UNJUK KERJA PEREDAM GELOMBANG TIPE PELAT BEROTASI

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Guna Meraih Gelar Sarjana Teknik
(S.T) pada Program Studi Teknik Kelautan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Makassar



OLEH:

IKRAM RAMLI D321 15 305

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN MAKASSAR 2020

KEMENTRIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN UNIVERSITAS HASANUDDIN FAKULTAS TEKNIK

Jl. Poros Malino Km. 06 Bontomarannu (92172) Gowa, Sulawesi Selatan, 92172 Telp. (0411) 586015, 586262 Fax. (0411) 586015 http://eng.unhas.ac.id Email: teknik@unhas.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN

Judul:

UNJUK KERJA PEREDAM GELOMBANG TIPE PELAT BEROTASI

Oleh:

D321 15 305

Skripsi ini telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat guna mencapai gelar sarjana pada Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.

Gowa, 9 Agustus 2020

Menyetujui:

Pembimbing I,

Daeng Paroka, ST., MT., Ph. D

NIP. 1970118 199802 1 001

Pembimbing II,

Sabaruddin Rahman, ST., MT., Ph. D

NIP. 19760719200112 1 001

Mengetahui

Ketua Departemen Teknik Kelautan,

Dr. Taufique Rachman, ST., MT NIP. 19690802 199702 1 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama

: IKRAM RAMLI

NIM

: D321 15 305

Judul Skripsi : UNJUK KERJA PEREDAM GELOMBANG TIPE PELAT

BEROTASI

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penilisan skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan simulasi yang tercantum sebagai bagian dari skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain dalam penelitian ini, maka saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun. Jika kemudian hari terdapat kesalahan dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi dari pihak otoritas kampus sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Gowa, 14 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan,

IKRAM RAMLI

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Segala puji bagi Allah SWT, atas limpahan rahmat dan nikmat berupa nikmat kesehatan jasmani dan rohani yang diberikan kepada penulis, sehingga mampu menyelesaikan tugas akhir ini sesuai yang diharapkan. Shalawat serta salam kepada Baginda Rasulullah Muhammad SAW, sahabat, keluarga, serta para pengikutnya.

Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan studi guna meraih gelar sarjana pada Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dalam proses penyusunan sampai dengan terselesaikannya skripsi yang berjudul "UNJUK KERJA PEREDAM GELOMBANG TIPE PELAT BEROTASI" penulis sangat terbantu oleh banyak pihak, maka dari itu dengan segala kerendahan hati, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesarbesarnya kepada:

- Ayahanda (Alm. Muh. Ramli Nur) dan Ibunda (Imardalia) tercinta atas dukungan dan doa yang tak henti-hentinya selalu diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan pendidikan sebagai sarjana. Terima kasih juga telah mendidik, merawat dan membesarkan hingga kini dengan penuh kasih sayang.
- 2. Keluarga besar saya, terkhusus bapak Aras dan Tutut Indriani atas doa dan dukungannya, motivasi serta nasehat yang selalu diberikan kepada penulis, sehingga mampu menyelesaikan pendidikan ini. Semoga kita semua dalam lindungan-NYA dan termasuk anak yang sholeh dan sholeha serta berbakti kepada kedua orang tua.
- 3. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
- 4. Bapak **Dr. Taufiqur Rachman, ST., MT** selaku ketua Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

- 5. Bapak Daeng Paroka, ST., MT., Ph. D dan Sabaruddin Rahman, ST., MT., Ph.D selaku Pembimbing I dan Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga terselesaikannya penulisan skripsi ini.
 - 6. **Dr. Hasdinar Umar, ST., MT** selaku Penasehat Akademik (PA) selama menjadi mahasiswa Teknik Kelautan.
 - Segenap staf pengajar dan administrasi Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu kelancaran perkuliahan dan administrasi.
 - Teman-teman Mahasiswa khususnya Teknik Kelautan 2015 yang selalu memberi dukungannya serta waktu yang telah kita lalui bersama dalam suka dan duka.
 - Kanda kanda Senior dan Junior yang telah membantu secara disengaja maupun tidak disengaja.
 - 10. Dan seluruh pihak yang tak mungkin disebut satu-persatu, terima kasih atas seluruh bantuan moril maupun materil yang telah diberikan.

Penulis menyadari keterbatasannya sehingga mungkin dalam penyusunan tugas akhir ini masih terdapat beberapa kekurangan dan kesalahan. Oleh karena itu, penulis akan senantiasa menerima kritikan dan saran dari pembaca yang bersifat membangun.

Akhir kata saya berharap apa yang telah saya paparkan dalam tugas akhir ini dapat membawa manfaat bagi para pembaca, khususnya mahasiswa yang akan melakukan peneitian dalam bidang yang serupa. Aamiin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Gowa, Maret 2020

Penulis

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Gelombang	5
2.1.1. Teori Dasar Gelombang Airy	6
2.1.2. Energi Gelombang	10
2.2. Teori Gerak Bangunan Apung	12
2.2.1. Gerak <i>Surge</i> (x)	13
2.2.2. Gerak Sway (y)	14
2.2.3. Gerak <i>Heave</i> (z)	15
2.2.4. Gerak $Roll(\varphi)$	15
2.2.5. Gerak $Pitch(\theta)$	16
2.2.6. Gerak <i>Yaw</i> (ψ)	17
2.3. Pemecah Gelombang	17
2.3.1. Pengertian Pemecah Gelombang	17
2.3.2. Tipe Pemecah Gelombang	19
2.4. Konverter Energi Gelombang	23
2.4.1. Kelebihan Konverter Energi Gelombang	23
2.4.2. Tantangan Konverter Energi Gelombang	24
2.4.3. Jenis Konverter Energi Gelombang	25
2.5. Arduino Uno	27
2.6. Sensor MPU-6050	27
2.7. Sensor HC-SR04	29

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian	30
3.2. Penyajian Data	30
3.2.1. Data Prototipe Pelat berotasi	30
3.2.2. Spesifikasi Mikrokontroller dan Sensor	31
3.3. Analisis Data	32
3.4. Diagram Alir	34
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	39
4.1. Tinggi dan Periode Gelombang Simulasi	39
4.2. Skala Model	40
4.3. Pengaruh H i / gT ² Terhadap Kt	40
4.4. Pengaruh Massa Pelat Terhadap Kt	43
4.5. Pengaruh Tinggi Gelombang Terhadap Kemiringan Pelat	46
4.6. Pengaruh Massa Pelat Terhadap Kemiringan Pelat	47
BAB V PENUTUP	49
5.1. Kesimpulan	49
5.2. Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Daerah penerapan teori gelombang fungsi H/d dan d/L	6
Gambar 2.2. Sketsa definisi gelombang	7
Gambar 2.3. Sketsa definisi gelombang linier	9
Gambar 2.4. Gerak partikel air dalam gelombang	10
Gambar 2.5. Ilustrasi gerakan six degree of freedom	13
Gambar 2.6. Multi-layered rubble mound breakwater	19
Gambar 2.7. Armour layer stability	19
Gambar 2.8. Submerged breakwater	20
Gambar 2.9. Basic vertical breakwater	20
Gambar 2.10. Tipikal Vertikal Composite Breakwaters	21
$Gambar\ 2.11.\ Tipikal\ potongan\ melintang\ Horizontal\ composite\ breakwaters\ .$	21
Gambar 2.12. Curtain wall breakwater	22
Gambar 2.13. Horizontal Plate Breakwater	22
Gambar 2.14. Floating Breakwater	23
Gambar 2.15. Attenuator device: Pelamis wave farm	25
Gambar 2.16. Point absorber device: OPT Powerbuoy	26
Gambar 2.17. Terminator device: Salter's Duck	26
Gambar 2.18. Arduino Uno	27
Gambar 2.19. Sensor MPU-6050	28
Gambar 2.20. Sensor HC-SR04.	29
Gambar 3.1. Desain prototipe pelat berotasi pada aplikasi Autocad	34
Gambar 3.2. Prototipe pelat berotasi yang telah dirakit	35
Gambar 3.3. Penggabungan sensor pada prototipe pelat berotasi	35
Gambar 3.4. Pembuatan scatch program menggunakan Arduino IDE	36
Gambar 3.5. Simulasi prototipe pelat berotasi pada <i>flume tank</i>	36
Gambar 3.6. Penginputan data pada Excel.	37
Gambar 4.1. Profil muka air hasil pengujian ke 27	41
Gambar 4.2. Profil muka air hasil pengujian ke 17	42
Gambar 4.3. Pengaruh Hi/gT2 terhadap nilai Kt	43

Gambar 4.4. Pengaruh massa pelat terhadap nilai Kt untuk amplitudo 0,02 m	44
Gambar 4.5. Pengaruh massa pelat terhadap nilai Kt untuk amplitudo 0,04 m	45
Gambar 4.6. Perbandingan gerak heaving pada amplitudo 0,02 m dan 0,04 m	45
Gambar 4.7. Ilustrasi kemiringan pelat	46
Gambar 4.8. Pengaruh tinggi gelombang terhadap kemiringan pelat	47
Gambar 4.9. Pengaruh tinggi gelombang terhadap kemiringan pelat	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Batasan gelombang air dangkal, air transisi dan air dalam	9
Tabel 3.1. Variasi simulasi percobaan pada <i>Flume tank</i>	33
Tabel 4.1. Gelombang dominan yang terjadi di 6 lokasi pengambilan data	39
Tabel 4.2. Pengaruh massa pelat terhadap nilai Kt	43
Tabel 4.3. Pengaruh tinggi gelombang terhadap kemiringan pelat	46
Tabel 4.4. Pengaruh massa pelat terhadap kemiringan pelat	47

