst (1999) desain rekayasa adalah suatu aktivitas yang dilakukan untuk mencari solusi – solusi dari permasalahan yang belum bisa terpecahkan. Pemecahan masalah tersebut menggunakan penyelesaian yang berbeda-beda. Perancang rekayasa menyelesaikan permasalahan yang ada dengan mengaplikasikan ilmu pengetahuan ke dalam metode pemecahan masalah tersebut. Akan tetapi, metode yang digunakan harus memenuhi kebutuhan pasar yang telah disepakati dan memungkinkan untuk dilakukan proses manufaktur dengan metode yang optimum. Aktivitas desain tidak lengkap hingga produk yang dihasilkan dalam penggunaannya memberikan suatu tingkat unjuk kerja yang dapat diterima serta

dengan metode pembuangan yang diidentifikasi secara jelas. Desain rekayasa meliputi solusi teknis yang dapat dikembangkan, varian visual harus diusulkan dan dievaluasi, dan model serta prototipe dibuat untuk menentukan tampilan akhir produk. Ketika mencari solusi terdapat metode yang dapat dilakukan seperti *brainstorming*, pengembangan varian secara bertahap melalui sketsa, variasi konfigurasi, bentuk, dan warna yang sistematis (Pahl dkk., 2007). Aktivitas pencarian solusi dalam desain rekayasa dapat menggunakan metode tabel morfologi. Tabel morfologi berisi tentang bagaimana rancangan produk akan dibuat dengan memperhatikan beberapa aspek. Dapat dikatakan desain rekayasa teknik (terkadang disebut desain teknologi) adalah proses berulang dan sistematis untuk memecahkan masalah yang melibatkan kreativitas, pengalaman, dan akumulasi pengetahuan disiplin ilmu. Desain rekayasa adalah istilah yang luas, termasuk proses seperti desain arsitektur, desain manufaktur, desain industri, dan desain perangkat lunak. Sama seperti penyelidikan ilmiah, desain teknik adalah proses yang dinamis, bukan metode yang kaku. Penyelidikan ilmiah dimulai dengan sebuah pertanyaan dan dilanjutkan dengan membuat dan menguji hipotesis hingga pertanyaan tersebut terjawab.

Desain rekayasa adalah suatu aktivitas yang di dalamnya berisi tentang bagaimana cara menemukan suatu solusi atas permasalahan yang sedang terjadi. Desain rekayasa diawali dengan proses mengidentifikasi suatu permasalahan yang ada di sekitar. Kemudian permasalahan tersebut diselesaikan dengan beberapa metode dengan memperhatikan beberapa persyaratan atau kriteria desain. Metode pemecahan masalah tersebut dapat dikatakan sebagai solusi dalam menyelesaikan masalah. Selanjutnya beberapa solusi yang telah ditemukan akan dipilih menjadi solusi yang memungkinkan untuk dilakukan.. Setelah itu, solusi yang terpilih diimplementasikan ke dalam bentuk sketsa ide. Sketsa tersebut berupa tabel morfologi yang berisikan tentang mekanisme kerja atas solusi yang telah dipilih. Desain rekayasa memerlukan suatu pendekatan sistematis di dalam proses desain. Terdapat beberapa sistem yang pada dasarnya adalah sama, walaupun detailnya dapat bervariasi. Gambar 9 menunjukkan proses desain yang diajukan oleh Pahl and Beitz dan Gambar 10 adalah proses desain yang direkomendasikan oleh SEED.

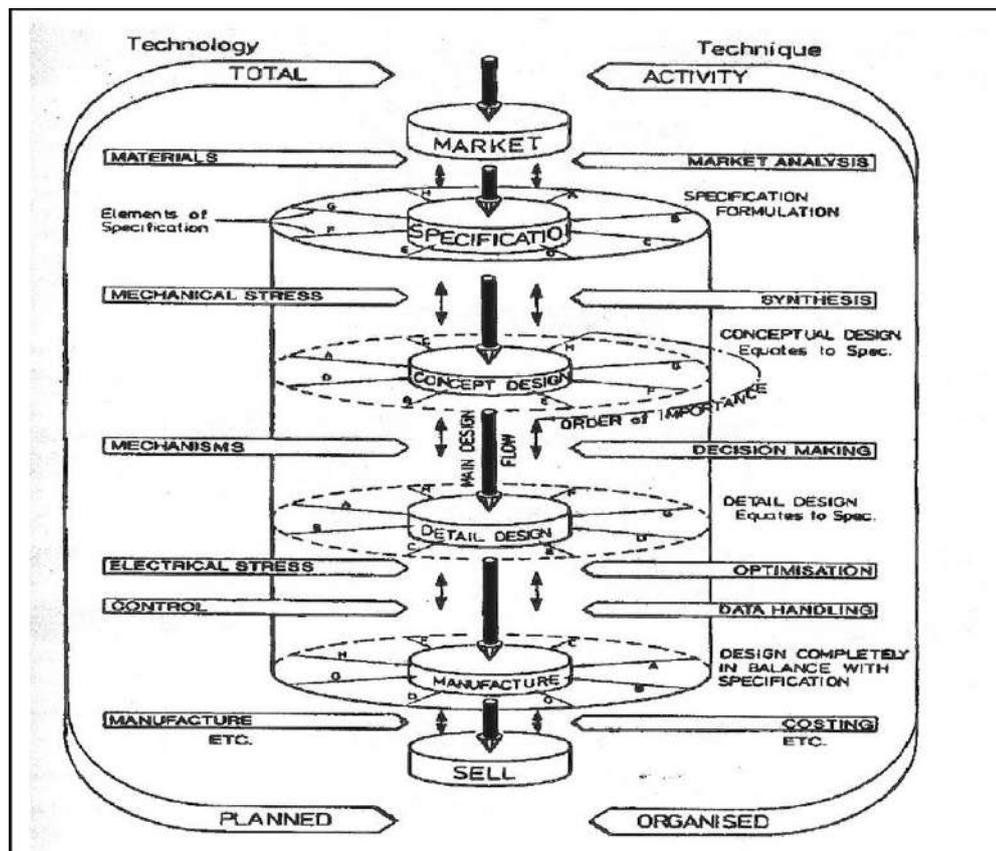
Kedua gambar tersebut menginformasikan beberapa persamaan dasar, yaitu: mengidentifikasi masalah, membuat solusi-solusi potensial, memilih satu solusi, menyempurnakan dan menganalisis konsep yang dipilih, membuat detail desain, menghasilkan diskripsi produk yang akan dapat dimanufaktur (Hurst, 1999).



Gambar 9. Model Pahl dan Beitz dari Proses Desain

(Sumber : Hurst, 1999)

Model Pugh (SEED Model) yang ada pada Gambar 10 adalah proses iteratif yang mencakup penelusuran balik dan aktivitas paralel. Proses iteratif dalam desain memberikan banyak informasi yang ditemukan sehingga akan semakin banyak pula ilmu pengetahuan yang diperoleh. Jika perancang tidak mengiterasi informasi baru maka pengembangan konsep baru tidak akan berjalan. Pendekatan sistematis bukanlah sesuatu yang harus diikuti secara kaku dan sebisa mungkin fleksibel dan unik. Proses desain rekayasa bukanlah sesuatu yang harus dilakukan secara berurutan akan tetapi proses yang harus diselesaikan (Hurst, 1999).



Gambar 10. Model Pugh dari Proses Desain

(Sumber : Hurst, 1999)

## 2.6. Computational Fluid Dynamics (CFD)

*Computational Fluid Dynamics (CFD)* adalah metode untuk memahami fenomena-fenomena fisis di sekitar benda uji dan di dalam benda uji. Proses simulasi CFD terdiri 5 tahapan yaitu geometri, *meshing*, *setup*, *solution*, dan *result* (Baliska dkk.,

2023). *Computational fluid dynamics* menggunakan persamaan diferensial parsial untuk memecahkan permasalahan aliran fluida. Pemecahan masalah tersebut memperhitungkan ruang dan waktu agar mendapatkan hasil numerik dalam bentuk bidang aliran (Wendt, 2008). CFD dapat memungkinkan untuk melihat aliran fluida dalam suatu dimensi atau bidang kerja yang berguna dalam hal menganalisis arah alirannya.

CFD merupakan program komputer untuk menganalisis secara kuantitatif aliran fluida, perpindahan panas, dan transpor fenomena. Analisis aliran fluida dalam suatu sistem dengan CFD merupakan analisis numerik dengan kontrol volume sebagai elemen dari integrasi persamaan-persamaan, yang terdiri dari persamaan kesetimbangan massa, momentum dan energi (Reniana dkk., 2017). Pada prinsipnya ada tiga langkah dalam analisis CFD yaitu *pre-processing*, *solution*, dan *post-processing*. *Pre-processing* adalah tahap yang diawali dengan proses pembuatan geometri, proses *meshing* atau *grid* dan pemberian kondisi batas. Proses *meshing* terbagi menjadi tiga tahap yaitu *meshing* garis, permukaan dan terakhir *meshing* volume (Reniana dkk., 2017). Proses *meshing* bertujuan untuk menandai area yang akan dianalisis dengan ukuran tertentu.

## 2.7. Ansys

Ansys merupakan program komputer yang bekerja dengan prinsip metode elemen hingga, dimana model yang dibuat akan dipecah menjadi bagian-bagian yang lebih kecil. Bagian – bagian kecil tersebut akan disatukan dengan titik simpul (*node*). Ketelitian hasil dari program Ansys sangat bergantung pada cara memecah model dan menggabungkannya (Amaliyah dkk., 2014). Ansys mempunyai beberapa produk untuk menganalisis suatu studi kasus yang kompleks seperti metode elemen hingga dan komputasi fluida dinamis. Salah satu produk Ansys yang berguna dalam hal menganalisis aliran fluida adalah Ansys Fluent.

Ansys Fluent memiliki fitur model mesh dinamis yang dapat digunakan untuk menganalisis gerakan yang relevan antara fluida dan benda padat selama simulasi. Model ini dapat diterapkan pada aliran tunggal maupun aliran multifasa yang dapat

berupa fluida dicampur atau tidak. Ciri dari jenis mesh volume ini adalah dapat mengikuti gerakan yang dilakukan oleh benda padat, baik gerakan yang ditentukan maupun tidak. Gerakan yang ditentukan dianggap sebagai gerakan dimana pengguna telah menentukan sejak awal kecepatan linier dan sudut pusat gravitasi benda padat untuk setiap momen temporal simulasi (Makrygiannis dan Dimas, 2015). Dalam menggunakan Ansys Fluent terdapat beberapa tahapan yang dilewati agar hasil analisis sesuai dengan apa yang diinginkan pengguna. Adapun tahapan dalam menggunakan aplikasi Ansys Fluent adalah sebagai berikut:

### **2.7.1. Modelling**

Ansys Design Modeler adalah aplikasi Ansys untuk tahapan awal dalam mendesain model untuk dianalisis. Ansys Design Modeler digunakan untuk membuat dan menghasilkan geometri untuk disimulasikan. Di bidang teknik simulasi, geometri berisi informasi tentang bagian objek kerja yang akan dianalisis. Hal tersebut dilakukan untuk meningkatkan waktu simulasi pengoperasian dalam penyelesaian suatu studi kasus (Patel dan Dhakar, 2018). Ansys Design Modeler berfungsi untuk menandai area yang dianalisis.

### **2.7.2. Meshing**

*Meshing* merupakan proses membagi geometri yang dianalisis menjadi beberapa volume kontrol kecil. Dalam aplikasi dinamika fluida, yang dibutuhkan adalah membagi domain menjadi volume kontrol heksahedral (HEX) yang dilambangkan dengan warna merah pada Gambar 11 karena *mesh* yang dihasilkan dicirikan oleh difusi numerik yang rendah terutama dalam kasus aliran tegak lurus terhadap permukaan volume kontrol. Sedangkan *mesh* jenis polihedral (POLY) yang ditandai dengan warna hijau pada Gambar 11 digunakan untuk menggabungkan keunggulan HEX (difusi numerik rendah yang menghasilkan solusi akurat) dan *mesh* TET (pembangkitan semi-otomatis cepat) serta untuk mengatasi kelemahan kedua jenis volume kendali tersebut (Sosnowski dkk., 2017).

Proses *meshing* harus mampu mewakili domain fisik secara sempurna. Dalam kasus simulasi gelombang air diperlukan *mesh* yang dapat mengembang dengan menambahkan sel dan berkontraksi dengan menghilangkan sel secara aksial seiring waktu. Proses ini penting karena mengakomodasi perubahan geometri selama

langkah waktu yang berbeda, dan hal ini dilakukan dengan menggerakkan node *mesh* sementara konektivitas node pada awalnya dapat dipertahankan tidak berubah (Silva et al., 2023).

