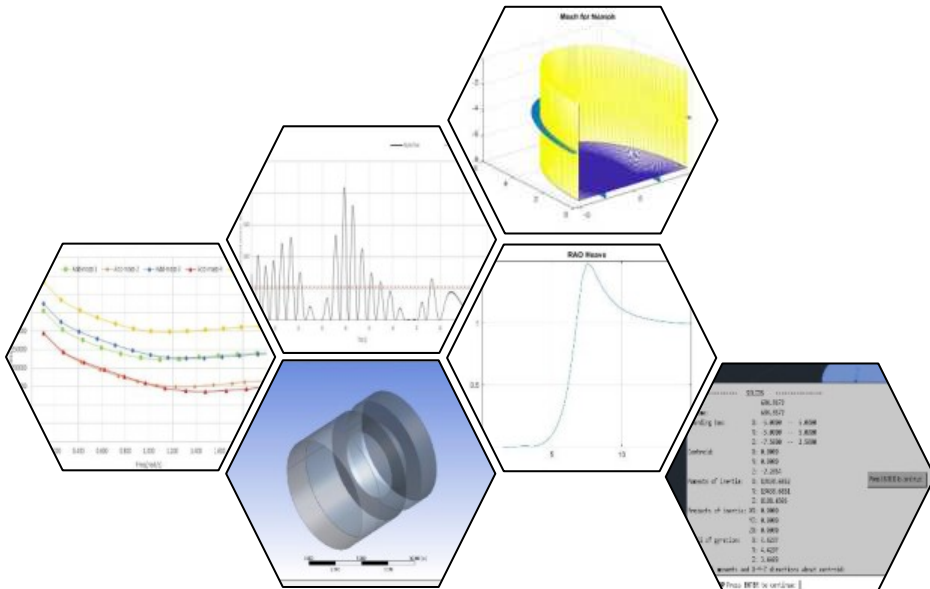


DESAIN *FLOATING BUOY* YANG OPTIMAL UNTUK PEMBANGKIT ENERGI GELOMBANG LAUT



HIDAYATULLAH
D081 20 1049



Optimized using
trial version
www.balesio.com

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024

**DESAIN *FLOATING BUOY* YANG OPTIMAL UNTUK PEMBANGKIT
ENERGI GELOMBANG LAUT**

**HIDAYATULLAH
D081 20 1049**



**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

**DESAIN *FLOATING BUOY* YANG OPTIMAL UNTUK PEMBANGKIT
ENERGI GELOMBANG LAUT**

**HIDAYATULLAH
D081 20 1049**

Skripsi
Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana
Teknik Kelautan
pada
Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Gowa



**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

**DESAIN FLOATING BUOY YANG OPTIMAL UNTUK PEMBANGKIT
ENERGI GELOMBANG LAUT**

**HIDAYATULLAH
D081 20 1049**

Skripsi,

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sarjana Pada Tanggal 20 Juni 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA**

Mengesahkan:
Pembimbing Utama

Mengetahui:
Ketua Departemen,




ST., MT., Ph.D
02 1 001


Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.
NIP. 19750605 200212 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul "**Desain Floating Buoy yang optimal untuk pembangkit energi gelombang laut**". Adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Prof. Daeng Paroka, ST., MT., Ph.D.). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 17 Mei 2024



Optimized using
trial version
www.balesio.com

UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamu alaikum warahmatullahii waa barakatuh