DAFTAR NOTASI

Simbol Keterangan	Satuan
L Panjang gelombang	m
H Tinggi gelombang	m
d Jarak antara muka air rerata dan dasar l	aut m
a Amplitudo	m
η Fluktuasi muka air terhadap muka air d	iam m
T Periode gelombang	S
C Kecepatan rambat gelombang	m/s
k Angka gelombang	rad/m
g Percepatan grafitasi	m/s^2
ω Frekuensi gelombang	rad/s
m Massa Gelombang	kg
ρ Massa jenis air laut	kg/m^3
w Lebar gelombang	m
Φ Gerak rotasi sumbu X (roll)	m/°
θ Gerak rotasi sumbu Y (pitch)	m/°
ψ Gerak rotasi sumbu Z (yaw)	m/°
k_{xx} Radius Girasi terhadap sumbu X	m
k_{yy} Radius Girasi terhadap sumbu Y	m
k_{zz} Radius Girasi terhadap sumbu Z	m
I_{xx} Momen inersia polar terhadap sumbu X	kg. m ²
I_{yy} Momen inersia polar terhadap sumbu Y	kg. m ²
I _{zz} Momen inersia polar terhadap sumbu Z	kg. m ²
nL Skala perbandingan panjang	
Lr Ukuran panjang di lapangan	m
Lp Ukuran panjang di laboratorium	m
K_t Koefisien transmisi	
Hi Tinggi gelombang di depan prototipe	m
Hr Tinggi gelombang di belakang prototip	e m

ABSTRAK

IKRAM RAMLI, UNJUK KERJA PEREDAM GELOMBANG TIPE PELAT

BEROTASI. Dibimbing oleh (Daeng Paroka ST., MT., Ph. D dan Sabaruddin

Rahman, ST., MT., Ph. D).

Penelitian ini bertujuan untuk mengamati pengaruh pelat berotasi terhadap

reduksi gelombang dan kemiringan pelat. Penelitian ini diharapkan mampu menjadi

inovasi baru pada desain pemecah gelombang dan pembangkit energi gelombang.

Variabel data yang digunakan yaitu tinggi gelombang, periode gelombang, massa

pelat, kemiringan pelat, dan koefisien transmisi. Data yang digunakan adalah hasil

penskalaan dari data gelombang di Pelabuhan Natuna, Takalar, Bantaeng, Jailolo,

Teluk Jakarta, dan Pelabuhan Kairatu dengan menggunakan skala 1:25. Penskalaan

dilakukan untuk penerapan simulasi gelombang pada flume tank. Hasil penelitian

ini menunjukkan bahwa massa pelat dan tinggi gelombang dapat mempengaruhi

reduksi gelombang dan kemiringan pelat. Berdasarkan simulasi yang dilakukan,

semakin besar amplitudo gelombang, maka nilai koefisien transmisi semakin kecil.

Adapun besar kemiringan pelat berbanding lurus dengan amplitudo gelombang dan

berbanding terbalik dengan massa pelat yang digunakan.

Kata kunci: Gelombang, Pelat berotasi, Kemiringan pelat.

xii

ABSTRACT

IKRAM RAMLI, PERFORMANCE OF WAVE ABSORBER TYPE ROTATING

PLATE. Supervised by (Daeng Paroka ST., MT., Ph. D and Sabaruddin

Rahman, ST., MT., Ph. D).

This study aims to observe the effect of rotating plates on wave reduction

and plate slope. This research is expected to be a new innovation in the design of

breakwaters and wave energy convertion. Data variables used are wave height,

wave period, plate mass, plate slope, and transmission coefficient. The data used is

the scaling of wave data at the Ports of Natuna, Takalar, Bantaeng, Jailolo, Jakarta

Bay, and Kairatu Port using a scale of 1:25. Scaling is done for the application of

wave simulation on the flume tank. The results of this study indicate that the plate

mass and wave height can affect the wave reduction and slope of the plate. Based

on simulations results, the greater the amplitude of the wave, the smaller the

transmission coefficient value. The magnitude of the slope of the plate is directly

proportional to the wave amplitude and inversely proportional to the mass of the

plate used.

Keywords: Wave, Rotating Plate, Plate Slope.

Xiii

BABI

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki sumber daya alam terbarukan yang melimpah. Seharusnya Indonesia tidak memiliki permasalahan dengan kekurangan energi listrik. Salah satu sumberdaya alam terbarukan yang dapat dimanfaatkan untuk mengatasi masalah tersebut adalah gelombang air laut. (Subagio et al., 2012)

Saat ini telah banyak jenis teknologi yang dikembangkan pada pembangkit listrik tenaga gelombang laut, diantaranya : teknologi bouy type, teknologi overtopping devices, dan teknologi Osclatting water column (Subagio et al., 2012)

Pada dasarnya prinsip kerja teknologi yang mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik adalah mengakumulasi energi gelombang laut untuk memutar turbin generator. Oleh karena itu, sangat penting memilih lokasi yang secara topografi memungkinkan akumulasi energi. Meskipun penelitian untuk mendapatkan teknologi yang optimal dalam mengonversi energi gelombang laut masih terus dilakukan. Dalam perkembangan penelitian tentang pembangkit listrik tenaga gelombang, semakin banyak ditemukan jenis-jenis pembangkit energi sesuai dengan sistem dan proses pembangkitnya masing-masing. Karakteristik power plant yang ada disesuaikan dengan wilayah laut serta karakteristik dari gelombang pada daerah tersebut (Naquib, 2014).

Struktur breakwater saat ini didesain untuk mengurangi dan menyerap limpasan air laut (overtopping) untuk melindungi daerah pantai. Namun, energi overtopping tersebut juga mampu merusak struktur breakwater itu sendiri. Sehingga muncul pemikiran untuk mengubah dampak negatif energi overtopping tersebut menjadi bermanfaat, misalnya dengan mengubah energi tersebut menjadi energi listrik dengan mengubah desain struktur breakwater (Naquib, 2014).

Penelitian ini akan difokuskan pada pengaruh berat pelat dan variasi gelombang pada sistem pelat berotasi. Pengaruh berat pelat dan arah sudut datang gelombang merupakan salah satu aspek penting dalam perencanaan bangunan sistem pelat berotasi untuk pemanfaatan energi gelombang pada penelitian ini. Hal ini dikarenakan berat pada pelat dapat menyebabkan fluktuasi muka air laut yang dapat mempengaruhi besarnya redaman gelombang dan kemiringan pelat yang dihasilkan untuk dimanfaatkan energinya.

Berdasarkan uraian diatas, maka peneliti tertarik untuk menelitinya dan menuangkan dalam bentuk penulisan tugas akhir atau skripsi yang berjudul : "Unjuk Kerja Peredam Gelombang Tipe Pelat Berotasi".

1.2. Rumusan Masalah

Pada penelitian ini masalah yang akan diteliti yaitu:

- a. Bagaimana hubungan antara tinggi gelombang dengan besar gelombang yang mampu diredam?
- b. Bagaimana hubungan antara massa pelat dengan besar gelombang yang mampu diredam?
- c. Bagaimana hubungan tinggi gelombang dengan besar sudut kemiringan pelat?
- d. Bagaimana hubungan antara massa pelat dengan besar sudut kemiringan pelat?

1.3. Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak terlalu melebar dari tujuan yang ingin dicapai, maka ditentukan batasan permasalahan. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Pada penelitian ini tidak diperhitungkan factor gesekan pada alat ukur.
- b. Pada penelitian ini tidak diperhitungkan kekuatan rangka penopang pelat berotasi.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Mengetahui hubungan tinggi gelombang dengan besar gelombang yang mampu diredam.
- b. Mengetahui hubungan antara massa pelat dengan besar gelombang yang mampu diredam.
- Mengetahui hubungan tinggi gelombang dengan besar sudut kemiringan pelat.
- d. Mengetahui hubungan antara massa pelat dengan besar sudut kemiringan pelat.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui ukuran dan posisi pelat berotasi yang paling efisien untuk digunakan sebagai penyerap dan turbin gelombang.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terbagi dalam lima bab dengan harapan, maksud dan tujuan dari penulisan ini dapat terangkum secara keseluruhan. Pembagian bab tersebut adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini merupakan gambaran awal yang menguraikan tentang informasi secara menyeluruh dari penelitian yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan secara singkat teori – teori dasar yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan jenis penelitian, lokasi dan waktu penelitian, perolehan data, penyajian data, dan tahapan – tahapan penelitian.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil pengamatan, analisa dan pembahasan dari pengolahan data yang diperoleh dengan menggunakan teori – teori yang telah dijelaskan sebelumnya sehingga diharapkan hasil yang diperoleh sesuai dengan tujuan penelitian.