### **2.7.3. Setup dan Solution**

*Setup* dan *solution* merupakan proses pemecahan masalah dengan metode numerik menggunakan perhitungan komputasi. Tahapan ini berkontribusi besar dalam hal keakuratan data hasil suatu studi kasus (Uddin dkk., 2020).

### **2.7.4. Result**

*Result* merupakan tahapan akhir dari proses simulasi *computational fluid dynamics* pada Ansys Fluent. Dimana hasil dari result berupa kecepatan aliran fluida, kontur profil gelombang, tekanan yang diberikan fluida terhadap permukaan bidang kerja, dan lain-lain.

## **2.8. Tracker**

Tracker adalah salah satu aplikasi analisis video gratis dan perangkat yang dibuat oleh *Open Source Physics* (OSP) dengan kerangka java. Tracker ditemukan oleh Douglass Brown, Wolfgang Christian, dan Robert M Hanson. Tracker bekerja dengan cara mendeteksi perpindahan gerak pada suatu objek dalam setiap detiknya. Nantinya setiap perpindahan gerak tersebut diidentifikasi koordinatnya dan direpresentasikan ke dalam bentuk grafik. Menurut Ristiawan (2018) aplikasi *Tracker* biasa digunakan dalam hal melihat fenomena fisika dengan metode *Video Based Laboratory*. *Video Based Laboratory* (VBL) merupakan metode analisis yang menggunakan komputer sebagai media, termasuk menampilkan data eksperimen dalam bentuk tabel dan grafik. Dengan menggunakan VBL memungkinkan untuk mengamati gerakan yang terjadi sangat cepat yang tidak dapat diamati dengan mata manusia.

Langkah-langkah penggunaan aplikasi Tracker dilakukan dengan penginstalan aplikasi terlebih dahulu. Aplikasi Tracker mudah ditemui dengan mengunjungi [physlets.org/tracker](https://physlets.org/tracker) untuk mendapatkan master program. Setelah menginstal aplikasi dilanjutkan dengan merekam fenomena gerak dengan mengambil video

sebagai bahan yang digunakan sebagai data yang dianalisis. Setelah memasukkan video dapat dilakukan pengaturan frame video, kalibrasi panjang, sumbu koordinat, menentukan point mass, membuat jalur gerakan benda, dan menganalisa tabel atau grafik.

## 2.9. Matrix Laboratory (MATLAB)

MATLAB (Matrix Laboratory) adalah suatu program untuk analisis dan komputasi numerik dan merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks. Pada awalnya, program ini merupakan interface untuk koleksi rutin-rutin numeric dari proyek LINPACK dan EISPACK, dan dikembangkan menggunakan bahasa FORTRAN namun sekarang merupakan produk komersial dari perusahaan Mathworks, Inc. yang dalam perkembangan selanjutnya dikembangkan menggunakan bahasa C++ dan assembler (utamanya untuk fungsi-fungsi dasar MATLAB) (Cahyono, 2013).

Salah satu fitur yang ada pada MATAB ialah GUI (*Graphical User Interface*). MATLAB adalah salah satu program yang menggunakan interaksi elektronik secara grafis dan bukan perintah teks antara pengguna 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 semua saat tombol tetikus dilepas.
11. *Axes*, berfungsi untuk menampilkan grafik ataupun gambar. *Axes* tidak masuk dalam UI *Control*, tetapi dapat diprogram agar berinteraksi dengan grafik yang ada dalam program MATLAB.
12. *Panel*, berfungsi untuk mengelompokkan objek – objek grafik yang dibuat.
13. *Button Group*, hampir sama dengan panel, namun pada button group yang dikelompokkan adalah *radio button* dan *toggle button*.
14. *Table*, berfungsi untuk menampilkan tabel pada GUI dari program MATLAB.
15. *Active X control*, berfungsi untuk mengkonfigurasi MATLAB dengan microsoft windows.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

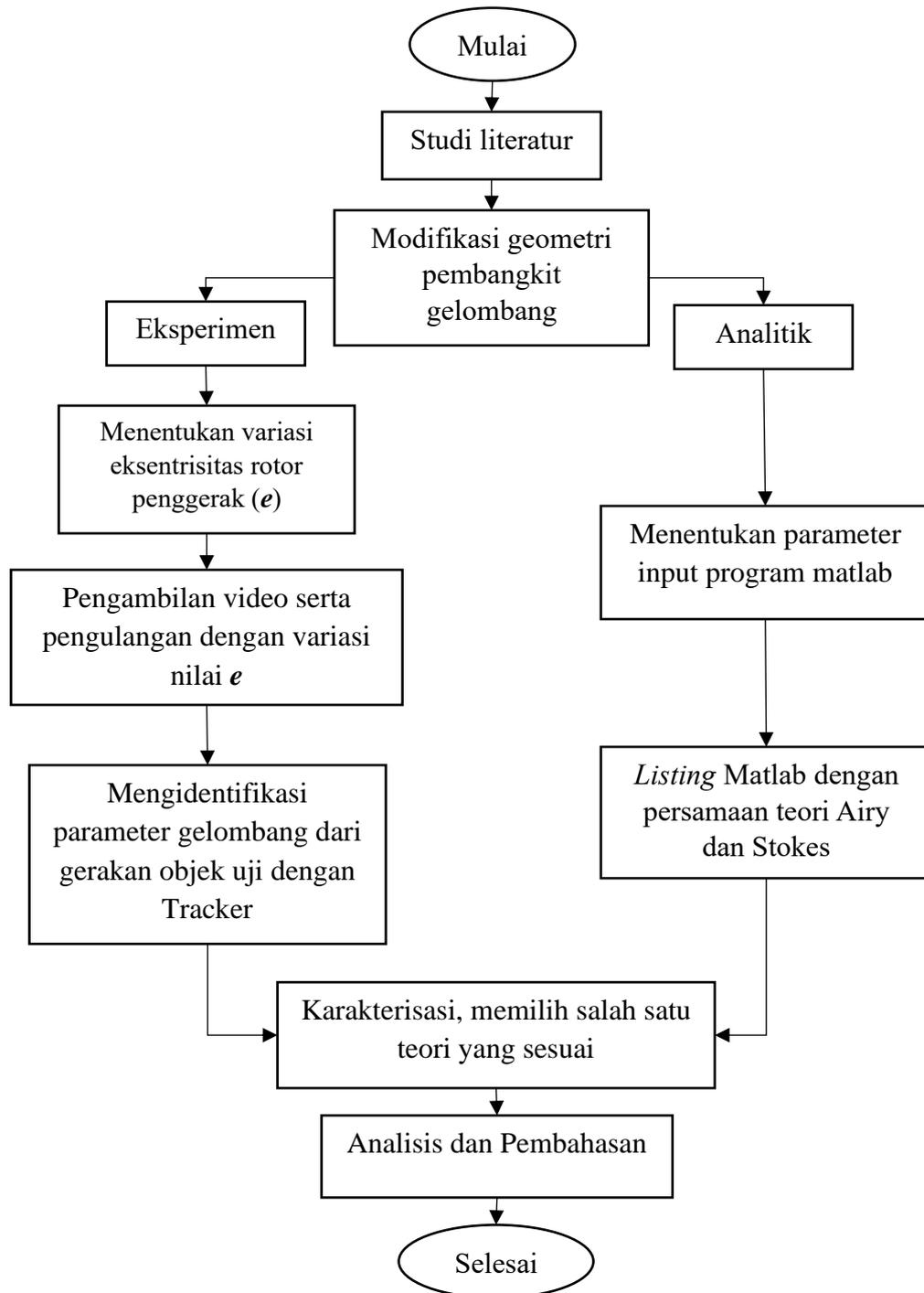
#### **3.1. Waktu dan Tempat**

Penelitian ini dilaksanakan mulai dari Maret 2024 hingga Mei 2024. Lokasi penelitian berada di Laboratorium Mekanika Struktur Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Penelitian ini diawali dengan memodifikasi geometri alat pembangkit gelombang dan selanjutnya mengevaluasi pembangkit gelombang yang baru dengan melihat karakteristik bentuk gelombang air yang dihasilkan dengan variasi eksentrisitas penggerak. Aktivitas evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil beberapa parameter gelombang air antara pembangkit gelombang sebelum dimodifikasi dan setelah dimodifikasi geometrinya. Parameter gelombang air yang digunakan adalah tinggi gelombang, panjang gelombang, dan periode gelombang

Penelitian dilakukan dengan berdasarkan teori dasar dan referensi yang mendukung terkait topik penelitian yang dibahas melalui tahapan studi literatur. Tahapan studi literatur berisi tentang pengumpulan data seperti informasi dan dasar teori yang berkaitan dengan penelitian ini melalui jurnal, artikel maupun buku yang ada. Setelah informasi data diperoleh maka langkah selanjutnya adalah melakukan modeling 3D dari pembangkit gelombang yang telah dimodifikasi. Model 3D ini menjadi acuan dalam proses pembuatan pembangkit gelombang. Selanjutnya proses pengambilan data membutuhkan aplikasi pendukung yang bernama Tracker dan Matlab. Tracker digunakan untuk mendeteksi gerakan objek uji ketika pembangkit gelombang yang telah dimodifikasi geometrinya bergerak. Kemudian data yang diperoleh dari Tracker dimasukkan ke dalam aplikasi Matlab.

### 3.2 Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dapat dijelaskan pada diagram alir yang berada pada Gambar 11.



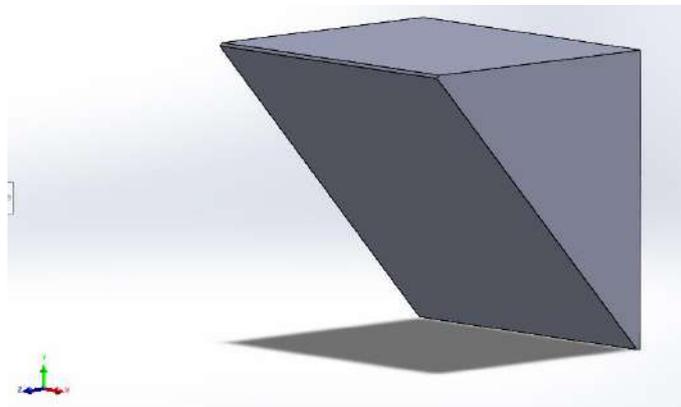
Gambar 11. Diagram alir penelitian

### 3.3. Metode Penelitian

Penelitian ini didasarkan pada permasalahan pembangkit gelombang yang sudah ada di Laboratorium Mekanika Struktur. Bentuk dan geometri dari pembangkit gelombang tersebut menghasilkan bentuk gelombang air yang cenderung berbentuk tidak beraturan dan tidak berbentuk gelombang sinusoidal secara sempurna. Berdasarkan hal tersebut dilakukan sebuah modifikasi pada bentuk dan geometri pembangkit gelombang dengan menerapkan teori gelombang Airy. Penerapan teori gelombang Airy digunakan untuk membuat profil lengkungan pembangkit gelombang. Sehingga diharapkan ketika pembangkit gelombang bergerak naik dan turun akan menghasilkan gelombang dengan bentuk mendekati kurva sinusoidal. Hal ini dikarenakan partikel air yang bergerak akibat pergerakan berulang tersebut akan mengikuti alur dari radius pembangkit gelombang. Penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan yang diantaranya adalah sebagai berikut:

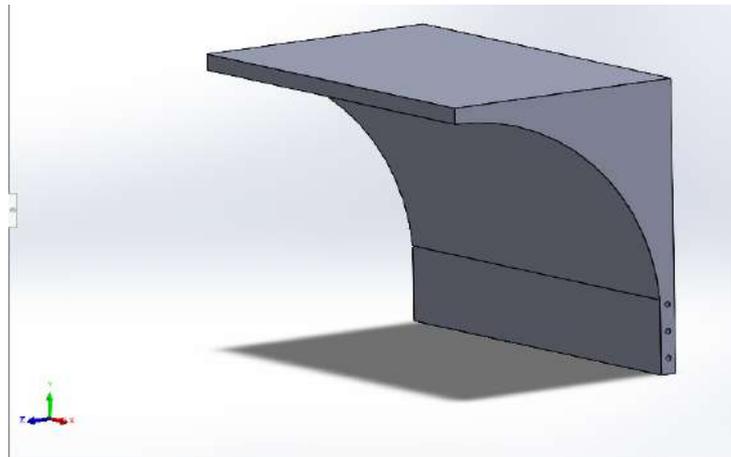
#### 3.3.1. Modifikasi Geometri

Modifikasi geometri pembangkit gelombang diawali dengan pengukuran dimensi pembangkit gelombang yang lama dan juga dimensi dari kolam air tempat pembangkit gelombang diletakkan. Adapun model 3D dari pembangkit gelombang sebelum dimodifikasi dapat dilihat pada Gambar 12. Modifikasi yang dilakukan tidak hanya pada geometri saja, melainkan juga pada material yang digunakan. Material yang digunakan pada pembangkit gelombang sebelum dimodifikasi memiliki gaya apung yang besar sehingga membuat kerja motor kurang optimal.