Puji syukur kita panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi yang berjudul "*Desain Floating Buoy Yang Optimal Untuk Pembangkit Energi Gelombang Laut*" ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Hasanuddin. Pada kesempatan ini, saya ingin menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua Orang Tua, **Bapak Nurdin** dan **Ibu Rosdianah** yang telah berjuang dan terus mendoakan sedari awal serta melakukan apapun untuk mengusahakan anaknya bisa berada di titik lebih dari dirinya. Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan banyak terima kasih untuk semua pengorbanan tulus yang tentunya tidak akan pernah bisa terbalaskan. Penulis percaya bahwa setiap langkah yang dimudahkan oleh-Nya adalah hasil pengijabahan doa kedua orang tua penulis.
2. Dosen Pembimbing, **Prof. Daeng Paroka, ST., MT., Ph.D.** Terima kasih atas segala keikhlasan, kesabaran dan ketulusannya serta dukungan tak terhitung dalam mengarahkan, memberikan bimbingan, bantuan dan motivasi serta masukan-masukan kepada penulis dimulai dari awal perkuliahan dan ditahap penelitian, penulisan skripsi sampai dengan hari ini.
3. **Bapak Fuad Mahfud Assidiq, ST., MT.** dan **Dr.Eng. Firman Husain, ST., MT.**, selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu dan memberikan kritik serta saran yang sangat membantu penulis dalam proses penelitian maupun penyusunan skripsi ini.
4. **Bapak Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.** selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan yang telah mengesahkan skripsi ini.
5. **Bapak Dr. Ir. Ashury Djamaluddin, ST., MT.** selaku penasehat akademik (PA) selama menjadi mahasiswa Teknik Kelautan sehingga saya dapat menyelesaikan studi.
6. **Dosen - Dosen Teknik Kelautan** yang telah memberikan ilmu serta pengalamannya selama dalam proses perkuliahan.
7. **Tenaga Kependidikan Departemen Teknik Kelautan**, yang telah membantu segala aktivitas administrasi baik selama perkuliahan serta dalam penyelesaian skripsi ini.



ddin Ali, S.T., M.Eng. selaku Manager Lab. Komputasi, aporan BRIN LHI yang sekaligus menjadi pembimbing penulis anakan Kerja Praktek Industri di Laboratorium Hidrodinamika
 v. Dengan segala kerendahan hati, saya mengucapkan kasih karena telah bersedia meluangkan waktu dan

kesempatannya dalam membimbing penulis selama melaksanakan Kerja Praktek Industri dan menjadi dasar penulis meneliti tugas akhir ini.

9. Bapak **Djamaluddin Tahir** dan ibu **Saenab Umar**, yang sudah mengambil peran menjadi pendamping dan orang tua selama penulis menjalankan masa studi.
10. Orang terdekat penulis **Siti Fatimah Marhanisa**, terima kasih untuk selalu meluangkan waktu untuk menemani penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Teman - teman Naval20 dan khususnya mahasiswa Teknik Kelautan 2020 yang kebersamaan serta waktu yang telah kita lalui bersama dalam suka dan duka. Tak lupa pula penulis sampaikan banyak terimakasih kepada kanda-kanda Senior dan dinda-dinda Junior atas motivasi dan dukungannya.
12. Teman-teman **Labo DOFLER** yang selalu memberikan semangat kepada saya, terkhusus kepada saudara **M. Fajar Fitra Ramadan** yang sudah menjadi teman terdekat penulis dalam menyelesaikan tugas akhir maupun tugas lainnya.
13. Yang terakhir saya mengucapkan terima kasih banyak kepada **diri saya sendiri** yang sudah berjuang sampai sejauh ini, terima kasih untuk tubuh yang selalu kuat menahan beban yang sangat berat ini. Kepada diri sendiri terima kasih sekali lagi telah berjuang karna hanya dirimu sendiri yang tau jatuh bangunnya dan susahny otak berpikir bersatu melawan Overthinking setiap malam. Masalah yang silih berganti mengajarkan saya bahwa nangis dalam penyusunan skripsi itu wajib ada dan itulah bumbu yang sebenarnya yang harus dicoba.
14. Serta semua pihak yang turut serta dalam penyelesaian pendidikan, penelitian, dan penyusunan skripsi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Penulis menyampaikan ucapan Terima Kasih yang sebesar-besarnya untuk seluruh bantuan yang diberikan. Dengan segala kerendahan hati penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatu

Hidayatullah



Optimized using
trial version
www.balesio.com

ABSTRAK

Hidayatullah. **Desain *Floating Buoy* Yang Optimal Sebagai Pembangkit Energi Gelombang Laut.** (dibimbing oleh Daeng Paroka)