BAB V PENUTUP

Bab ini menyajikan kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisa yang telah dilakukan serta saran – saran yang diharapkan mampu menjadi masukan untuk penelitian berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

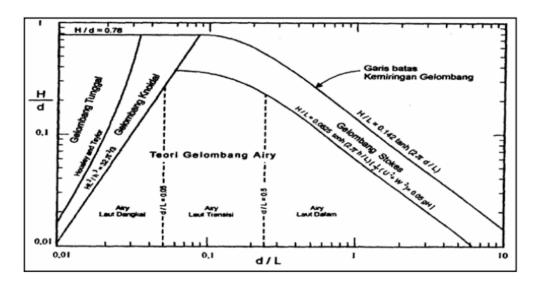
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gelombang

Gelombang merupakan salah satu faktor utama dalam penentuan morfologi dan komposisi pantai serta penentuan proses perencanaan dan desain bangunan pelabuhan, terusan (waterway), struktur pantai, alur pelayaran, proteksi pantai, dan kegiatan pantai lainnya (CERC,1984). Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam tergantung pada daya pembangkitnya. Diantaranya adalah gelombang angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut yang dibangkitkan oleh gaya tarik bendabenda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi, dan gelombang tsunami terjadi karena letusan gunung berapi atau gempa di laut, gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak.

Terdapat beberapa teori yang menggambarkan bentuk gelombang dengan beberapa derajat kekompleksan dan ketelitian untuk menggambarkan kondisi di alam diantaranya adalah teori gelombang linier (teori Airy atau teori gelombang amplitudo kecil) dan teori gelombang non-linear diantaranya gelombang Stokes, gelombang Knoidal, gelombang Gerstner, Mich, dan gelombang tunggal (solitary wave).

Masing-masing teori tersebut mempunyai batasan keberlakuan yang berbeda. Untuk menentukan teori yang paling sesuai dengan permasalahan yang dihadapi, diberikan batasan pemakaian dari masing-masing teori gelombang pada gambar 2.1. Dalam gambar tersebut penerapan teori gelombang didasarkan pada nilai perbandingan H/d dan d/L (Triatmodjo, 1999).



Gambar 2.1. Daerah penerapan teori gelombang fungsi H/d dan d/L (Triatmodjo, 1999)

2.1.1. Teori Dasar Gelombang Airy

Teori yang paling sederhana dan mudah dipahami adalah teori gelombang linier atau teori gelombang amplitudo kecil, yang pertama kali dikemukakan oleh Airy tahun 1845, yang selanjutnya dikenal dengan teori gelombang Airy. Didalam teori gelombang Airy dianggap bahwa tinggi gelombang adalah sangat kecil terhadap panjangnya atau kedalamannya. Teori Gelombang Airy (teori amplitudo kecil) diturunkan berdasarkan persamaan Laplace untuk aliran tak rotasi (irrotational flow) dengan kondisibatas di dasar laut dan di permukaan air. Terdapat beberapa anggapan yang digunakan untuk menurunkan persamaan gelombang adalah sebagai berikut:

- a. Zat cair adalah homogen dan tidak termampatkan, sehingga rapat masa adalah konstan.
- b. Tegangan permukaan diabaikan.
- c. Gaya coriolis akibat perputaran bumi di abaikan.
- d. Tekanan pada permukaan air adalah seragam dan konstan.
- e. Zat cair adalah ideal, sehingga berlaku aliran tak rotasi.
- f. Dasar laut adalah horizontal, tetap dan impermeable sehingga kecepatan vertikal di dasar adalah nol.

- g. Amplitudo gelombang kecil terhadap panjang gelombang dan kedalaman air.
- h. Gerak gelombang berbentuk silinder yang tegak lurus arah penjalaran gelombang sehingga gelombang adalah dua dimensi.

Pada gambar 2.2. menunjukkan suatu gelombang yang berada pada sistem koordinat x-y. Fluktuasi muka air adalah periodik terhadap x dan t, dan merupakan gelombang sinusoidal dan progresif yang menjalar dalam arah sumbu x. Beberapa notasi yang digunakan di dalam perhitungan gelombang Airy adalah:

L: panjang gelombang (m)

d: jarak antara muka air rerata dan dasar laut (m)

a: amplitudo gelombang (m)

H: tinggi (m)

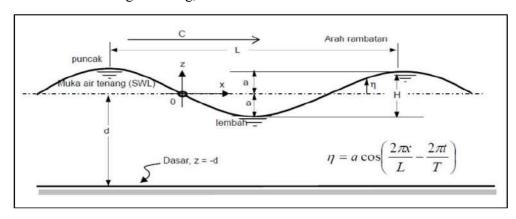
 $\eta(x, t)$: fluktuasi muka air terhadap muka air diam (m)

T : periode gelombang (s)

C: kecepatan rambat gelombang, L/T

k: angka gelombang, $2\pi/L$

 σ : frekuensi gelombang, 2π/T



Gambar 2.2. Sketsa definisi gelombang (Triatmodjo, 1999)

Berdasarkan teori Airy maka gerak gelombang dianggap sebagai kurva sinus harmonis (*sinusiodal progressive wave*), gelombang dapat dijelaskan secara geometris berdasarkan (Triatmodjo, 1999):

- a. Tinggi gelombang (H), yaitu jarak antara puncak dan lembah gelombang dalam satu periode gelombang.
- b. Panjang gelombang (L), jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan.

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} tanh\left(\frac{2\pi d}{L_0}\right)....(2.1)$$

Persamaan (2.1) dapat diselesaikan dengan metode iterasi untuk menentukan panjang gelombang pada suatu kedalaman dengan memasukkan panjang gelombang awal (Lo) menggunakan persamaan berikut:

$$Lo = 1,56T^2$$
(2.2)

c. Jarak antara muka air rerata dan dasar laut (d) atau kedalaman laut.

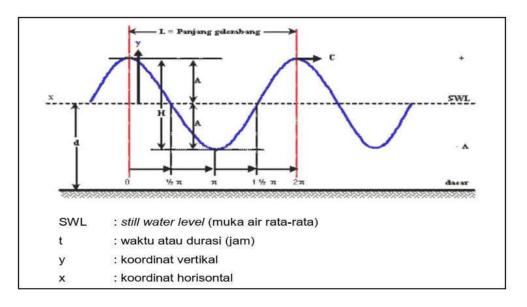
Ketiga parameter tersebut diatas digunakan untuk menentukan parameter gelombang lainnya, seperti :

- 1. Kemiringan gelombang (wave steepness) = H/L
- 2. Ketinggian relatif (relative height) = H/d
- 3. Kedalaman relatif (relative depth) = d/L

Parameter penting lainnya seperti:

- a. Amplitudo gelombang (a), biasanya diambil setengah tinggi gelombang (
 2H).
- b. Periode gelombang (T), yaitu interval waktu yang dibutuhkan antara 2 puncak gelombang (*wave crest*).

Frekuensi (f), yaitu jumlah puncak gelombang yang melewati titik tetap perdetik. Frekuensi berbanding terbalik dengan periode, Satu periode gelombang dapat juga dinyatakan dalam ukuran sudut (θ) = 2π seperti dijelaskan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Sketsa definisi gelombang linier (CERC,1984)

Sehingga frekuensi sudut gelombang (σ) yang didefinisikan sebagai berikut (Triatmodjo, 1999):

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \operatorname{atau} \sigma = 2\pi.f \dots (2.3)$$

c. Cepat rambat gelombang(c), dimana:

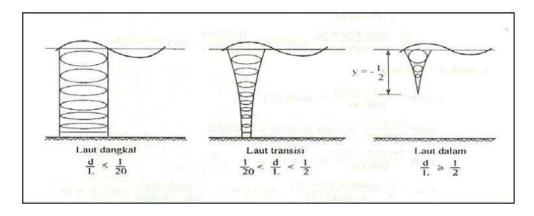
$$c = \frac{L}{T} \tag{2.4}$$

Jika ditinjau dari kedalaman relatif dimana gelombang menjalar, maka gelombang dikelompokkan dalam 3 kategori yaitu gelombang laut dangkal, gelombang laut transisi dan gelombang laut dalam. Batasan dari ketiga kategori tersebut didasarkan pada rasio antara kedalaman dan panjang gelombang (d/L). Batasan penggunaannya dapat dilihat pada tabel berikut (Triatmodjo, 1999):

Tabel 2.1. Batasan gelombang air dangkal, air transisi dan air dalam

Kategori gelombang	d/L	2πd/L	Tanh(2πd/L)
Laut dalam	> 0,5	$> \pi$	$ \begin{array}{c} \approx 1 \\ \text{Tanh}(2\pi d/L) \\ 2\pi d/L \end{array} $
Laut transisi	0,05 - 0,5	0,25 - π	
Laut dangkal	< 0,05	< 0,25	

Dalam gelombang terdapat partikel-partikel air yang berubah selama penjalaran gelombang dari laut dalam sampai laut dangkal. Bentuk partikel yang terdapat dalam gelombang yang bergerak menuju laut dangkal digambarkan pada gambar berikut:



Gambar 2.4. Gerak partikel air dalam gelombang (Triatmodjo, 1999)