Gambar 12. Model 3D pembangkit gelombang sebelum dimodifikasi

Kemudian setelah melakukan pengukuran dimensi, selanjutnya adalah melakukan permodelan 3D dari pembangkit gelombang yang baru dengan menggunakan aplikasi CAD, yaitu Solidworks. Perubahan geometri dari pembangkit gelombang terdapat pada lengkungan di bagian depan. Model 3D dari pembangkit gelombang yang telah dimodifikasi dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Model 3D pembangkit gelombang setelah dimodifikasi

### 3.3.2. Eksperimen

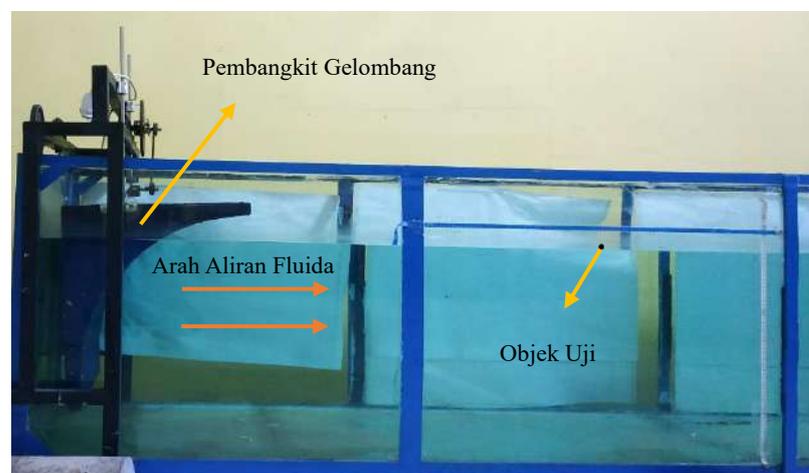
Eksperimen dilakukan dengan mengamati pengaruh gelombang air yang dihasilkan oleh pembangkit gelombang dengan variasi eksentrisitas penggerak terhadap objek uji yang berada di dalam air. Pada penelitian ini, ada beberapa parameter yang dibutuhkan. Pertama, gelombang memiliki tinggi, panjang, dan frekuensi sesuai visual. Kedua, analisis data berdasarkan pergerakan objek uji. Hasil yang didapatkan dari eksperimen digunakan untuk validasi dengan membandingkan proses analitik matlab, yaitu dengan membandingkan grafik yang didapat. Dalam pelaksanaan eksperimen dilakukan proses pengolahan data. Eksperimen dimulai dengan pemasangan objek uji pada permukaan air, penyetelan nilai eksentrisitas penggerak pada alat media ombak hingga pengambilan data. Adapun proses tahapan eksperimen secara lebih rinci adalah sebagai berikut:

- a) Menyiapkan alat uji media pengombak dan objek uji penelitian. Adapun alat uji yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 14.



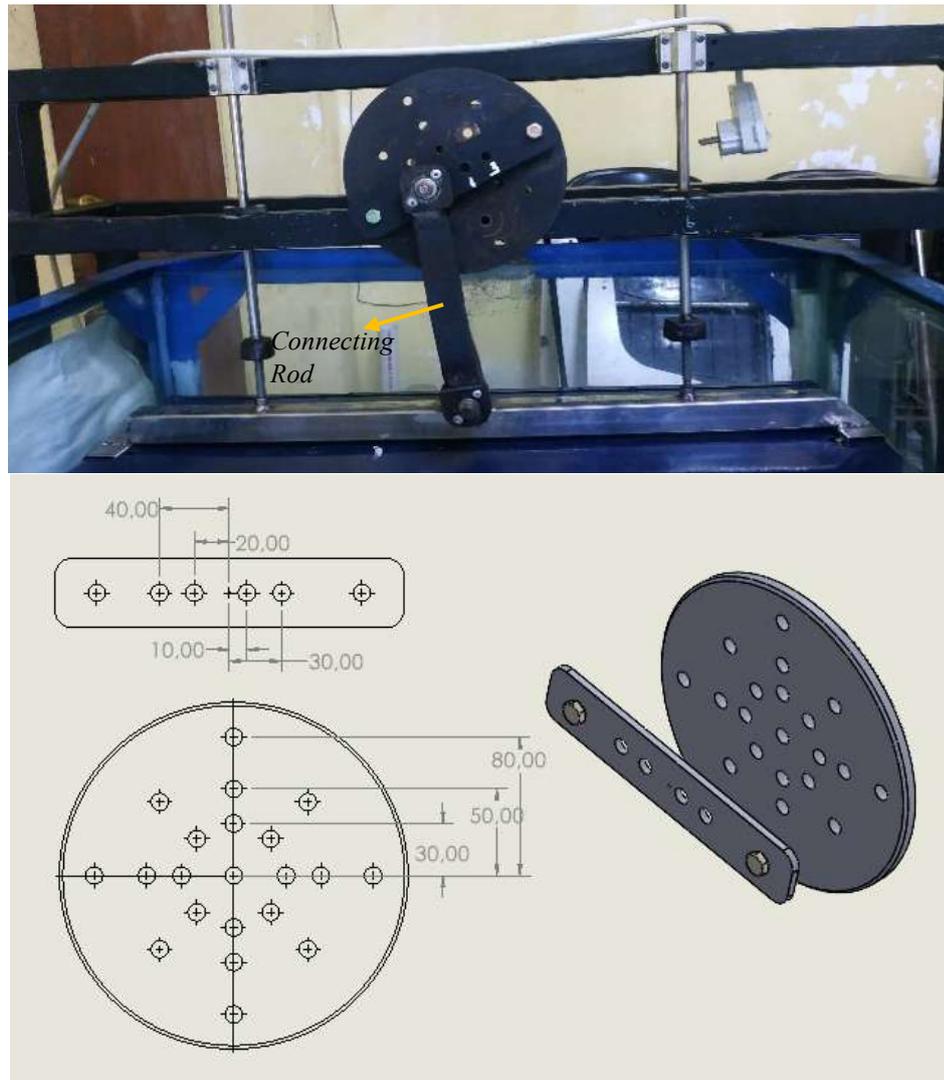
Gambar 14. Alat uji media pengombak

Objek uji pada penelitian ini menggunakan benda yang mengapung di permukaan air. Ketika objek uji bergerak akibat gerakan gelombang air, objek uji tersebut berotasi dan membentuk lintasan partikel air saat dilakukan pengujian. Lintasan partikel air tersebut akan berbentuk elips atau lingkaran sesuai dengan teori partikel air. Adapun skema proses pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Skema proses pengujian

- b) Menyiapkan variasi nilai eksentrisitas penggerak untuk memperoleh variasi data karakteristik gelombang air yang dibentuk oleh pembangkit gelombang yang baru. Eksentrisitas adalah jarak dari titik tengah poros ke titik tempat *connecting rod*. Posisi eksentrisitas sendiri ada pada rangkaian sistem penggerak pembangkit gelombang dalam alat media pengombak. Adapun bagian dari eksentrisitas penggerak dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Variasi eksentrisitas penggerak

- c) Menghidupkan penggerak media ombak dengan variasi eksentrisitas penggerak pembangkit gelombang 1 cm, 2 cm, & 3cm. Selanjutnya merekam pergerakan objek uji selama 5 detik. Pengambilan data dengan memasukkan parameter pada aplikasi Tracker dan Matlab. Adapun prosedur pengambilan data dengan aplikasi Tracker adalah sebagai berikut:

1. Karakterisasi gelombang air dengan variasi eksentrisitas

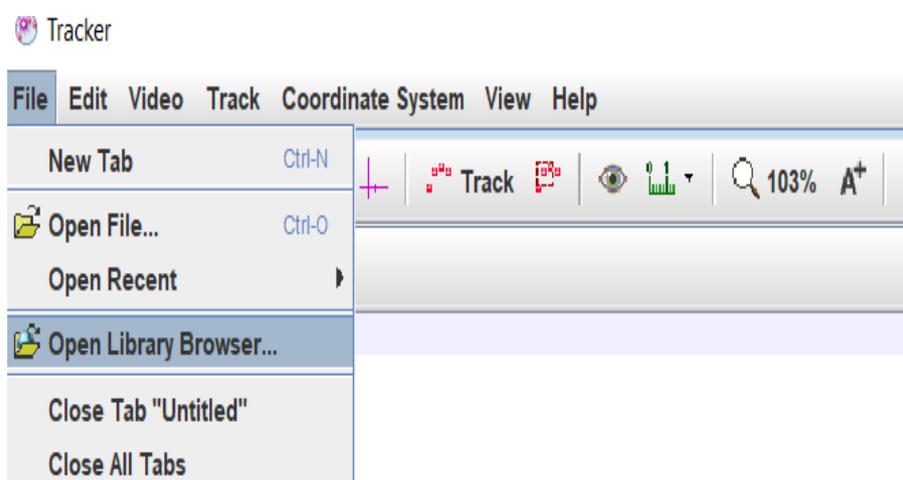
Karakterisasi gelombang air dengan menggunakan objek uji yang diikat tali penyangga dan diletakkan di tengah kolam air. Kemudian dilakukan analisis perpindahan objek uji gelombang air dengan aplikasi Tracker secara eksperimen. Setelah mendapatkan data dari aplikasi Tracker,

kemudian dilakukan pendekatan dengan menggunakan validasi terhadap penggolongan karakterisasi ombak yang mendekati teori gelombang ombak Airy atau Stokes. Adapun parameter yang diperlukan adalah tinggi gelombang ( $H$ ), panjang gelombang ( $\lambda$ ), dan periode gelombang ( $T$ )

2. Perpindahan Objek uji dari posisi keseimbangan

Mengamati perpindahan objek uji yang disebabkan oleh pergerakan gelombang air. Perpindahan objek uji tersebut direkam dan kemudian dilakukan pembacaan data dengan aplikasi video tracker.

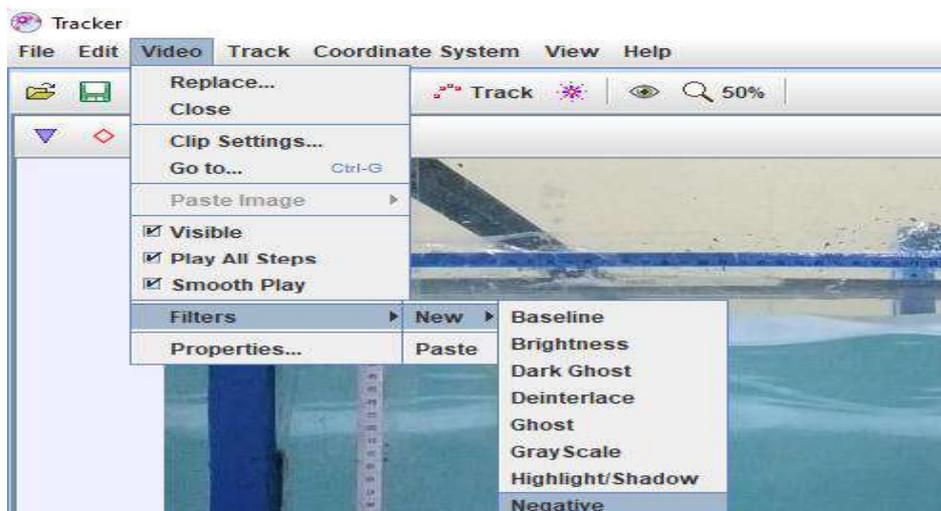
3. Memasukkan data dimulai dengan membuka file project pada aplikasi tracker. Kemudian memilih di dalam folder mana file video tersimpan. Proses ini dilakukan dengan membuka *file > open library browser*. Dalam memasukkan file video dapat dilakukan berapa frame yang akan diambil saat pengamatan perpindahan suatu objek benda dengan cara melakukan pengaturan frame pada saat memasukkan file video. Gambar 17 merupakan langkah awal memasukkan data.



Gambar 17. Langkah memasukkan data

4. Pengaturan *gradient* warna

Pengaturan *gradient* warna dalam aplikasi Tracker dilakukan dengan cara memilih jendela video > *filters > new > negative*. Hal ini dilakukan agar saat proses pembacaan objek uji lebih terlihat jelas. Proses pengaturan *gradient* warna dapat dilihat pada Gambar 19.