Kebutuhan energi listrik yang semakin besar tidak dapat diimbangi dengan kapasitas produksi energi fosil yang sampai saat ini persediaannya juga yang mulai menipis. Salah satu energi yang berpotensi paling besar dalam pengembangan energi terbarukan adalah energi gelombang. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan geometri pelampung apung yang optimal sebagai pembangkit energi gelombang laut terhadap gerak heave. Faktor yang menjadi pengaruh paling penting dalam menentukan model pelampung apung yang efisien sebagai pemanen energi gelombang yakni geometri dan respon dari struktur itu sendiri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bentuk geometri dari model 1 menjadi model dengan perpindahan maksimum terbesar yakni 8.91 m. Nilai perpindahan dari masing-masing model ini menjadi dasar atas daya dan efisiensi penyerapan yang dihasilkan oleh struktur. Penelitian ini menghasilkan perbandingan daya serap maksimum dan persentase efisiensi model pelampung apung yang optimal sebagai pemanen energi gelombang laut. Dimana model 1 menjadi model dengan nilai rata-rata akar kuadrat daya serap terbesar yakni 182.15 kW dan daya serap maksimum sebesar 886.71 kW dengan nilai rata-rata akar kuadrat efisiensi 0.16% dengan efisiensi maksimum 0.768% berdasarkan analisis RAO-berbasis respon struktur.

Kata Kunci: Daya serap, energi gelombang, gerak heave, pelampung apung, respon struktur



ABSTRACT

Hidayatullah. **Optimal Floating Buoys Design As A Generator Of Ocean Wave Energy.** (Supervised by Daeng Paroka)

The increasing need for electrical energy cannot be balanced with the production capacity of fossil energy, the supply of which is currently running low. One of the energies that has the greatest potential for developing renewable energy is wave energy. This research aims to find the optimal floating buoy geometry to generate ocean wave energy for heave motion. The factors that are the most important influence in determining an efficient floating buoy model as a wave energy harvester are the geometry and response of the structure itself. The research results show that the geometric shape of model 1 is the model with the largest maximum displacement, namely 8.91 m. The displacement value of each model is the basis for the power and absorption efficiency produced by the structure. This research produces a comparison of the maximum absorption capacity and efficiency percentage of the optimal floating buoy models as a sea wave energy harvester. Where model 1 is the model with the largest root mean square value of absorption, namely 182.15 kW and a maximum absorption power of 886.71 kW with a root mean square efficiency value of 0.16% with a maximum efficiency of 0.768% based on RAO-based structural response analysis.

Kata Kunci: Floating buoy, heave motion, power absorbed, structure response, wave energy



DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	
DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Tujuan Penelitian	8
1.4 Manfaat Penelitian	9
1.5 Batasan Masalah	9
BAB II METODE PENELITIAN	10
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian	10
2.2 Jenis Penelitian	10
2.3 Studi Literatur	10
2.4 Parameter Pemodelan	10
2.5 Pengolahan Data	10
2.6 Perbandingan Respon	11
2.7 Hasil dan Pembahasan	11
2.8 Kesimpulan	11
2.9 Sistematika Penulisan	11
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN	13
3.1 Hasil	13
3.1.1 Objek Penelitian	13
3.1.2 Pemodelan	13
3.1.3 Respon Struktur	19
3.1.4 Daya Serap dan Efisiensi Energi	30
3.2 Pembahasan	33
3.2.1 Respon Struktur	33
3.2.2 Daya Serap dan Efisiensi Energi	36
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	38
4.1 Kesimpulan	38
4.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN	43