2.1.2. Energi Gelombang

Dalam menghitung besarnya energi gelombang laut dengan metode oscilatting water column (OWC), hal yang pertama yang harus diketahui adalah ketersediaan akan energi gelombang laut. Total energi gelombang laut dapat diketahui dengan menjumlahkan besarnya energi kinetik dan energi potensial yang dihasilkan oleh gelombang laut tersebut. Energi potensial adalah energi yang ditimbulkan oleh posisi relatif atau konfigurasi gelombang laut pada suatu sistem fisik. Bentuk energi ini memiliki potensi untuk mengubah keadaan objek-objek lain di sekitarnya, contohnya, konfigurasi atau gerakannya. Besarnya energi potensial dari gelombang laut dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Wijaya, 2010):

$$P.E. = mg \frac{\eta(x,t)}{2}$$
....(2.5)

Dimana:

P.E = energi potensial(j)

 $m = w\rho y = Massa Gelombang (kg)$

 $\rho = \text{massa jenis air laut (kg/m}^3)$

w = lebar gelombang (m)

 $\eta(x,t) = a \sin(kx-\omega t)$ (m) = persamaan gelombang (diasumsikan gelombang sinusoidal).

a = H/2 = amplitudo gelombang. (m)

H = ketinggian gelombang (m)

 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ = konstanta gelombang (rad/m)

 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ = frekuensi gelombang (rad/s)

L = penjang gelombang (m)

T = periode gelombang (s)

Selanjutnya dihitung besarnya energi potensial gelombang lebih dari 1 periode, diasumsikan bahwa gelombang hanya merupakan fungsi dari x terhadap waktu, sehingga didapatkan persamaan y(x,t) = y(x). Jadi didapatkan:

$$dP.E. = 0.5w\rho ga^2 \sin 2\sin^2(kx - \omega t)dx$$
....(2.6)

berdasarkan persamaan $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ dan $\omega = \frac{2\pi}{T}$, maka didapat persamaan:

$$P.E. = \frac{1}{4}w\rho ga^2L \qquad (2.7)$$

Besarnya energi kinetik lebih dari 1 periode adalah sebanding dengan besarnya energi potensial yang dihasilkan.

$$K.E. = \frac{1}{4}w\rho g a^2 L \qquad (2.8)$$

Dimana energi kinetik adalah bagian energi yang berhubungan dengan gerakan dari gelombang laut. Setelah besarnya energi potensial dan energi kinetik diketahui, maka dapat dihitung total energi yang dihasilkan selama lebih dari 1 periode. Energi total dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$E_w = P.E + K.E. = \frac{1}{2} w \rho g \alpha^2 L$$
(2.9)

Total energi yang dimaksud disini adalah jumlah besarnya energi yang dihasilkan gelombang laut yang didapatkan melalui penjumlahan energi potensial dan energi kinetik yang dimilikinya. Melalui persamaan diatas, maka dapat dihitung besarnya

energy density (EWD), daya listrik (PW), dan power density (PWD) yang dihasilkan gelombang laut. Untuk menetukan besarnya energy density (EWD) yang dihasilkan gelombang laut digunakan persamaan berikut ini:

$$E_{WD} = \frac{E_W}{\lambda w} = \frac{1}{2} \rho g a^2 (j/m^2)$$
....(2.10)

Energy density adalah besarnya kerapatan energi yang dihasilkan gelombang laut tiap 1 satuan luas permukaan. Untuk menentukan besarnya daya listrik (PW) yang dihasilkan gelombang laut digunakan persamaan berikut ini:

$$P_W = \frac{E_W}{T} \text{ (W)}.....(2.11)$$

Dimana wave power adalah besarnya daya listrik yang mampu dihasilkan oleh gelombang laut.

Untuk menetukan besarnya power density (PWD) yang dihasilkan gelombang laut digunakan persamaan 2.12 berikut ini :

$$P_{WD} = \frac{P_W}{L_W} = \frac{1}{2T} \rho g a^2 \text{ (W/m}^2)....(2.12)$$

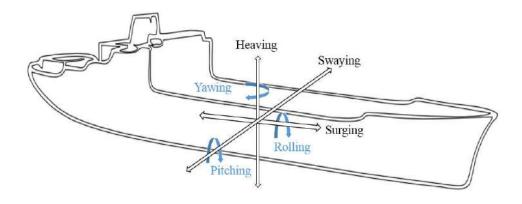
2.2. Teori Gerak Bangunan Apung

Bangunan apung memiliki enam mode gerakan bebas (*Six Degree of Freedom*) yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu 3 mode gerakan translasional dan 3 mode gerakan rotasional dalam 3 arah sumbu. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 berikut adalah penjelasan keenam mode gerakan tersebut: (Bhattacharyya, 1978).

- 1. Model Gerak Translasional
 - a. Yaw, gerakan transversal arah sumbu x
 - b. Sway, gerakan transversal arah sumbu y
 - c. Heave, gerakan transversal arah sumbu z
- 2. Model Gerak Rotasional
 - a. Roll, gerakan rotasional arah sumbu x
 - b. Pitch, gerakan rotasional arah sumbu y

c. Yaw, gerakan rotasional arah sumbu z

Menurut teori klasik gerakan kapal di atas gelombang reguler secara matematis dapat diformulasikan dengan mengacu pada hukum *Newton* ke II, yang selanjutnya *member*ikan korelasi antara gaya aksi oleh gelombang insiden dan gaya reaksi berupa respons gerakan kapal. Selanjutnya persamaan umum gerakan kapal dalam 6-derajat kebebasan dengan memakai konvensi sistem sumbu tangan kanan yang terdiri dari *yaw*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch* dan *yaw*. Definisi gerakan kapal dalam enam derajat kebebasan dapat dijelaskan dengan gambar 2.3. Tiga gerakan translasi pada arah sumbu x, y dan z, adalah masing-masing yaw (ζ 1), sway (ζ 2) dan *heave* (ζ 3), sedangkan untuk gerakan rotasi terhadap ketiga sumbu adalah *roll* (ζ 4), *pitch* (ζ 5) dan yaw (ζ 6) (Bhattacharyya, 1978).



Gambar 2.5. Ilustrasi gerakan six degree of freedom

Persamaan murni tiap gerakan six degree of freedom untuk bangunan apung secara bersamaan atau saling interaksi antara gerakan seperti pada penjelasan berikut:

2.2.1. Gerak *Surge* (x)

Persamaan murni gerak *surge* (x) pada bangunan apung adalah sebagai berikut (Djatmiko, 2012):

$$(M + M'_1) \ddot{x} + b_1 \dot{x} = F_1 \cos \omega_e t$$
....(2.13)

 $(M+M'_1)$ adalah koefisien dari komponen gaya inersia dan penjumlahan dari massa bangunan apung dan massa tambahnya untuk gerakan *surge*. Sebagai ilustrasi ketika kapal bergerak dan *displacementnya* berubah maka seolah-olah adanya penambahan massa benda akibat terdorongnya partikel fluida di sekitarnya dalam jumlah massa tertentu karena bergeraknya kapal itu sendiri. Hal ini yang disebut sebagai massa tambah (*added mass*) akibat gerakan bangunan apung tertentu. Nilai b1 adalah koefisien dari gaya redaman (*damping*) akibat gerakan *surge* yang didapatkan dari hasil *experiment* atau pendekatan berdasarkan geometri bangunan apung. Adapun ($F_1 \cos \omega_e t$) adalah komponen gaya penggetar atau eksitasi sedangkan F_1 adalah amplitudo dari gaya penggetar yang menyebabkan terbentuknya gerakan *surge* akibat gaya eksitasi berupa tekanan hidrostatis dan dinamis gelombang. Adanya ($\cos \omega_e t$) menunjukkan gaya penggetarnya bersifat *periodic* dan regular. Komponen gaya eksitasi didapatkan berdasarkan penggunaan metode *strip/panel*. Sistem gerakan *surge* tidak memiliki unsur kekakuan (*stiffness*) sehingga komponen gaya pengembalinya tidak ada.

2.2.2. Gerak *Sway* (y)

Persamaan murni gerak *sway* (y) pada bangunan apung adalah sebagai berikut (Djatmiko, 2012):

$$(M + M'_2) \ddot{y} + b_2 \dot{y} = F_2 \cos \omega_e t.$$
 (2.14)

 $M+M'_2$ adalah koefisien dari komponen gaya inersia dan penjumlahan dari massa bangunan apung dan massa tambahnya untuk gerakan *sway* sementara b_2 adalah koefisien dari gaya redaman (*damping*) akibat gerakan *sway* yang dihasilkan dari eksperimen atau pendekatan berdasarkan geometri bangunan apung. F_2 adalah amplitudo dari gaya penggetar yang menyebabkan terbentuknya gerakan *sway* akibat gaya eksitasi berupa tekanan hidrostatis dan dinamis gelombang. Komponen gaya eksitasi didapatkan berdasarkan penggunanaan metode strip/panel. Sistem gerakan *sway* tidak memiliki unsur kekakuan (*stiffness*) sehingga komponen gaya pengembalinya tidak ada.