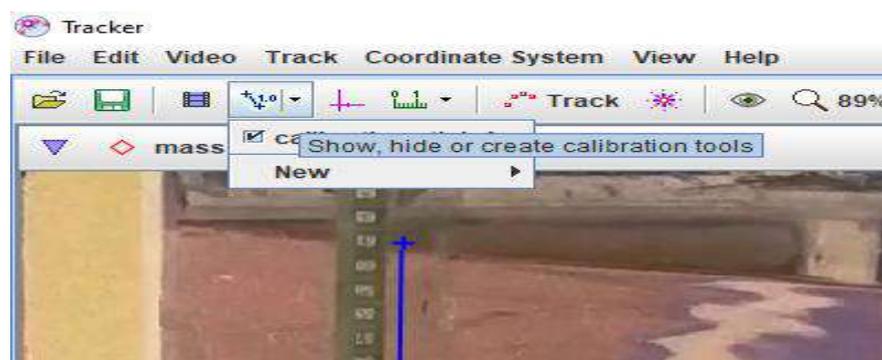
Gambar 18. Pengaturan *gradient* warna

#### 5. Pemberian titik kordinat

Pemberian titik koordinat dilakukan dengan menu *stick>coordinate*, hal ini berfungsi untuk menentukan peletakan arah sumbu x dan y dalam pembacaan perpindahan.

#### 6. Kalibrasi *stick*

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*. Tampilan kalibrasi *stick* dapat dilihat pada Gambar 19.

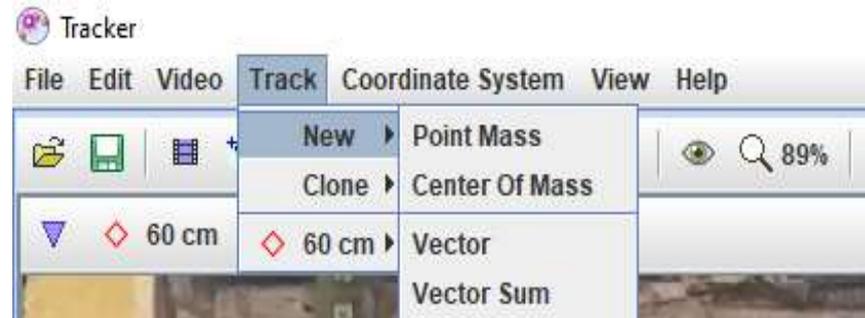


Gambar 19. Kalibrasi *stick*

#### 7. *Point mass*

*Point mass* merupakan penentuan koordinat objek yang akan diamati dilakukan dengan menggunakan menu *track > new > point mass*. Proses

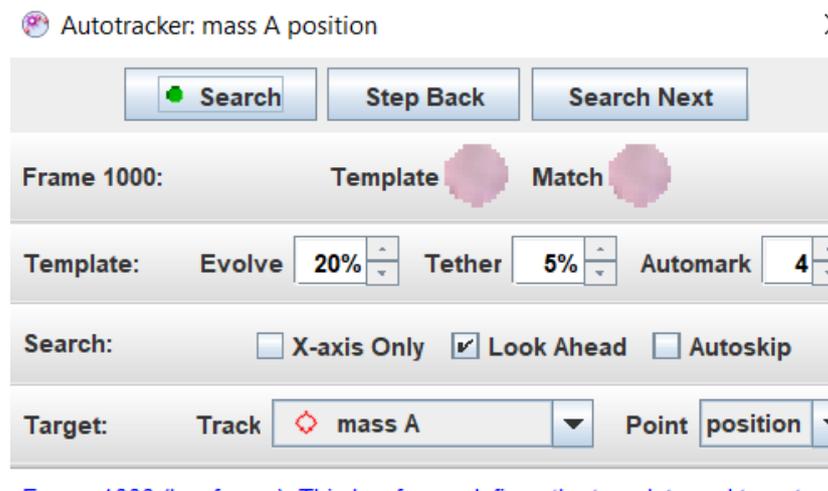
pembacaan data dilakukan berulang kali sesuai dengan kedalaman yang berbeda. Gambar 20 berikut merupakan proses pembuatan *point mass*.



Gambar 20. *Point mass*

#### 8. *Auto Tracking*

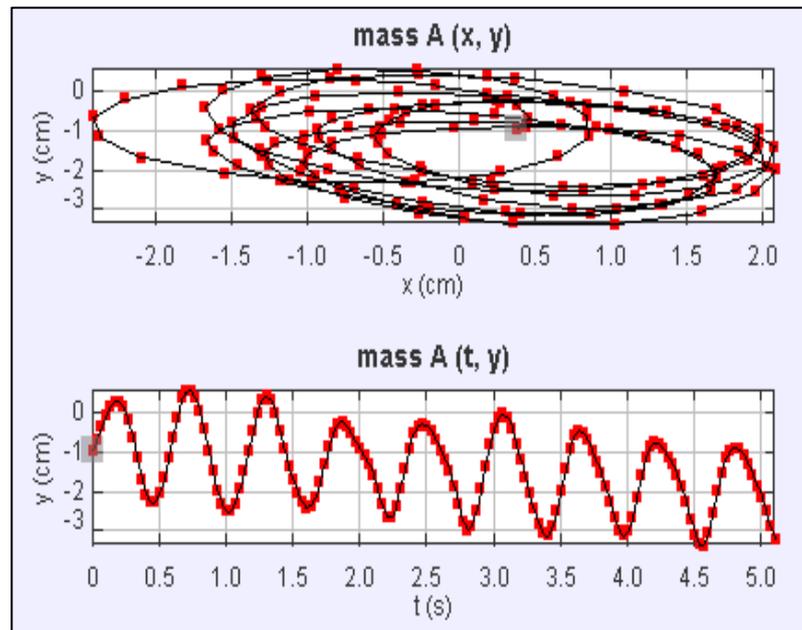
*Auto tracking* merupakan pembacaan data dilakukan secara otomatis dengan cara menentukan titik tengah *point mass* dengan menekan *ctrl + shift > search next* secara bersamaan maka *auto tracking* siap dilakukan. *Auto tracking* akan membaca pergerakan objek uji dan menandakannya dengan nilai titik yang berurutan. Apabila objek uji pada titik tertentu tidak terdeteksi dapat memilih tombol “Step Back” dan bisa menekan *ctrl + shift* pada titik terakhir objek uji terdeteksi. Gambar 21 menunjukkan proses *auto tracking*.



Gambar 21. *Auto Tracking*

Proses pembacaan data dikatakan berhasil apabila mendapatkan *output* grafik dan nilai perpindahan objek seperti pada gambar 22. Grafik

tersebut menunjukkan perpindahan objek uji ke arah sumbu x dan sumbu y.



Gambar 22. Hasil pengolahan data

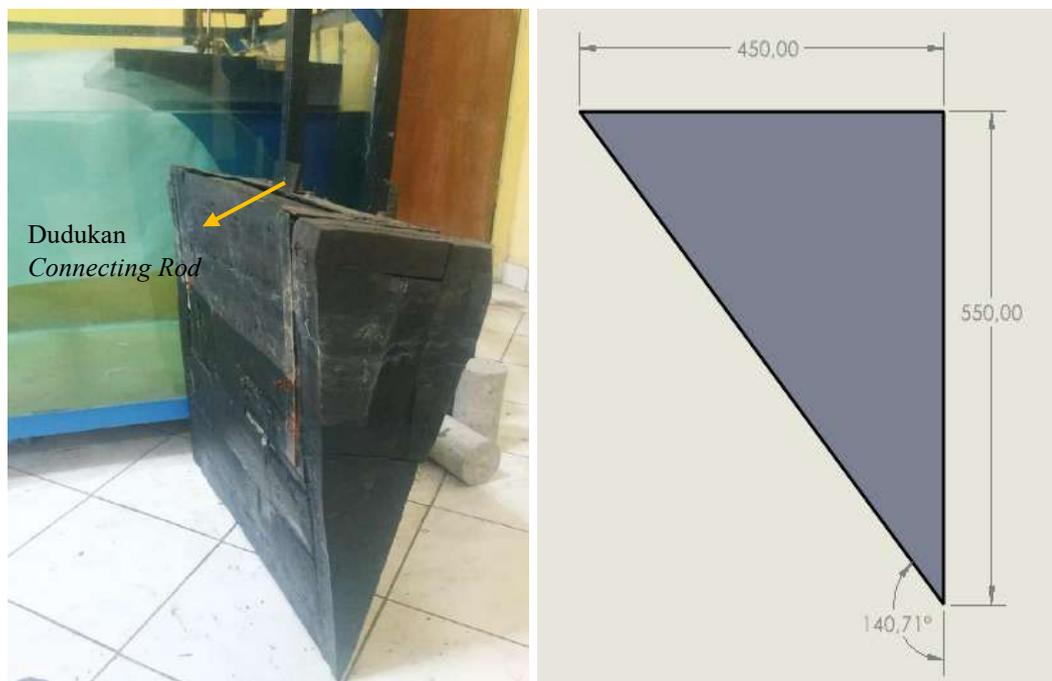
### 3.3.3. Analitik

Analitik dilakukan sebagai media validasi guna pencocokan hasil eksperimen. Dengan menggunakan Matrix Laboratory (Matlab) didapatkan perhitungan analitik pendekatan pada teori gelombang ombak. Dengan diharapkan *output* berupa grafik perbandingan pendekatan karakterisasi masing-masing percobaan variasi eksentrisitas penggerak media ombak dan variasi kecepatan. Adapun parameter yang di inputkan dalam program MATLAB adalah rumus Airy dan Stokes. Rumus Airy dituliskan dengan persamaan (1) sedangkan rumus stokes dengan persamaan (2). Kedua persamaan teoritik gelombang ombak dimasukkan ke dalam program Matlab dengan hasil output grafik perhitungan pendekatan teoritis dengan masing-masing variasi parameter.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

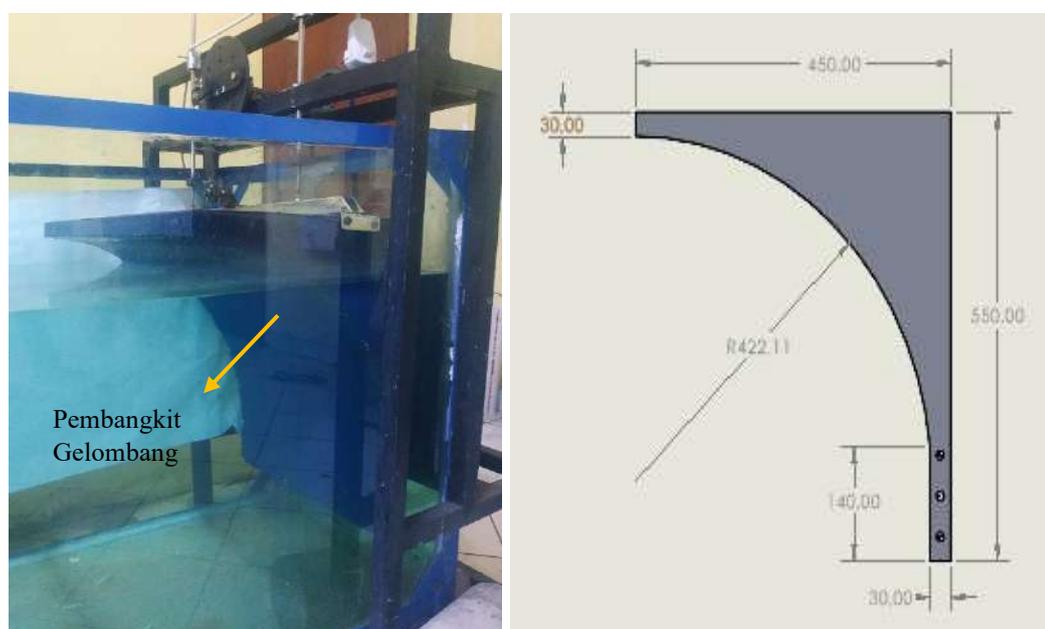
### 4.1. Hasil Modifikasi Geometri Pembangkit Gelombang

Pembangkit gelombang sebelum dimodifikasi berbahan dasar dari *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) dengan bentuk prisma segitiga siku-siku yang dilengkapi pelat besi di bagian alasnya sebagai dudukan *connecting rod*. Material EVA merupakan salah satu jenis karet sintesis dengan nilai massa jenis yang lebih kecil daripada air sehingga menyebabkan pembangkit gelombang memiliki gaya apung yang besar. Adapun pembangkit gelombang sebelum dimodifikasi geometrinya dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Pembangkit gelombang sebelum dimodifikasi