DAFTAR GAMBAR

1.	Bentuk Umum Grafik Respons Gerakan Bangunan Apung	6
2.	Diagram Alur Pengerjaan Penelitian	12
3.	Variasi model <i>floating buoy</i>	13
4.	Geometri ANSYS AQWA	14
5.	Variasi angka elemen mesh untuk RAO-Heave	14
6.	Mesh yang digunakan untuk simulasi floating buoy ANSYS AQWA	15
7.	Penginputan jari-jari girasi	16
8.	Penginputan koefisien redaman	17
9.	Panel tumpang tindih(overlapped panels)	17
10.	Diagram alur global program NEMOH	18
11.	Jumlah panel maksimum yang dapat di hasilkan oleh NEMOH	18
12.	Hasil meshing program NEMOH	19
13.	Massa Tambah vs Frekuensi ANSYS AQWA	20
14.	Massa Tambah vs Frekuensi NEMOH	20
15.	Redaman Radiasi vs Frekuensi ANSYS AQWA	21
16.	Redaman Radiasi vs Frekuensi NEMOH	21
17.	Rata-rata redaman radiasi Model 1 ANSYS AQWA	21
18.	Rata-rata redaman radiasi Model 2 ANSYS AQWA	22
19.	Rata-rata redaman radiasi Model 3 ANSYS AQWA	22
20.	Rata-rata redaman radiasi Model 4 ANSYS AQWA	22
21.	Rata-rata redaman radiasi Model 5 ANSYS AQWA	23
22.	Rata-rata redaman radiasi Model 1 NEMOH	23
23.	Rata-rata redaman radiasi Model 2 NEMOH	24
24.	Rata-rata redaman radiasi Model 3 NEMOH	24
25.	Rata-rata redaman radiasi Model 4 NEMOH	24
26.	Rata-rata redaman radiasi Model 5 NEMOH	25
27.	Gaya Eksitasi vs Frekuensi ANSYS AQWA	26
28.	Gaya Eksitasi vs Frekuensi NEMOH	26
29.	RAOs vs Frekuensi ANSYS AQWA	27
30.	RAOs vs Frekuensi NEMOH	27
31.	RAOs vs Frekuensi Model 1(General)	28
32.	RAOs vs Frekuensi Model 2	28
33.	RAOs vs Frekuensi Model 3	28
34.	RAOs vs Frekuensi Model 4	29
35.	RAOs vs Frekuensi Model 5	29
36.	<i>Maximum Heave Displacement Time Domain Analysis</i>	30
37.	Daya serap maksimum dan nilai RMS daya serap	30
38.	Daya serap dan nilai RMS terhadap waktu	31
39.	Efisiensi energi dan nilai RMS	32
40.	Efisiensi daya serap dan nilai RMS efisiensi terhadap waktu	32
	< RAO analisis ANSYS AQWA	36
	< RAO analisis NEMOH	36



DAFTAR TABEL

1. Dimensi model floating buoy	13
2. Parameter meshing ANSYS AQWA.....	15
3. Jari-jari girasi semua model floating buoy.....	16
4. Nilai rata-rata redaman radiasi ANSYS AQWA.....	23
5. Nilai rata-rata redaman radiasi NEMOH	25
6. Analisis perbandingan dan daya serap floating buoy	33
7. Nilai maksimum massa tambah semua model floating buoy	33
8. Nilai maksimum redaman radiasi semua model floating buoy	34
9. Nilai maksimum redaman gaya eksitasi model floating buoy.....	35
10. Frekuensi Natural, Maksimum RAO dan Persentase Error	35
11. Perbandingan Efisiensi Energi dan Nilai RMS	37



DAFTAR LAMPIRAN

1. Kode Program	44
2. Data Respon Struktur Output ANSYS AQWA	47
3. Data Respon Struktur output Matlab	52
4. Data Massa, Kekakuan Hidrostatik dan Redaman Viskositas	56
5. <i>Time Domain Analysis(RAO-Based Structure Response), Power Absorbed(kW) and Efficiency Energy(%)</i>	57



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Laut mempunyai peranan penting di bumi ini dan juga berperan penting bagi keberlangsungan hidup umat manusia. Selain wilayah yang dominan di muka bumi ini, laut juga mempunyai potensi yang besar sebagai sumber energi terbarukan diantaranya energi gelombang, energi pasang surut dan energi panas laut. Energi terbarukan memiliki energi non-fosil yang dapat diperbaharui, dapat digunakan jangka panjang dan tentunya lebih ramah lingkungan.

Kebutuhan energi listrik yang semakin besar tidak dapat diimbangi dengan kapasitas produksi energi fosil yang sampai saat ini persediaannya juga yang mulai menipis. Upaya pemerintah dalam mengatasi kekurangan persediaan suplai tenaga listrik yaitu dengan mengembangkan energi terbarukan. Salah satu energi yang berpotensi paling besar dalam pengembangan energi terbarukan adalah energi gelombang. Gelombang laut timbul karena adanya gangguan dari luar terhadap suatu perairan. Gangguan-gangguan itu meliputi angin, arus, gerakan kapal atau gempa yang ada di dasar laut.