2.2.3. Gerak *Heave* (z)

Persamaan murni gerak *heave* (z) pada bangunan apung adalah sebagai berikut (Djatmiko, 2012):

$$(M + M'_3) \ddot{z} + b_3 \dot{z} + \rho g (A_{wp}) z = F_3 \cos \omega_e t \dots (2.15)$$

 $M+M'_3$ adalah koefisien dari komponen gaya inersia dan penjumlahan dari massa bangunan apung dan massa tambahnya untuk gerakan heave sementara b_3 adalah koefisien dari gaya redaman (damping) akibat gerakan heave yang didapatkan dari eksperimen atau pendekatan berdasarkan geometri bangunan apung. Nilai ($\rho g A_{wp}$) adalah koefisien dari komponen gaya pengembali (stiffness) yang menyebabkan gerakan osilasi naik turun (heading) karena fungsinya untuk mengembalikan ke posisi setimabang (equilibrium). Hal ini juga disebabkan karena adanya gaya penggetar eksternal sehingga ada kecenderungan yang berasal dari penambahan gaya apung saat bangunan apung bergerak secara vertical dan membentuk perubahan pada saratnya. Nilai F_3 adalah amplitudo dari gaya penggetar yang menyebabkan terbentuknya gerakan heave akibat gaya eksitasi berupa tekanan hidrostatis dan dinamis gelombang. Komponen gaya eksitasi didapatkan berdasarkan penggunanaan metode strip/panel dan dapat dihitung berdasarkan kemampuan komputasi atau software berbasis finite element method yang tersedia.

2.2.4. Gerak Roll (φ)

Persamaan murni gerak $roll(\varphi)$ pada bangunan apung adalah sebagai berikut (Djatmiko, 2012):

$$\left(Mk_{xx}^{2}+M_{4}^{\prime}k_{xx}^{2}\right)\ddot{\varphi}+b_{4}\dot{\varphi}+Mg\overline{GM_{T}}\varphi=F_{4}\cos\omega_{e}t.....(2.16)$$

 $I_{xx}^2 + I'_{xx}^2$ atau $(Mk_{xx}^2 + M'_4k'_{xx}^2)$ adalah koefisien dari komponen gaya inersia dan penjumlahan dari momen inersia bangunan apung dan momen inersia massa tambah untuk gerakan *roll* sementara k_{xx} adalah jari-jari girasi gerakan *roll*

terhadapat sumbu x. b_4 adalah koefisien dari gaya redaman (damping) akibat gerakan roll yang didhasilkan dari eksperimen atau pendekatan berdasarkan geometri bangunan apung. Nilai ($Mg\overline{GM_T}$) adalah koefisien dari komponen gaya pengembali atau penunjukkan sifat kekakuannya karena adanya tambahan gaya apung akibat gerakan roll. Sifat kekakuannya dapat diilustrasikan sebagaimana pada pegas spiral yang jika diberi gaya ke kanan atau kiri maka terdapat perlawanan untuk kesetimbangan pegas tersebut. M adalah massa bangunan apung, g adalah percepatan gravitasi, dan GM_T adalah radius metasentrik transversal bangunan apung. Ruas kanan adalah komponen momen penggetar eksternal berupa gaya tekanan hidrostatis dan tekanan dinamis gelombag dengan F_4 adalah amplitudo momen penggetarnya untuk gerakan roll.

2.2.5. Gerak *Pitch* (θ)

Persamaan murni gerak pitch (θ) pada banguan apung adalah sebagai berikut (Djatmiko, 2012):

$$\left(Mk_{yy}^{2} + M_{5}^{\prime}k_{yy}^{2}\right)\ddot{\theta} + b_{5}\dot{\theta} + Mg\overline{GM_{L}}\theta = F_{5}\cos\omega_{e}t.....(2.17)$$

 $I_{yy}^2 + I'_{yy}^2$ atau $\left(Mk_{yy}^2 + M'_5k'_{yy}^2\right)$ adalah koefisien dari komponen gaya inersia dan penjumlahan dari momen inersia bangunan apung dan momen inersia massa tambah untuk gerakan pitch. Sementara k_{yy} adalah jari-jari girasi gerakan pitch terhadapat sumbu y. b_5 adalah koefisien dari gaya redaman (damping) akibat gerakan pitch yang dihasilkan dari eksperimen atau pendekatan berdasarkan geometri bangunan apung. Nilai $\left(Mg\overline{GM_L}\right)$ adalah koefisien dari komponen gaya pengembali atau penunjukkan sifat kekakuannya karena adanya tambahan gaya apung akibat gerakan pitch, dengan $\overline{GM_L}$ adalah radius metasentris longitudinal bangunan apung. Sifat kekakuannya dapat diilustrasikan sebagaimana pada pegas yang jika diberi gaya ke depan atau belakang maka terdapat perlawanan untuk kesetimbangan pegas tersebut. Ruas kanan adalah komponen momen penggetar eksternal berupa gaya tekanan hidrostatis dan tekanan dinamis gelombag dengan F_5 adalah amplitudo momen penggetarnya untuk gerakan pitch.

2.2.6. Gerak *Yaw* (ψ)

Persamaan murni gerak yaw (ψ) pada banguan apung adalah sebagai berikut (Djatmiko, 2012):

$$(Mk_{zz}^2 + M'_6k'_{zz}^2)\ddot{\psi} + b_5\dot{\psi} = F_6\cos\omega_e t...$$
 (2.18)

 $I_{zz}^2 + I'_{zz}^2$ atau $(Mk_{zz}^2 + M'_6k'_{zz}^2)$ adalah koefisien dari komponen gaya inersia dan penjumlahan dari momen inersia bangunan apung dan momen inersia massa tambah untuk gerakan yaw sementara k_{zz} adalah jari-jari girasi gerakan pitch terhadapat sumbu z. b_6 adalah koefisien dari gaya redaman (damping) akibat gerakan yaw yang dihasilkan dari eksperimen atau pendekatan berdasarkan geometri bangunan apung. Ruas kanan adalah komponen momen penggetar eksternal berupa gaya tekanan hidrostatis dan tekanan dinamis gelombag dengan F_6 adalah amplitudo momen penggetar untuk gerakan yaw. Sistem gerakan yaw tidak memiliki unsur kekakuan (stiddness) sehingga komponen gaya pengembalinya tidak ada.

2.3. Pemecah Gelombang

2.3.1. Pengertian Pemecah Gelombang

Pemecah gelombang atau dikenal juga sebagai pemecah gelombang atau bahasa Inggris breakwater adalah prasarana yang dibangun untuk memecahkan gelombang dengan menyerap sebagian energi gelombang. Pemecah gelombang harus didesain sedemikian sehingga arus laut tidak menyebabkan pendangkalan karena pasir yang ikut dalam arus mengendap di kolam pelabuhan (Mandi, 2010).

Tinggi gelombang (H) mempunyai pengaruh yang besar terhadap kapal-kapal yang sedang bongkar muat. Hal ini disebabkan karena gelombang tersebut akan mengganggu kapal-kapal untuk melakukan bongkar muat, maka adalah tugas perencana untuk memperkecil tinggi gelombang di perairan pelabuhan dengan

membuat pemecah gelombang (Breakwater). Pelabuhan yang dilengkapi dengan bangunan pemecah gelombang disebut dengan pelabuhan buatan.

Jadi, pemecah gelombang dibangun dengan maksud untuk melindungi wilayah perairan pelabuhan agar kapal dapat berlabuh dan melakukan bongkar muat barang dan penumpang dengan aman dan nyaman. Disamping itu juga digunakan untuk mengendalikan abrasi yang menggerus pantai. Disamping fungsi utama tersebut kadang-kadang digunakan untuk maksud ganda yaitu disamping sebagai pemecah gelombang untuk melindungi perairan pelabuhan juga dijadikan sebagai dermaga tempat kapal bertambat.

Dengan dibangunnya pemecah gelombang, maka arah gelombang laut asal (inciden wave) akan terganggu oleh adanya struktur baru tersebut, akan terjadi pembelokan arah maupun perubahan karakteristik gelombang yaitu tinggi, panjang dan waktu gelombang. Perlindungan oleh pemecah gelombang terjadi karena berkurangnya energi gelombang yang sampai di sisi dalam perairan pelabuhan yang dilindungi di belakang bangunan yang biasa disebut Leeward side. Gelombang yang menjalar mengenai suatu bangunan peredam/lapisan pelindung yang biasa disebut armour layer, sebagian energinya akan dipantulkan (refleksi), sebagian diteruskan (transmisi) dan sebagian dihancurkan (dissipasi) melalui pecahnya gelombang, yang tergantung pada kekentalan fluida, gesekan dasar dan lain-lain. Pembagian besarnya energi gelombang yang dipantulkan, dihancurkan dan diteruskan tergantung karakteristik gelombang datang (periode, tinggi, kedalaman air), tipe bangunan peredam gelombang (permukaan halus atau kasar, lulus air atau tidak lulus air) dan geometrik bangunan peredam (kemiringan, elevasi, dan puncak bangunan).

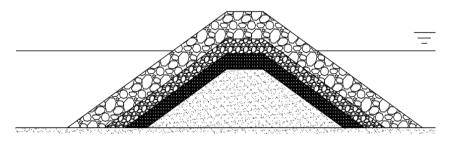
Berkurangnya energi gelombang di daerah terlindung (lee side) akan mengurangi pengiriman sedimen di daerah tersebut. Pengiriman sedimen sepanjang pantai yang berasal dari daerah di sekitarnya akan diendapkan dibelakang bangunan. Pantai dibelakang struktur akan stabil dengan terbentuknya endapan sedimen tersebut. Pemecah gelombang harus didesain sedemikian agar arus laut tidak menyebabkan pedangkalan karena pasir yang ikut dalam arus mengendap di

kolam pelabuhan. Bila hal ini terjadi maka pelabuhan perlu dikeruk secara reguler dan biaya pengerukan sangat menentukan layak atau tidaknya pelabuhan dibangun.