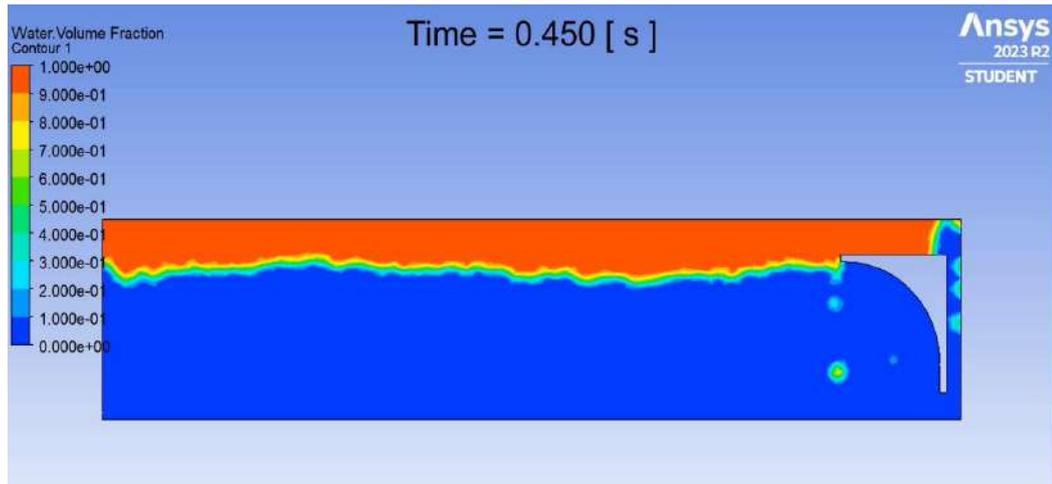
Modifikasi yang dilakukan adalah perubahan dimensi serta penambahan cekungan pada bagian sisi miring dari pembangkit gelombang yang sebelum dimodifikasi. Pembangkit gelombang yang dimodifikasi menggunakan material *stainless steel* sebagai rangkanya dan aluminium sebagai penutup rangka. Rangka pembangkit gelombang yang dimodifikasi menggunakan pipa *hollow stainless steel* dengan ukuran 30×30 mm. Kemudian rangka tersebut dilapisi dengan pelat aluminium setebal 1,0 mm mengelilingi rangka. Pemasangan pelat aluminium ke rangka *stainless steel* dengan metode penyambungan *rivet*. Adapun pembangkit gelombang setelah dimodifikasi geometrinya dapat dilihat pada Gambar 24.



Gambar 24. Pembangkit gelombang setelah dimodifikasi

#### 4.2. Karakterisasi Gelombang Air

Karakterisasi gelombang air dilakukan dengan menggunakan dua metode penelitian, yaitu simulasi Ansys Fluent dan eksperimen dengan variasi eksentrisitas penggerak motor. Simulasi CFD dengan menggunakan Ansys Fluent dapat melihat bentuk fluida yang tercipta akibat pergerakan pembangkit gelombang yang beresilasi naik dan turun. Simulasi yang dilakukan hanya sebatas melihat bentuk gelombang air yang tercipta. Adapun sampel hasil simulasi Ansys Fluent tersebut dapat dilihat pada Gambar 25.



Gambar 25. Sampel hasil simulasi Ansys Fluent

Pembahasan berikutnya adalah hasil dari eksperimen dengan menggunakan objek uji berupa pelampung. Nilai data hasil dari eksperimen tersebut menunjukkan hasil karakter  $e_1 = 1$  cm,  $e_2 = 2$  cm, dan  $e_3 = 3$  cm yang dapat dilihat pada Tabel 1. Setiap nilai eksentrisitas memiliki perbedaan karakter gelombang air. Oleh karena itu, dilakukan pendekatan teori gelombang air pada masing-masing nilai eksentrisitas.

Tabel 1. Hasil Eksperimen  $e_1$ ,  $e_2$ , dan  $e_3$

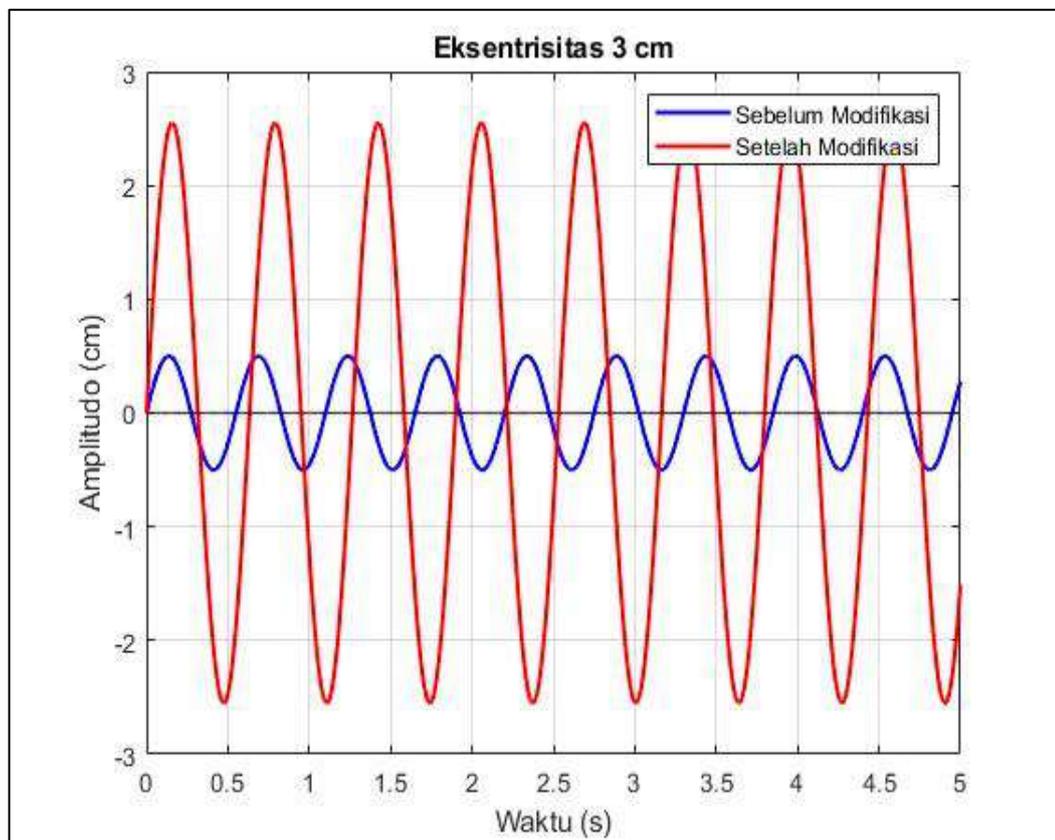
No.	Nilai Eksentrisitas (cm)	Tinggi Gelombang (cm)	Panjang Gelombang (cm)	Periode gelombang (s)
1.	1	2,9	57,1	0.499
2.	2	3,4	57,5	0.567
3.	3	5,1	64,0	0.633

Berdasarkan hasil eksperimen dengan menggunakan pembangkit gelombang yang sudah dimodifikasi menunjukkan bahwa pembangkit gelombang tersebut mampu menghasilkan gelombang air yang besar meskipun hanya dengan nilai eksentrisitas yang kecil. Jika dibandingkan dengan penelitian Akmal dkk. (2023) yang menggunakan pembangkit gelombang sebelum dimodifikasi pada nilai eksentrisitas 3 cm, menghasilkan tinggi gelombang sebesar 1 cm, panjang gelombang sebesar 64 cm, dan periode gelombang sebesar 0,55 s. Perbandingan data hasil gelombang air dari kedua pembangkit gelombang dapat dilihat pada Tabel 2.

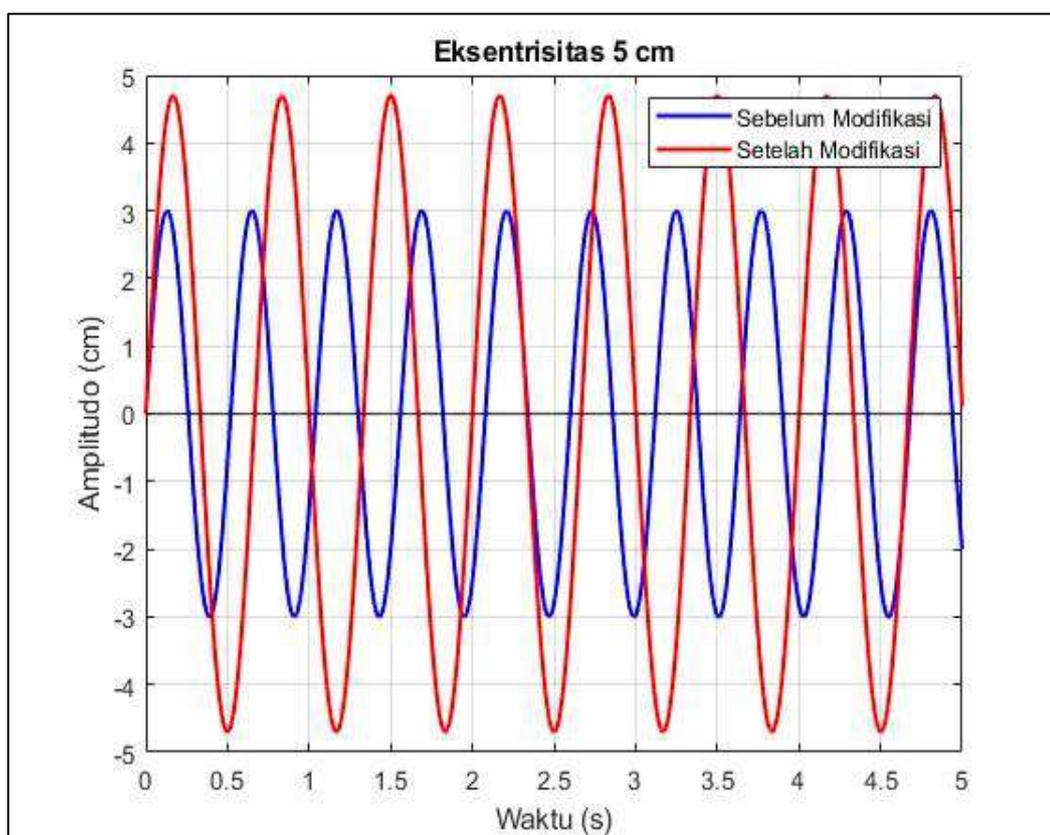
Tabel 2. Perbandingan Parameter Gelombang Air

Pembangkit Gelombang	Nilai Eksentrisitas (cm)	Amplitudo Gelombang (cm)	Panjang Gelombang (cm)	Periode gelombang (s)
Sebelum Modifikasi	3	0,50	64	0,550
	5	3,00	66	0,520
Sesudah Modifikasi	3	2,55	64	0,633
	5	4,70	87	0,667

Berdasarkan data pengujian pada kolam pengombak yang disajikan pada Tabel 2, terlihat perbedaan tinggi gelombang dengan eksentrisitas 3 cm, di mana untuk pembangkit gelombang sebelum dimodifikasi hanya mampu menghasilkan tinggi gelombang air sebesar 1 cm atau 0,5 cm untuk nilai amplitudonya. Sedangkan pembangkit gelombang setelah dimodifikasi mampu menghasilkan amplitudo gelombang air sebesar 2,55 cm. Data parameter hasil eksperimen tersebut dimasukkan ke dalam program Matlab untuk membandingkan amplitudonya. Perbandingan amplitudo gelombang air tersebut dapat dilihat pada Gambar 26.