2.3.2. Tipe Pemecah Gelombang

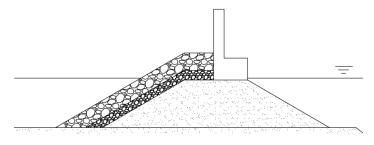
Terdapat banyak tipe pemecah gelombang yang sudah dibangun diseluruh dunia. Batu alam atau buatan dengan bahan beton atau kombinasi antara keduanya, baja, kayu dan pemecah gelombang dengan menggunakan tekanan air untuk memecah kekuatan gelombang dari laut lepas. Berikut ditunjukkan beberapa tipikal pemecah gelombang ditinjau dari bentuk konstruksinya yaitu:

- 1. Pemecah gelombang sisi miring (*sloping type/mound type* S)
 - a. *Multi layered rubble mound breakwater*, dikembangkan untuk meningkatkan stabilitas dan untuk mengurangi transmisi gelombang serta mengurangi biaya bahan lihat Gambar 2.6.



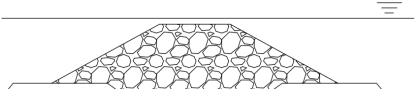
Gambar 2.6. Multi-layered rubble mound breakwater (Mandi, 2010)

b. *Armour layer*. untuk meningkatkan stabilitas dengan menggunakan blok beton, sementara limpasan gelombang dapat dikurangi dengan menggunakan super-struktur (dengan Superstructure Type S) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Armour layer stability (Mandi, 2010)

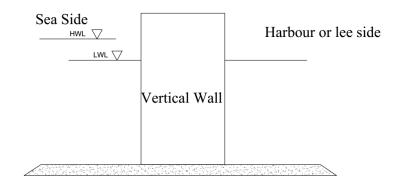
c. Reef breakwater (or) Submerged, digunakan untuk merubah karakteristik gelombang yang baru terbentuk. Material yang digunakan biasanya hanya yang tersedia di sekitar lokasi. Contohnya yang digunakan untuk melindungi pantai Sanur - Bali dari gempuran gelombang yang dibuat tahun 1960 lihat Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Submerged breakwater (Mandi, 2010)

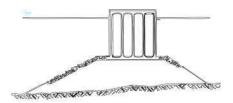
2. Pemecah Gelombang tegak (Vertical type / upright Type V)

Pemecah vertical mempunyai dinding vertikal dengan tinggi yang berbeda-beda. Tujuannya adalah untuk refleksi gelombang. Disisi dalam dari pemecah gelombang dapat digunakan untuk bersandarnya kapal-kapal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.



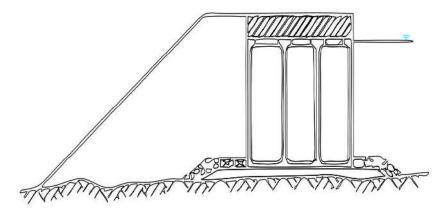
Gambar 2.9. Basic vertical breakwater (Mandi, 2010)

- 3. Campuran (*Mixed type/Composite breakwaters*)
 - a. *Vertical composite breakwaters* yaitu pondasinya dari rubble mound dan diatasnya Caison dengan tinggi yang berbeda-beda. Biasanya digunakan pada lokasi dimana perbedaan pasang surutnya sangat tinggi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Tipikal Vertical Composite Breakwaters (Mandi, 2010)

b. Horizontal composite breakwaters yaitu dinding dari vertical composite breakwater sering mengalami kerusakan untuk menghindari hal tersebut biasanya diperkuat dengan menempatkan batu-batu besar atau blok-blok beton didepannya sehingga juga dapat menghancurkan energi gelombang dan mengurangi gaya gelombang pada dinding. Konstruksi ini disebut horizontal composite breakwaters seperti diperlihatkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Tipikal potongan melintang Horizontal *composite* breakwaters (Mandi, 2010)

4. Pemecah gelombang khusus

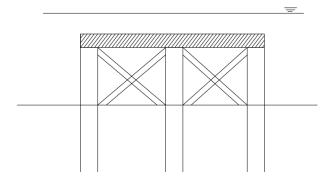
Beberapa dari jenis pemecah gelombang khusus akhirnya akan menjadi pemecah gelombang standar. Seperti misalnya pemecah gelombang caisson berlobang sudah popular sehing sekarang sudah dianggap standar. Umumnya jenis pemecah gelombang khusus adalah jenis bukan gaya berat (non-gravity) seperti antara lain:

a. Curtain wall breakwater, biasanya digunakan bukan sebagai pemecah gelombang utama tetapi sebagai secondary untuk proteksi pelabuhan yang diperuntukkan kapal-kapal kecil seperti diperlihatkan pada Gambar 2.12.



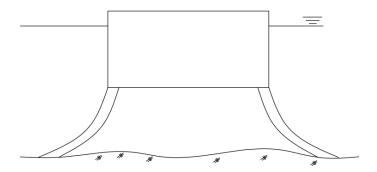
Gambar 2.12. Curtain wall breakwater (Mandi, 2010)

b. Horizontal plate breakwater, jenis pemecah gelombang ini dapat juga merefleksi gelombang dan kadang-kadang diperkuat dengan pelindung besi (steel jacket) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Horizontal Plate Breakwater (Mandi, 2010)

c. Pemecah Gelombang Apung, jenis ini sangat berguna untuk perairan dalam, tetapi pengaruhnya sangat kecil hanya digunakan untuk gelombang relatif kecil untuk saat-saat tertentu dengan durasi yang singkat lihat Gambar 2.14.



Gambar 2.14. Floating Breakwater (Mandi, 2010)

2.4. Konverter Energi Gelombang

Gelombang laut adalah sumber energi yang besar, sebagian besar belum dimanfaatkan, dan potensi untuk mengekstraksi energi dari gelombang sangat besar. Penelitian di bidang ini didorong oleh kebutuhan untuk memenuhi target energi terbarukan, tetapi relatif belum matang dibandingkan dengan teknologi energi terbarukan lainnya. (Drew, 2009)

2.4.1. Kelebihan Konverter Energi Gelombang

Menggunakan gelombang sebagai sumber energi terbarukan menawarkan keuntungan signifikan dibandingkan metode pembangkit energi lainnya yaitu sebagai berikut (Drew, 2009):

- 1. Gelombang laut menawarkan kepadatan energi tertinggi di antara sumber energi terbarukan.
- 2. Dampak negatif lingkungan yang terbatas. dengan merinci dampak potensial dan menyajikan perkiraan emisi siklus hidup dari perangkat

- dekat pantai yang khas. Secara umum, perangkat lepas pantai memiliki dampak potensial terendah.
- Variabilitas musiman alami dari energi gelombang, yang mengikuti permintaan listrik di daerah beriklim sedang.
- 4. Gelombang dapat melakukan perjalanan jarak jauh dengan sedikit kehilangan energi. Badai di sisi barat Samudra Atlantik akan melakukan perjalanan ke pantai barat Eropa, didukung oleh angin barat yang berlaku.
- Dilaporkan bahwa perangkat tenaga gelombang dapat menghasilkan daya hingga 90 persen dari waktu yang digunakan, dibandingkan dengan ~20– 30 persen untuk perangkat tenaga angin dan matahari.

2.4.2. Tantangan Konverter Energi Gelombang

Untuk merealisasikan manfaat yang tercantum di atas, ada sejumlah tantangan teknis yang perlu diatasi untuk meningkatkan kinerja dan daya saing komersial perangkat pembangkit gelombang di pasar energi global.

Tantangan yang signifikan adalah konversi yang lambat (~gerakan osilasi0,1 Hz), acak, dan gaya tinggi. Hal ini disebabkan karena gelombang yang bervariasi dalam tinggi dan periode, masing-masing tingkat daya yang bervariasi. Walaupun tingkat daya rata-rata dapat diprediksi sebelumnya, input variabel ini harus dikonversi menjadi output listrik yang lancar dan biasanya mengharuskan beberapa jenis sistem penyimpanan energi, atau cara kompensasi lain seperti penggunaan berbagai perangkat.

Selain itu, di lokasi lepas pantai, arah gelombang sangat bervariasi, dan oleh karena itu, perangkat gelombang harus menyelaraskan diri sendiri pada tambatan yang sesuai, atau simetris, untuk menangkap energi gelombang.

Tantangan menangkap gerakan tidak teratur ini secara efisien juga berdampak pada desain perangkat. Untuk beroperasi secara efisien, perangkat dan sistem terkait harus diberi peringkat untuk tingkat daya gelombang yang paling umum. Namun, perangkat ini juga harus tahan terhadap kondisi gelombang ekstrem yang

terjadi sangat jarang. Ada juga tantangan desain untuk mengurangi lingkungan yang sangat korosif dari perangkat yang beroperasi di permukaan air.

2.4.3. Jenis Konverter Energi Gelombang

Meskipun memiliki variasi yang banyak dalam desain dan konsep, WEC (Wave Energy Converter)dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama.

1. Attenuator

Attenuator terletak sejajar dengan arah gelombang yang dominan dan 'mengendarai' gelombang. Contoh dari attenuator WEC adalah Pelamis, yang dikembangkan oleh *Ocean Power Delivery Ltd* (sekarang dikenal sebagai *Pelamis Wave Power*). Lihat Gambar 2.15.



Gambar 2.15. Attenuator device: Pelamis wave farm (Drew, 2009)

2. Point absorber

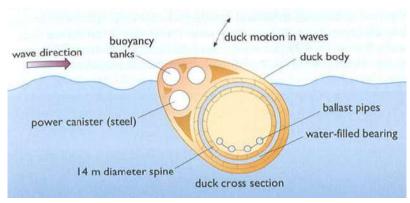
Point absorber adalah perangkat yang memiliki dimensi kecil relatif terhadap panjang gelombang kejadian. Mereka dapat berupa struktur mengambang yang naik turun di permukaan air atau tenggelam di bawah permukaan dengan mengandalkan perbedaan tekanan. Akibat ukurannya yang kecil, arah gelombang tidak penting untuk perangkat ini. Ada banyak contoh peredam titik, salah satunya adalah Powerbuoy dari Ocean Power Technology . Lihat Gambar 2.16.



Gambar 2.16. Point absorber device: OPT Powerbuoy (Drew, 2009)

3. Terminator

Perangkat *Terminator* memiliki sumbu utama yang sejajar dengan bagian depan gelombang (tegak lurus terhadap arah gelombang dominan) dan secara fisik memotong gelombang. Salah satu contoh WEC tipe terminator adalah *Salter's Duck*, yang dikembangkan di *Unviersity of Edinburgh*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17. Terminator device: Salter's Duck (Thorpe, 1999)

2.5. Arduino Uno

Arduino Uno merupakan papan mikrokontroler yang berbasis ATmega328. Dimana Arduino uno ini memiliki 14 digital pin input/output, dimana 6 pin merupakan output PWM, 6 pin input analog, 16 MHz resonator keramik, koneksi USB, jack catu daya eksternal, header ICSP, dan tombol reset. Cukup dengan menguhubungkan Kabel USB dengan Komputer atau Adaptor catu daya 12v Arduino uno ini sudah bisa bekerja, untuk pemrograman ArduinoUno dapat di Program menggunakan software Arduino IDE. Pada penelitian ini, Arduino uno digunakan sebagai mikrokontroler untuk menjalankan program dan mengatur jalannya sensor MPU-6050 dan sensor HC-SR04. Pada Gambar 2.18 dapat dilihat sebuah papan arduino UNO.



Gambar 2.18. Arduino Uno (Santoso M.F., 2018)

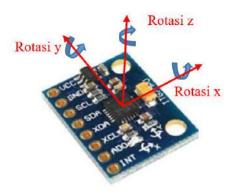
2.6. Sensor MPU-6050

Sensor MPU-6050 merupakan sensor mampu membaca kemiringan sudut berdasarkan data dari sensor *accelerometer* dan sensor *gyroscope*. Sensor ini juga dilengkapi oleh sensor suhu yang mengukur suhu daerah sekitar. Sensor MPU-6050 ini membutuhkan tegangan kerja 3,3 V. tetapi pada modul yang digunakan sudah dilengkapi dengan regulator tegangan 3,3 V, sehingga bisa langsung dihubungkan

dengan tegangan 5V. Sensor ini menggunakan jalur keluaran berupa jalur data I2C yaitu SCA dan SCL yang dalam Arduino dapat menggunakan kaki A4 dan A5.

Acceleometer adalah suatu sensor yang memiliki kemampuan untuk mendeteksi percepatan, baik percepatan suatu benda maupun percepatan gravitasi bumi. Accelerometer juga dapat digunakan untuk mengukur getaran, baik getaran yang terjadi di dalam bumi maupun getaran pada mesin dan bangunan. Percepatan sendiri dapat diukur dalam satuan SI, seperti meter per detik kuadrat (m/s2), atau untuk percepatan gravitasi bumi, diukur dalam satuan g-force (g) dimana 1g = 9,8 m/s2. Selain mengukur getaran, accelerometer juga dapat diaplikasikan untuk mendeteksi kemiringan suatu benda, contohnya seperti yang digunakan pada smartphone dan tablet masa kini.

Gyroscope adalah alat berupa cakram yang sumbunya berputar antara dua penopang dan tetap dalam posisinya apabila tidak ada pengaruh kekuatan dari luar. Sedangkan dalam dunia instrumentasi, gyroscope digunakan untuk mengukur orientasi berdasarkan prinsip momentum sudut. Sensor ini akan mengukur kecepatan sudut dari suatu rotasi yang satuannya adalah radian per detik (rad/s). Gyroscope yang digunakan dalam penelitian ini adalah gyroscope elektrik yang ada dalam sensor MPU-6050. Luaran dari gyroscope ini adalah berupa data kecepatan sudut. Kecepatan sudut sendiri merupakan besaran vektor yang menyatakan frekuensi sudut suatu benda dan sumbu putarnya, satuan SI untuk kecepatan sudut adalah radian per detik (rad/s).



Gambar 2.19. Sensor MPU-6050 (Santoso M.F., 2018)

2.7. Sensor HC-SR04

Sensor ini merupakan sensor ultrasonik yang berfungsi sebagai pengirim, penerima, dan pengontrol gelombang ultrasonik. Alat ini bisa digunakan untuk mengukur jarak benda dari 2cm - 4m dengan akurasi 3mm. Alat ini memiliki 4 pin, pin Vcc, Gnd, Trigger, dan Echo. Pin Vcc untuk listrik positif dan Gnd untuk ground-nya. Pin Trigger untuk trigger keluarnya sinyal dari sensor dan pin Echo untuk menangkap sinyal pantul dari benda. Cara menggunakan alat ini yaitu: ketika kita memberikan tegangan positif pada pin Trigger selama 10uS, maka sensor akan mengirimkan 8 step sinyal ultrasonik dengan frekuensi 40kHz. Selanjutnya, sinyal akan diterima pada pin Echo.



Gambar 2.20. Sensor HC-SR04

Untuk mengukur jarak benda yang memantulkan sinyal tersebut, maka selisih waktu ketika mengirim dan menerima sinyal digunakan untuk menentukan jarak benda tersebut. Setelah itu, yang diperlukan adalah mengkonversi nilai timer dari yang satuaanya dalam detik, menjadi ke dalam satuan jarak (inch/cm) dengan menggunakan rumus berikut (Arasada,2017):

- a. Jarak (inch) = waktu hasil pengukuran (us)/148
- b. Jarak (cm) = waktu hasil pengukuran (us)/58

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di *Laboratory of Design and Optimization of Floating Offshore Structure*, Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Kampus Gowa dengan waktu penelitian selama 6 (enam) bulan yaitu dari bulan September 2019 sampai Februari 2020

3.2. Penyajian Data

3.2.1 Data Prototipe Pelat berotasi

- Rangka penopang =
 - \circ Bahan = pipa $\frac{3}{4}$ inch
 - \circ Panjang = 0.6 m
 - \circ Lebar = 0.6 m
 - \circ Tinggi = 1,1 m
- Pelat peredam =
 - o Bahan = akrilik bening
 - \circ Panjang = 0,46 m
 - \circ Lebar = 0,23 m
 - \circ Tebal = 0,04 m
 - \circ Berat = 390 gram
- Tabung apung =
 - o Bahan = tabung plastik
 - \circ Diameter = 0,17 m
 - \circ Tinggi = 0,2 m
 - \circ Jumlah = 2 buah
 - o Berat satuan = 320 gram

3.2.2. Spesifikasi Mikrokontroller dan Sensor

- Spesifikasi Arduino UNO
 - Mikrokontroler = ATmega328
 - Operasi tegangan = 5Volt
 - o Input tegangan = disarankan 7-11Volt
 - o Input tegangan batas = 6-20Volt
 - o Pin I/O digital = 14 (6 bisa untuk PWM)
 - \circ Pin Analog = 6
 - Arus DC tiap pin I/O = 50 mA
 - o Arus DC ketika 3.3V = 50mA
 - Memori flash = 32 KB (ATmega328) dan 0,5 KB digunakan oleh bootloader
 - \circ SRAM = 2 KB (ATmega328)
 - o EEPROM = 1 KB (ATmega328)
 - Kecepatan clock = 16 MHz
 - \circ Panjang = 68,6 mm
 - \circ Lebar = 53,4 mm
 - \circ Berat = 25 g

• Sensor MPU-6050

- Input tegangan = DC 3,3V atau DC 5V
- Communication modes = standard IIC communications protocol
- Chip built-in = 16bit AD converter, 16-bit data output
- o Gyroscope range = $250\ 500\ 1000\ 2000\ /\ s$
- Acceleration range = 2 4 8 16g
- \circ Panjang = 2 cm
- \circ Lebar = 1,5 cm
- o Berat: 5 gr

• Sensor HC-SR04

- \circ Jarak deteksi = 2cm 300cm
- \circ Tingkat kepresisisan pengukuran jarak = ± 3 mm
- \circ Input tegangan = 5 V
- Sudut sensor = < 15 derajat
- Konsumsi arus berkisar = 2mA
- \circ Panjang = 4,5cm
- \circ Lebar = 2 cm

3.3. Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini berasal dari hasil pembacaan sensor saat simulasi pelat berotasi dengan menggunakan *flume tank*. Penelitian ini menggunakan variasi dari tinggi gelombang dan periode gelombang. Pada proses simulasi, akan dibagi menjadi dua tahapan yaitu:

1. Tahap pengujian pengaruh gelombang pada pelat

Pada tahap ini, akan dilakukaan pengukuran tinggi gelombang redaman dan besar kemiringan pelat yang dihasilkan dari variasi gelombang yang berbeda-beda.