Gambar 26. Grafik perbandingan gelombang untuk  $e = 3$  cm

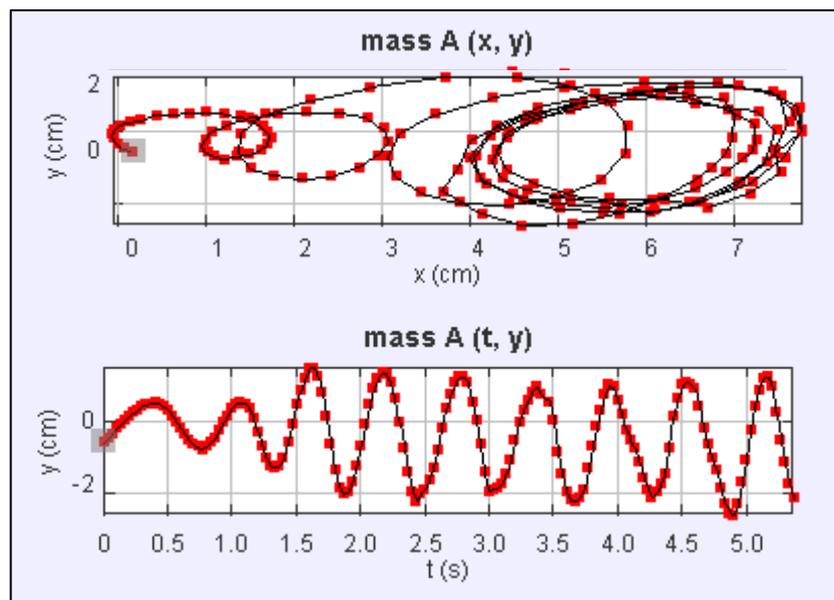
Sedangkan perbandingan gelombang air pada nilai eksentrisitas 5 cm untuk pembangkit gelombang sebelum dan setelah dimodifikasi geometrinya memiliki perbedaan tinggi gelombang yang menghasilkan selisih nilai yang kecil jika dibandingkan dengan nilai eksentrisitas 3 cm. Pembangkit gelombang sebelum dimodifikasi mampu menghasilkan amplitudo gelombang sebesar 3 cm. Sedangkan untuk pembangkit gelombang setelah dimodifikasi mampu menghasilkan amplitudo gelombang sebesar 4,7 cm. Perbandingan amplitudo gelombang air tersebut dapat dilihat pada Gambar 27.



Gambar 27. Grafik perbandingan gelombang untuk  $e = 5$  cm

### 4.3. Eksperimen dan Analitik

Proses pengambilan data dengan metode eksperimen dilakukan dengan cara mengamati perpindahan objek uji yang terekam dalam video dengan menggunakan aplikasi Tracker. Aplikasi Tracker mendeteksi perpindahan objek uji dan direpresentasikan ke dalam bentuk grafik. Grafik yang diperoleh dari aplikasi Tracker dapat dilihat pada Gambar 28.



Gambar 28. Grafik perpindahan objek uji

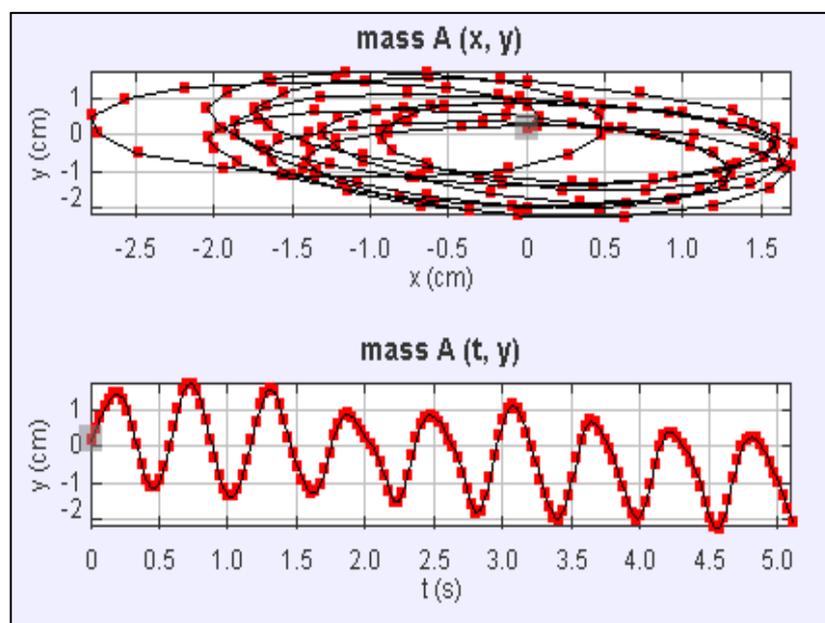
Gambar 28 menunjukkan hasil perpindahan objek uji dalam sumbu  $y$ . Berdasarkan hasil grafik yang diperoleh dari aplikasi Tracker bahwasanya objek uji mengalami osilasi dalam kurun waktu tertentu. Objek uji yang bergerak menghasilkan lintasan partikel air berbentuk elips. Menurut Ahmed dkk. (2010) bentuk lintasan partikel terbentuk akibat pergerakan partikel air yang dihasilkan dari gerakan osilasi gelombang air yang memanjang dan melintang sehingga menciptakan jalur orbit.

Selain secara eksperimental, juga dilakukan perhitungan secara analitik dengan menggunakan aplikasi Matlab. Pada proses perhitungan analitik ini dilakukan pembuatan *listing* naskah Matlab, dimana dengan memasukkan persamaan teori Airy dan Stokes yang sesuai dengan karakter masing-masing gelombang. Kemudian persamaan tersebut dibandingkan dengan hasil eksperimen yang berupa lintasan partikel air berbentuk elips dan lingkaran. Perhitungan analitik ini dilakukan pada setiap variasi eksentrisitas penggerak. Hal tersebut dilakukan untuk melihat apakah setiap variasi eksentrisitas memiliki hasil pendekatan teori yang berbeda antara  $e = 1$  cm,  $e = 2$  cm, dan  $e = 3$  cm.

#### 4.3.1. Eksentrisitas ( $e$ ) = 1 cm

Profil perpindahan objek uji pada eksentrisitas ( $e$ ) = 1 cm dapat dilihat pada Gambar 29. Perpindahan objek menghasilkan bentuk elips. Bentuk tersebut diperoleh akibat

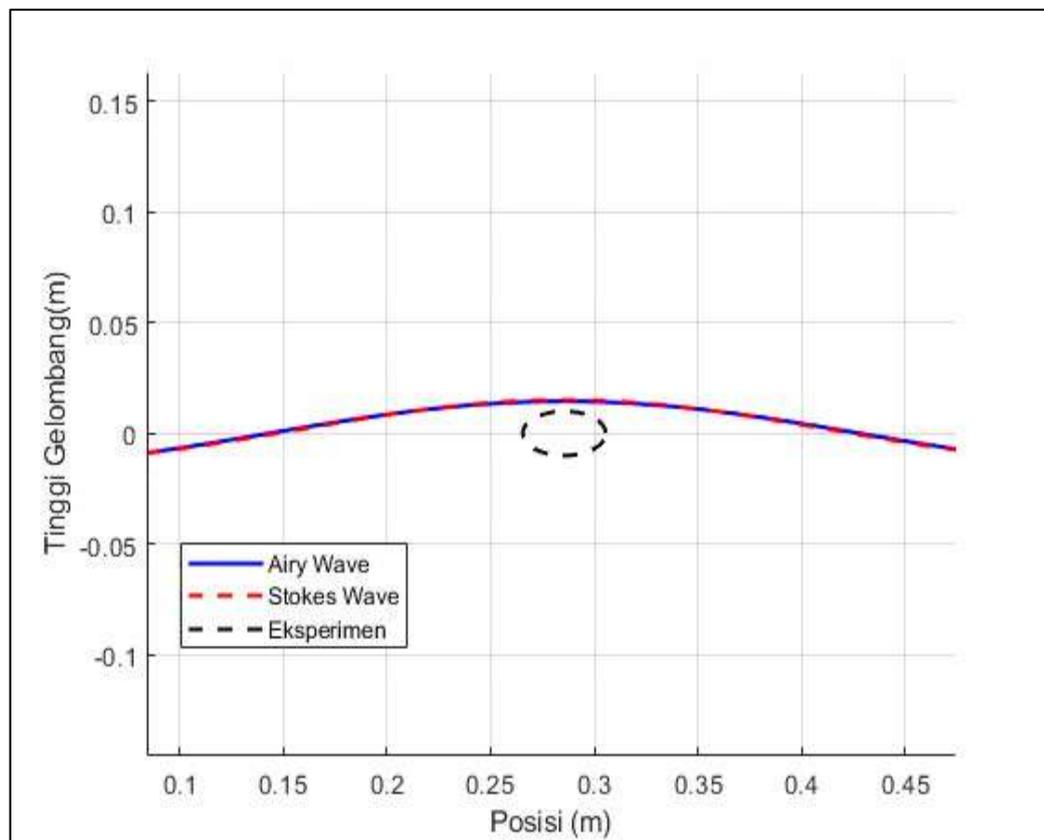
putaran atau gerak rotasi objek uji ketika gelombang air datang selama kurun waktu 5 detik. Ketika gelombang air datang, objek uji mengalami gerakan osilasi naik dan turun pada sumbu  $y$ . Profil perpindahan objek uji pada sumbu  $y$  menghasilkan bentuk yang bervariasi pada nilai tinggi gelombang. Tinggi gelombang yang tertinggi bernilai sebesar 2,9 cm, sedangkan tinggi gelombang terendahnya sebesar 1,1 cm. Selanjutnya pada sumbu  $x$ , objek uji juga mengalami gerakan osilasi ke kanan dan ke kiri selama pembangkit gelombang bergerak. Apabila kedua profil perpindahan sumbu  $y$  dan sumbu  $x$  digabungkan maka akan menghasilkan orbit partikel air yang berbentuk elips.



Gambar 29. Grafik perpindahan objek uji pada  $e = 1$  cm

Profil perbandingan antara eksperimen dengan analitik pada variasi  $e = 1$  cm dapat dilihat pada Gambar 30. Pada gambar tersebut terdapat dua profil, yaitu profil lintasan partikel air yang berbentuk elips dan profil yang berupa kurva teori gelombang Airy serta teori gelombang Stokes. Bentuk kedua kurva teori gelombang diperoleh dari hasil perhitungan melalui aplikasi Matlab. Perhitungan tersebut menggunakan masukan data eksperimen berupa tinggi gelombang, periode gelombang, dan panjang gelombang. Berdasarkan hasil dari profil perbandingan tersebut dapat diidentifikasi bahwa gelombang air yang terbentuk pada  $e = 1$  cm yang diperoleh dari eksperimen masuk ke dalam kriteria teori gelombang Airy. Hal itu dikarenakan profil lintasan partikel air masih berada di bawah kurva teori gelombang Airy dan tidak bersinggungan dengan kedua kurva teori gelombang.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa jenis gelombang air pada  $e = 1$  cm adalah gelombang Airy.

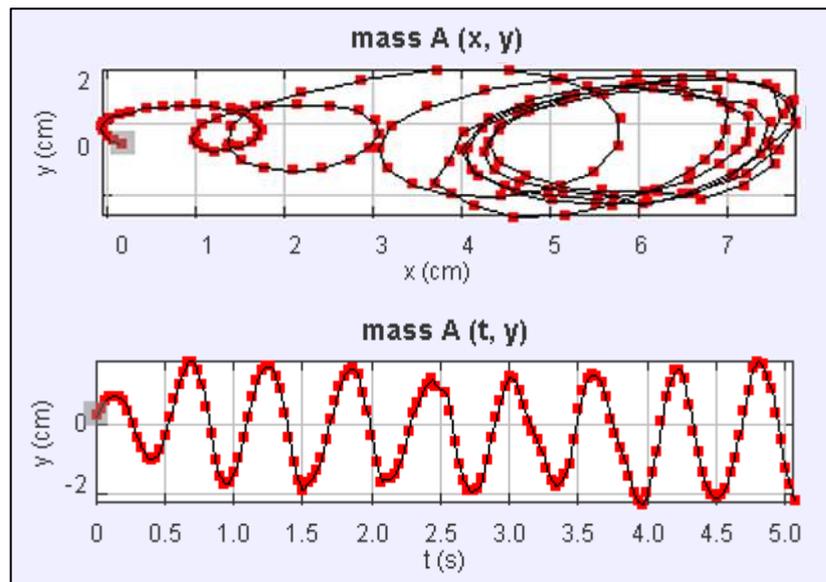


Gambar 30. Profil perbandingan eksperimen dengan analitik pada  $e = 1$  cm

#### 4.3.2. Eksentrisitas ( $e$ ) = 2 cm

Profil perpindahan objek uji pada nilai  $e = 2$  cm dapat dilihat pada Gambar 31. Perpindahan objek uji  $e_2$  menghasilkan lintasan partikel air yang berbentuk elips sama seperti profil perpindahan objek uji pada nilai  $e = 1$  cm. Akan tetapi terdapat perbedaan pada bentuk lintasan partikel air yang terbentuk antara kedua nilai eksentrisitas. Bentuk lintasan partikel air yang terbentuk pada nilai  $e = 2$  cm sangat bervariasi dan tidak teratur. Lintasan partikel air ini terbentuk dari penggabungan perpindahan objek uji antara sumbu  $y$  dan sumbu  $x$ . Profil perpindahan objek uji pada sumbu  $y$  menghasilkan bentuk yang bervariasi pada nilai tinggi gelombang. Tinggi gelombang yang tertinggi bernilai sebesar 3,4 cm, sedangkan tinggi gelombang terendahnya sebesar 1,6 cm. Banyaknya gelombang yang dihasilkan

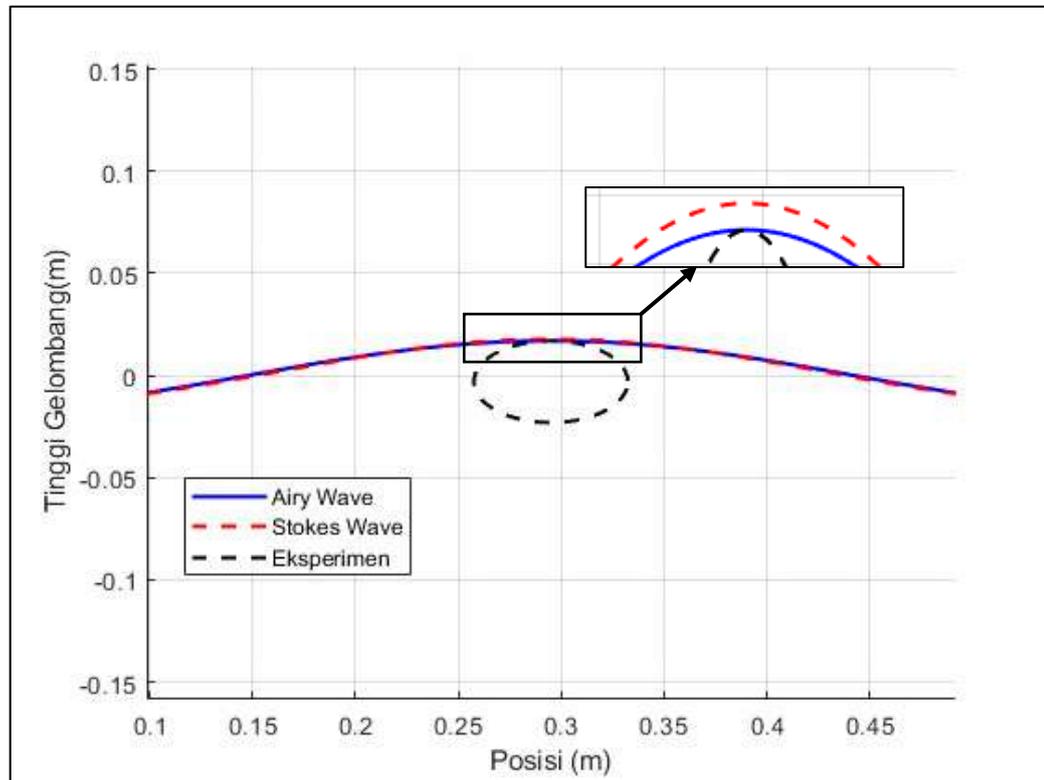
oleh nilai  $e = 2$  cm pada sumbu  $y$  lebih banyak jika dibandingkan dengan nilai  $e = 1$  cm dengan lama waktu pengambilan data yang sama, yaitu 5 detik. Kemudian pada sumbu  $x$ , objek uji mengalami perpindahan yang cukup jauh sehingga menghasilkan profil lintasan partikel air dengan sumbu mayor yang besar, sedangkan sumbu minornya relatif lebih kecil jika dibandingkan dengan sumbu mayor.



Gambar 31. Grafik perpindahan objek uji pada  $e = 2$  cm

Profil perbandingan antara eksperimen dengan analitik pada variasi  $e = 2$  cm dapat dilihat pada Gambar 32. Pada variasi  $e = 2$  cm ini menghasilkan profil lintasan partikel air yang bersinggungan dengan kurva teori gelombang Airy dan hampir berada di antara kedua kurva teori gelombang. Apabila dibandingkan dengan  $e = 1$  cm, profil lintasan partikel air pada  $e = 2$  cm berada pada area yang sangat dekat dengan teori Stokes. Teori gelombang Stokes sendiri memiliki tinggi gelombang yang lebih tinggi dari teori gelombang Airy. Juga teori gelombang Stokes ini memiliki gelombang air yang banyak. Fenomena ini terjadi dikarenakan gaya yang bekerja pada  $e = 2$  cm lebih besar dibandingkan  $e = 1$  cm. Nilai  $e = 2$  cm sendiri memiliki arti bahwa pembangkit gelombang bergerak naik ke atas sejauh 2 cm dan bergerak turun sejauh 2 cm dalam posisi setimbang. Ketika pembangkit gelombang berada pada kedalaman air tertentu maka massa pembangkit gelombang akan bertambah akibat volume air yang berada di dalam pembangkit gelombang bertambah. Selain daripada itu, motor penggerak juga akan bekerja lebih berat

karena momen torsi yang dibutuhkan lebih besar karena diameter lintasan putar dari pembangkit gelombang yang semakin besar. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar variasi  $e$  maka akan meningkat juga gaya yang bekerja. Gaya yang dimaksud adalah gaya tekan pembangkit gelombang dengan permukaan air.

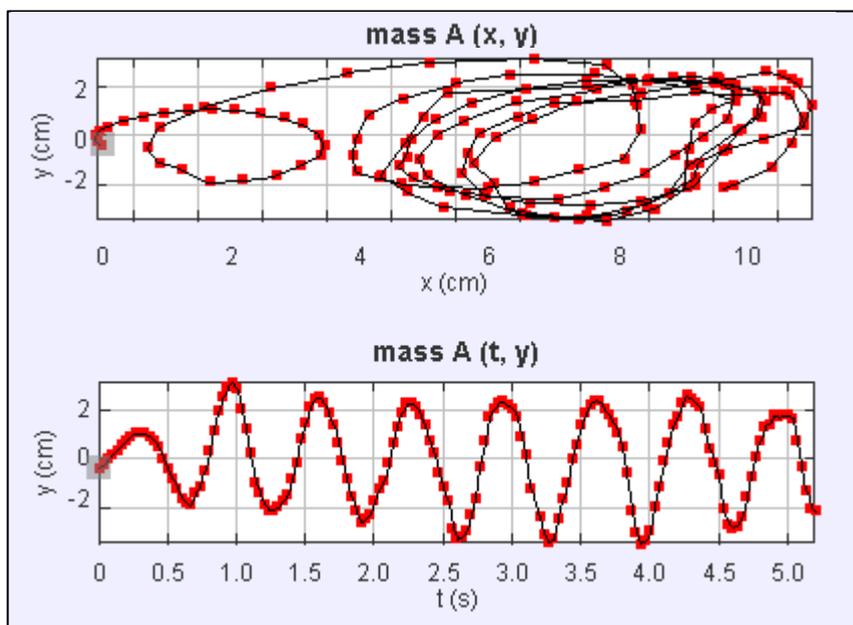


Gambar 32. Profil perbandingan eksperimen dengan analitik pada  $e = 2$  cm

#### 4.3.3. Eksentrisitas ( $e$ ) = 3 cm

Profil perpindahan objek uji pada nilai  $e = 3$  cm dapat dilihat pada Gambar 33. Perpindahan objek uji pada  $e = 3$  cm menghasilkan lintasan partikel air yang lebih abstrak jika dibandingkan dengan nilai  $e = 1$  cm dan  $e = 2$  cm. Jika melihat bentuk lintasan partikel air yang terbentuk dari ketiga nilai eksentrisitas ini didominasi oleh bentuk elips. Bentuk orbit atau lintasan partikel air ini umumnya terbagi menjadi dua, yaitu elips dan lingkaran. Berdasarkan penelitian Hindsageri dkk. (2012) bahwa bentuk lintasan partikel air bergantung pada kedalaman suatu perairan. Bentuk lintasan atau orbit berupa elips biasanya terjadi pada perairan yang dangkal. Sedangkan bentuk lintasan atau orbit berupa lingkaran biasanya terjadi pada perairan laut yang dalam. Profil perpindahan objek uji pada nilai  $e = 3$  cm

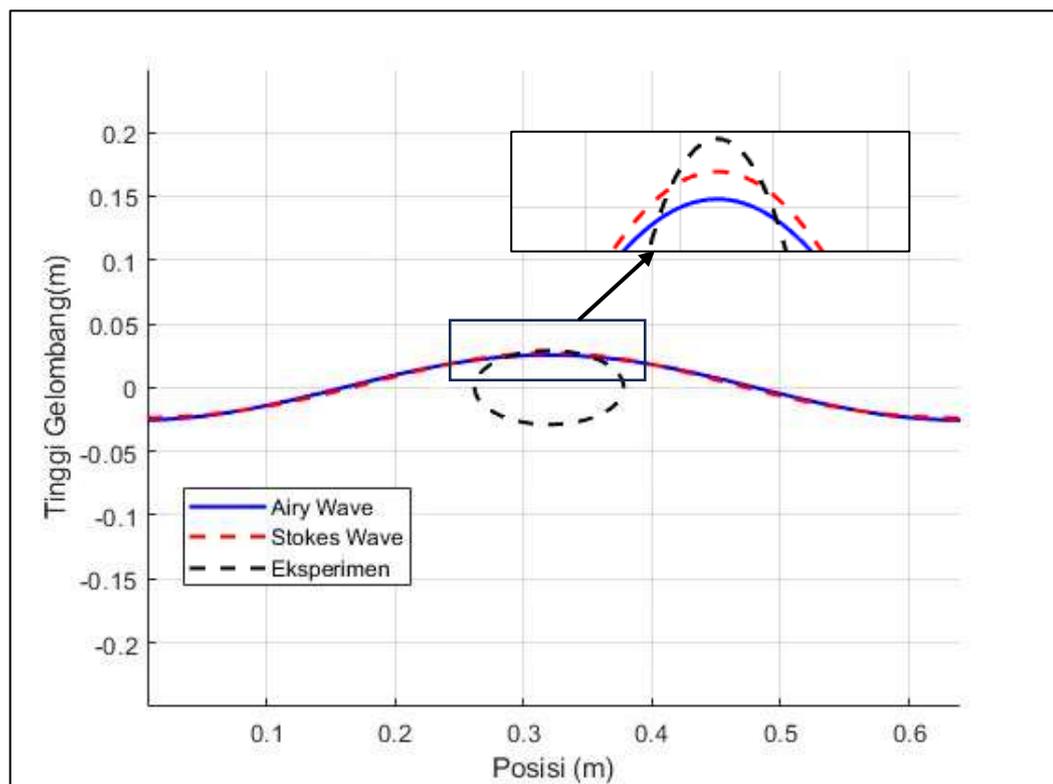
terbentuk dari perpindahan objek uji pada sumbu x dan sumbu y. Perpindahan objek uji pada sumbu y menghasilkan gelombang air dengan tinggi gelombang yang bervariasi. Tinggi gelombang yang tertinggi bernilai sebesar 5,1 cm, sedangkan tinggi gelombang terendahnya sebesar 2,9 cm.



Gambar 33. Grafik perpindahan objek uji pada  $e = 3$  cm

Profil perbandingan antara eksperimen dengan analitik pada variasi  $e = 3$  cm dapat dilihat pada Gambar 34. Pada variasi  $e = 3$  cm ini gelombang air sudah memasuki teori Cnoidal karena bentuk puncak gelombang airnya yang lancip. Berdasarkan hasil data perbandingan yang diperoleh dapat dilihat bahwa lintasan partikel air yang terbentuk telah melewati kedua kurva teori gelombang. Teori gelombang Cnoidal sendiri memiliki amplitudo yang lebih kecil daripada tinggi gelombangnya. Hal ini terjadi karena puncak gelombang yang dihasilkan kecil dan cenderung terjal dengan lembahnya yang cenderung landai. Panjang gelombang dari teori Cnoidal ini lebih besar daripada teori gelombang Airy. Sehingga berdasarkan teori dasar dan juga hasil perhitungan analitik yang memperlihatkan kurva hasil eksperimen melewati teori gelombang Stokes maka dapat diidentifikasi bahwa gelombang air yang terbentuk pada  $e = 3$  cm ini adalah gelombang Cnoidal. Fenomena ini terjadi disebabkan adanya tekanan yang diberikan oleh pembangkit gelombang ke permukaan air yang lebih besar dari nilai  $e = 1$  cm dan  $e = 2$  cm. Hal tersebut juga didukung oleh massa pembangkit gelombang yang menjadi lebih besar akibat dari

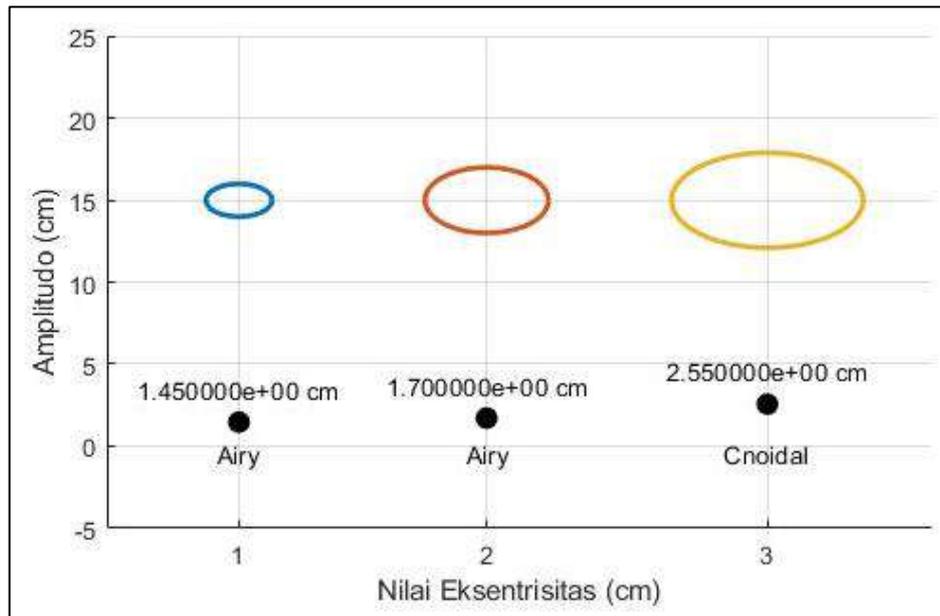
semakin banyaknya air yang mengisi ruang hampa yang berada di dalam pembangkit gelombang. Selain daripada itu, terdapat gelombang air balik yang dihasilkan oleh hantaman gelombang air dari peredam gelombang yang berada di kolam. Sehingga gelombang air yang terbentuk dari pembangkit gelombang menjadi acak. Gelombang air yang acak tersebut diakibatkan adanya gaya aksi dan reaksi yang terbentuk oleh gelombang balik dari peredam gelombang air dengan gelombang air yang tercipta oleh pembangkit gelombang.