2. Tahap pengujian pengaruh berat pelat

Pada tahap ini, akan dilakukaan pengukuran tinggi gelombang redaman dan besar kemiringan pelat yang dihasilkan dari penambahan berat pelat yang berbeda-beda.

Setelah melakukan tahap simulasi, maka hasil pengukuran akan digabungkan menggunakan software excel. Penggabungan ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara variasi gelombang dan berat pelat terhadap gelombang redaman dan kemiringan pelat. Berdasarkan hasil analisis data ini, maka dapat diketahui ukuran dan posisi pelat yang efisien untuk digunakan sebagai peredam gelombang maupun sebagai turbin gelombang. Pada tabel 3.1 menunjukkan variasi simulasi dalam penelitian ini.

Tabel 3.1. Variasi simulasi percobaan pada Flume tank.

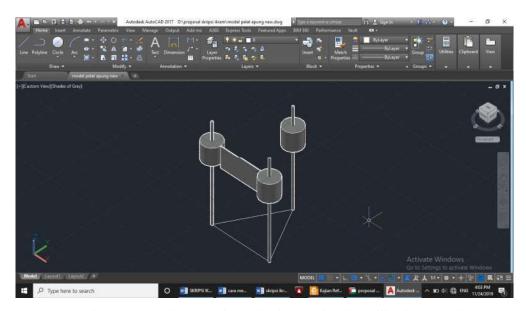
Data Prototipe			Data gelombang skala 1: 25		
d		Berat	Т	F	A
	, ,				(m)
` ′	` /	` •		` '	` '
					0,026
0,7	2,5	0,41	0,8	1,25	0,032
0,7	2,5	0,41	0,8	1,25	0,038
	-	0,41	1,2	0,83333	0,046
0,7	2,5	0,41	1,2	0,83333	0,052
0,7	2,5	0,41	1,2	0,83333	0,058
0,7	2,5	0,41	1,6	0,625	0,066
0,7	2,5	0,41	1,6	0,625	0,072
0,7	2,5	0,41	1,6	0,625	0,078
0,7	2,5	0,41	2	0,5	0,02
0,7	2,5	0,41	2	0,5	0,04
0,7		0,41	2	0,5	0,06
0,75	3	0,7	0,8	1,25	0,046
	3				0,052
					0,058
	3				0,026
	3				0,032
					0,038
	3		1		0,026
	3			· ·	0,032
				· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	0,038
					0,02
					0,04
					0,06
	3,5		0.8		0,066
					0,072
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·				0,078
				· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	0,066
					0,072
			1		0,078
					0,046
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			-	0,052
				-	0,058
-	·				0,02
				·	0,04
	·				0,06
	0,7 0,7 0,7 0,7 0,7 0,7 0,7 0,7	d (m) Kedalaman pelat yang tercelup (cm) 0,7 2,5 0,7 2,5 0,7 2,5 0,7 2,5 0,7 2,5 0,7 2,5 0,7 2,5 0,7 2,5 0,7 2,5 0,7 2,5 0,7 2,5 0,7 2,5 0,7 2,5 0,7 2,5 0,7 2,5 0,7 2,5 0,7 2,5 0,7 3 0,75 3 0,8 3,5	d (m) Kedalaman pelat yang tercelup (cm) Berat Pelat (kg) 0,7 2,5 0,41 0,7 2,5 0,41 0,7 2,5 0,41 0,7 2,5 0,41 0,7 2,5 0,41 0,7 2,5 0,41 0,7 2,5 0,41 0,7 2,5 0,41 0,7 2,5 0,41 0,7 2,5 0,41 0,7 2,5 0,41 0,7 2,5 0,41 0,7 2,5 0,41 0,7 2,5 0,41 0,7 2,5 0,41 0,7 2,5 0,41 0,7 2,5 0,41 0,7 2,5 0,41 0,7 3 0,7 0,75 3 0,7 0,75 3 0,7 0,75 3 0,7 0,75 3 0,7 <	d (m) Kedalaman pelat yang tercelup (cm) Berat (kg) T (s) 0,7 2,5 0,41 0,8 0,7 2,5 0,41 0,8 0,7 2,5 0,41 0,8 0,7 2,5 0,41 1,2 0,7 2,5 0,41 1,2 0,7 2,5 0,41 1,2 0,7 2,5 0,41 1,2 0,7 2,5 0,41 1,2 0,7 2,5 0,41 1,6 0,7 2,5 0,41 1,6 0,7 2,5 0,41 1,6 0,7 2,5 0,41 1,6 0,7 2,5 0,41 2 0,7 2,5 0,41 2 0,7 2,5 0,41 2 0,7 2,5 0,41 2 0,75 3 0,7 0,8 0,75 3 0,7 1,2 0,75	d (m) Kedalaman pelat yang tercelup (cm) Berat (kg) T (s) F (Hz) 0,7 2,5 0,41 0,8 1,25 0,7 2,5 0,41 0,8 1,25 0,7 2,5 0,41 0,8 1,25 0,7 2,5 0,41 1,2 0,83333 0,7 2,5 0,41 1,2 0,83333 0,7 2,5 0,41 1,2 0,83333 0,7 2,5 0,41 1,2 0,83333 0,7 2,5 0,41 1,2 0,83333 0,7 2,5 0,41 1,6 0,625 0,7 2,5 0,41 1,6 0,625 0,7 2,5 0,41 1,6 0,625 0,7 2,5 0,41 1,6 0,625 0,7 2,5 0,41 2 0,5 0,7 2,5 0,41 2 0,5 0,7 2,5 0,41 2

3.4. Diagram Alir

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Tahap awal

Pada tahap ini, dilakukan proses desain prototipe pelat berotasi dengan menggunakan *software* Autocad, serta penyiapan alat dan bahan untuk selanjutnya akan dirakit.



Gambar 3.1. Desain prototipe pelat berotasi pada aplikasi Autocad.

2. Pembuatan prototype pelat berotasi

Pada tahap ini, alat dan bahan yang telah disiapkan akan dirakit dan dilakukan penggabungan rangka, pelat dan alat apung.



Gambar 3.2. Prototype pelat berotasi yang telah dirakit

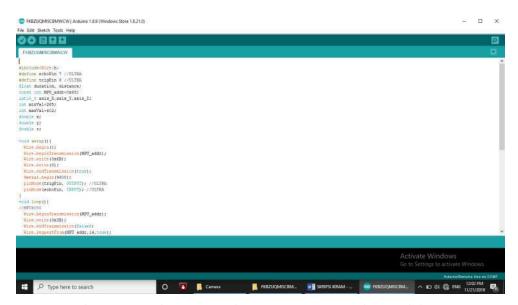
3. Pemasangan sensor ultrasonic dan sensor *gyroscope*Setelah pembacaan sensor telah berjalan baik, maka selanjutnya dipasang pada prototype pelat berotasi yang telah dibuat.



Gambar 3.3. Penggabungan sensor pada prototipe pelat berotasi.

4. Pembuatan *scatch* program menggunakan *software* Arduino IDE

Pada tahap ini dilakukan pembuatan program penggabungan antara
sensor ultrasonic dan MPU-6050 menggunakan Arduino IDE untuk
selanjutnya disambungkan pada Arduino Uno.



Gambar 3.4. Pembuatan scatch program menggunakan Arduino IDE

5. Simulasi pengaruh gelombang menggunakan flume tank

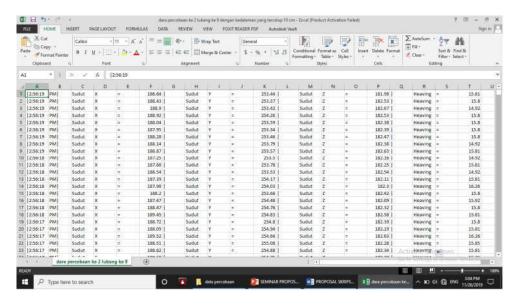
Setelah pemasangan alat dan sensor telah selesai, maka selanjutnya akan dilakukan simulasi percobaan pada flume tank berdasarkan variasi simulasi yang telah ditetapkan sebelumnya.



Gambar 3.5. Simulasi prototipe pelat berotasi pada *flume tank*.

6. Pengumpulan dan pengolahan data menggunakan software Excel

Setelah melakukan tahap simulasi, maka hasil pengukuran akan digabungkan menggunakan *software* excel. Penggabungan ini bertujuan untuk menentukan ukuran dan posisi pelat berotasi yang dianggap efisien untuk digunakan sebagai peredan maupun turbin gelombang



Gambar 3.6. Penginputan data pada Excel

7. Kesimpulan

Pada tahap ini akan diberikan kesimpulan mengenai hasil analisis data yang telah dilakukan sebelumnya.

Berikut ini adalah diagram alir penelitian tugas akhir dengan judul "Unjuk Kerja Peredam Gelombang Tipe Pelat Berotasi".