Gambar 34. Profil perbandingan eksperimen dengan analitik pada  $e = 3 \text{ cm}$

Berdasarkan data yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai eksentrisitas penggerak maka akan semakin besar juga nilai amplitudo gelombang. Selain daripada itu, nilai eksentrisitas juga mempengaruhi ukuran lintasan partikel air yang terbentuk. Sama halnya dengan nilai amplitudo, semakin besar nilai eksentrisitas penggerak maka bentuk lintasan partikel yang terbentuk akan semakin besar. Hal tersebut dapat dilihat pada sumbu mayor dan minor dari lintasan partikel yang berbentuk elips. Sebagai contoh pada nilai  $e = 1 \text{ cm}$  menghasilkan lintasan partikel air dengan sumbu mayor sebesar 2 cm dan sumbu minor sebesar 1 cm,

sedangkan pada nilai  $e = 2$  cm menghasilkan lintasan partikel air dengan sumbu mayor sebesar 3,74 cm dan sumbu minor sebesar 2 cm. Lintasan partikel air yang terbesar pada nilai  $e = 3$  cm, dimana sumbu mayor sebesar 5,8 cm dan sumbu minor sebesar 2,55 cm. Agar lebih jelas dalam menggambarkan perbedaan amplitudo dan lintasan partikel air dari variasi eksentrisitas dapat dilihat pada Gambar 35.



Gambar 35. Grafik kesimpulan

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan pengujian secara eksperimen dan analitik yang telah dilakukan maka penulis dapat menarik kesimpulan adalah sebagai berikut:

1. Tinggi gelombang air yang dihasilkan dari pembangkit gelombang dengan geometri yang baru lebih besar jika dibandingkan dengan geometri pembangkit gelombang yang lama. Dari hasil pengujian, untuk eksentrisitas penggerak 3 cm pada pembangkit gelombang sebelum dimodifikasi menghasilkan tinggi gelombang sebesar 1 cm, panjang gelombang sebesar 64 cm, dan periode gelombang sebesar 0,55 sekon. Sedangkan untuk pembangkit gelombang setelah dimodifikasi menghasilkan tinggi gelombang sebesar 5,1 cm, panjang gelombang sebesar 64 cm, dan periode gelombang sebesar 0,633 sekon. Kemudian pada nilai eksentrisitas penggerak 5 cm untuk pembangkit gelombang sebelum dimodifikasi menghasilkan tinggi gelombang sebesar 6 cm, panjang gelombang sebesar 66 cm, dan periode gelombang sebesar 0,520 sekon. Sedangkan untuk pembangkit gelombang setelah dimodifikasi menghasilkan tinggi gelombang sebesar 9,4 cm, panjang gelombang sebesar 87 cm, dan periode gelombang sebesar 0,667 sekon.
2. Bentuk geometri pembangkit gelombang mempengaruhi bentuk gelombang air yang dihasilkan. Berdasarkan perhitungan analitik dinyatakan bahwa hasil gelombang air dengan nilai  $e = 1$  cm masuk ke dalam teori gelombang Airy karena berada di bawah area kurva Airy. Kemudian untuk  $e = 2$  cm mendekati teori gelombang Stokes akan tetapi masih masuk ke dalam teori gelombang Airy. Sedangkan untuk gelombang air pada  $e = 3$  cm mendekati teori Cnoidal

karena karakteristiknya yang mirip dengan teori Cnoidal. Selain daripada itu, dapat disimpulkan juga bahwa semakin besar nilai eksentrisitas penggerak maka bentuk partikel air yang dihasilkan akan semakin besar.

## **5.2. Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Disarankan untuk mengoptimasi bentuk rangka alat media pengombak agar lebih stabil dan mampu mereduksi getaran yang dihasilkan oleh motor listrik.
2. Disarankan untuk mengoptimasi bentuk peredam gelombang air yang berada di kolam agar mampu meredam gelombang air balik yang tercipta oleh hantaman gelombang air dari pembangkit gelombang dengan bagian ujung dinding kolam.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amaliyah, E.F., Widiningrum, T.A., Djakfar, L., & Harimurti. (2014). Analisa Tegangan Dan Regangan Pada Perkerasan Porus Dengan Skala Semi Lapangan Dan Software Ansys. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya*, 1(3).
- Ahmed, M.R., Faizal, M., Prasad, K., Cho, Y. J., Kim, C. G., & Lee, Y. H. (2010). Exploiting the orbital motion of water particles for energy extraction from waves. *Journal of mechanical science and technology*, 24, 943-949.
- Akmal, J., Magnolia, A.N., Suudi, A., Tanti, N., & Lubis, A. (2023). Identifikasi Kinematika Partikel Air dan Karakterisasi Gelombang Ombak dengan Metode *Video Tracker*. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 18(1), 24-28.
- Baliska, D.Z., Bisono, R.M., Salim, A.T.A, Sulistyono, S., & Nurdiansyah, R.T. (2023). Metode CFD untuk Pengolahan Data Pengukuran Temperatur dan Analisis Distribusi Temperatur Ruangan KRDE. *Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur (JETM)*, 6(1), 37 – 44.
- Budipriyanto, A. (2008). Pengaruh Non Linieritas Gelombang terhadap Gaya dan Momen Guling akibat Gelombang pada Dinding Vertikal di Laut Dangkal. *Jurnal APLIKASI*, 5(1), 22-31.
- Cahyono, B. (2013). Penggunaan Software Matrix Laboratory (MATLAB) dalam pembelajaran aljabar linier. *Jurnal Phenomenon*, 1(1), 45-62.
- Faharuddin, A., Saputra, A., & Satriani, S. (2019). Model Pembangkit Listrik Tenaga Ombak. *Vertex Elektro*, 11(2), 19-27.
- Faizal, M., Ahmed, M. R., & Lee, Y. H. (2010). On utilizing the orbital motion in water waves to drive a Savonius rotor. *Renewable Energy*, 35(1), 164-169.
- Fenton, J. D. (1990). Nonlinear wave theories. *the Sea*, 9(1), 3-25.
- Gerrits, L., Thambas, A. H., & Jasin, M. I. (2020). Analisis Kinerja Gelombang di Pantai Malalayang II. *Jurnal Sipil Statik*, 8(1), 39-44.
- Hidayat, D. S., Rahmat, C., Fattah, N., Rochyadi, E., Nandiyanto, A., & Maryanti, R. (2020). Understanding Archimedes law: What the best teaching strategies

for vocational high school students with hearing impairment. *Journal of Technical Education and Training*, 12(1).

Hindasageri, V., Ramesh, H., & Gaurav, A. (2012) Effect of Variation of Wave Height and Ocean depth on the Performance of Savonius Rotors Utilizing the Orbital Motion of Ocean Waves in Shallow Waters. *Journal of Sustainable Energy & Environment*, 3(12) , 53-57.

Heller, V., Hager, W.H., & Minor, H. E. (2009). Landslide generated impulse waves in reservoirs: Basics and computation. *Mitteilungen 211, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW)*.

Hughes, A., & Drury, B. (2019). *Electric motors and drives: fundamentals, types and applications*. Newnes.

Hurst, K.S. (1999). *The Engineering Design Principles*. University of Hull.

Hutahean, S., Tuah, H., Merati, W., & Wiryanto, L. (2005). Beberapa Permasalahan pada Teori Gelombang Linier. *Jurnal Teknik Sipil*, 12(1), 13-20.

Kawengian, S., Balamba, S., & Sarajar, A. N. (2018). Analisis Daya Dukung Lateral pada Tiang Pancang Kelompok di Dermaga Belang. *Jurnal Sipil Statik*, 6(9).

Kiftiah, M., Partiw, W. B., Fran, F., & Prihandono, B. (2016). Eksistensi Dan Ketunggalan Solusi Persamaan Gelombang Airy Menggunakan Pendekatan Semigrup  $C_0$ . *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*, 39(2), 159-163.

Mahmoudof, S. M., & Hajivalie, F. (2017). Introduction of a simple cnoidal wave formulation based on nonlinear interaction of wave-wave principles. *International Journal Of Coastal, Offshore And Environmental Engineering*, 2(2), 51-58.

Makrygiannis, G. K., & Dimas, A. A. (2015). Numerical simulation of fluid-structure interaction between sea waves and a spar-buoy wind turbine platform. In 8th gracm international congress on computational mechanics Volos.

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K.H. (2007). *Engineering Design A Systematic Approach - Third Edition*. Springer-Verlag London Limited.

Patel, A., & Dhakar, P. S. (2018). CFD Analysis of air conditioning in room using Ansys Fluent. vol, 5, 436-441.

Reniana, Bintoro, N., & Nugroho, J. (2017). Analisis Sistem Aerasi pada Penyimpanan Gabah dalam Silo Menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD). *Jurnal Keteknik Pertanian*, 5(2), 187-194.

- Ristiawan, A. (2018). Analisis gerak jatuh bebas dengan metode video based laboratory (vbl) menggunakan software tracker. *Journal of Teaching and Learning Physics*, 3(2), 26-30.
- Silva, J. A. D., Silva, L. P. D., Campos, J. C. C., Siqueira, A. M. D. O., Gurgel, A., & Gómez, L. C. (2023). Dynamic mesh analysis by numerical simulation of internal combustion engines. *REM-International Engineering Journal*, 77, 27-37.
- Sosnowski, M., Krzywanski, J., & Gnatowska, R. (2017). Polyhedral meshing as an innovative approach to computational domain discretization of a cyclone in a fluidized bed CLC unit. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 14, p. 01027). EDP Sciences.
- Sugiri, P. L., Husain, J. M., & Bakri, H. (2016). Analisis Gaya Apung (*Buoyancy*) pada Sistem Perpipa Gas di Area Flowline dan Trunkline. *Jurnal Geomine*, 4(3).
- Sumihi, D., Kekenusa, J.S., & Nainggolan, N. (2017). Prediksi Tinggi Gelombang Laut di Perairan Laut Sulawesi Utara dengan Menggunakan Model Vector Autoregressive (VAR). *Jurnal Matematika dan Aplikasi*, 6(2), 73-79.
- Sundar, V. (2016). *Ocean Wave Mechanics: Applications in Marine Structures*. John Wiley & Sons Ltd.
- Uddin, M. N., Atkinson, M., & Opoku, F. (2020). A Computational Fluid Dynamics Investigation of a Numerically Simulated Wave Tank. *American Journal of Mechanical Engineering*, 8(1), 40-49.
- Vionita, Sari, V.P., Ekawita, R., & Yuliza, E. (2022). Rancang Bangun Simulator Gelombang Laut Skala Laboratorium Berbasis Motor DC. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 5(2), 61-67.
- Wendt, J. F. (Ed.). (2008). *Computational fluid dynamics: an introduction*. Springer Science & Business Media.
- Wiegel, R. (1960). A presentation of cnoidal wave theory for practical application. *Journal of Fluid Mechanics*, 7(2), 273-286. doi:10.1017/S0022112060001481