Sebagai negara maritim, Indonesia memiliki luas lautan yang lebih besar dibandingkan luas daratannya. Mengacu pada United Convention on the Law of the Sea (UNCLOS), luas laut Indonesia sebesar 3.257.357 km² dan luas daratan sekitar 1.919.440 km². Disamping itu planet bumi ini juga didominasi lautan di banding dengan daratan. Secara keseluruhan luas permukaan bumi sekitar 510.072.000 km², yang Dimana 70,8% luas permukaan bumi adalah lautan.

Energi gelombang sebagai energi listrik terbarukan sebenarnya bukan merupakan suatu hal yang masih baru. Ide ini pertama kali dipatenkan oleh Girard dan Son pada tahun 1799 di Prancis. Namun, seiring dengan berjalannya waktu, terjadinya krisis energi pada tahun 1973 banyak negara-negara yang mulai secara intensif melakukan uji coba dan pengembangan tenaga listrik tenaga gelombang laut. Maka dari itu, Indonesia sebagai negara maritim harusnya sudah siap mengambil peranan dalam pengembangan energi terbarukan ini.

Energi laut merupakan energi yang dapat dihasilkan dari energi kinetik pergerakan mekanik air laut, perbedaan temperatur air laut serta energi potensial dari perbedaan ketinggian air laut. Energi laut dapat dijadikan energi listrik dengan menggunakan teknologi yang telah berkembang saat ini. Energi yang dihasilkan tersebut merupakan energi terbarukan karena berasal dari proses alam yang berkelanjutan (Kementrian ESDM, 2012).

Cadangan sumber energi yang berupa energi fosil di Indonesia semakin kebutuhan energi listrik semangkit meningkat dari tahun ke an meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan pertambahan adanya permasalahan yang sedang dihadapi Indonesia, ukan penelitian tentang konversi energi gelombang menjadi i beberapa sistem.

es mendesain sebuah point absorber untuk memanfaatkan



energi gelombang laut pada tahun 1975 (Budar dan Falnes, 1975) yang kemudian ide tersebut menjadi populer di kalangan para peneliti. Konsep mereka diikuti oleh berbagai konsep dan desain tentang pemanen energi laut. Di antara pemanen ini, pemanen energi gelombang memiliki body yang ukurannya relatif kecil, strukturnya kompleks dan biayanya yang tergolong rendah serta dapat digunakan untuk menghasilkan daya yang besar (Gomes dkk., 2020).

Prinsip kerja pemanen energi gelombang terapung didasarkan pada gelombang datang yang berinteraksi dengan penyerap terapung dan menghasilkan gerak dalam enam arah, antara lain heave, surge, sway, roll, pitch dan yaw. Periodik naik turun atau gerakan heave adalah sumber yang sangat baik untuk pembangkit listrik berkelanjutan (Algarin dan Bula, 2021).

Berbagai strategi telah diteliti untuk meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan. Karena dinamika bangunan apung, cara untuk meningkatkan efisiensi adalah dengan mengoptimalkan geometri (bentuk) pelampung apung sedemikian rupa sehingga dapat beroperasi pada frekuensi resonansinya (Aderinto dan Li, 2019).

Parameter yang paling penting dalam menentukan sebuah floating buoy yang optimal sebagai pengonversi daya meliputi massa tambah, gaya eksitasi, redaman radiasi, redaman, gaya eksitasi, kekakuan hidrosatik, respon amplitudo operator, daya serap dan efisiensi penyerapan daya floating buoy.

1. Massa tambah

Efek penambahan massa ini disebabkan karena fluida di sekitar benda yang tercelup kedalam air ikut bergerak. Pergerakan fluida tersebut akan menambah energi kinetik, sehingga memerlukan gaya tambah eksternal. Jika gaya tersebut dibagi dengan percepatan benda maka akan menghasilkan komponen massa. Massa inilah yang dianggap sebagai massa tambah/*added mass*. Massa tambah bergantung terhadap bentuk benda serta mode gerak benda tersebut. Persamaan 2.1 merupakan Persamaan dari gaya massa tambah, dimana merupakan perkalian antara massa tambah dengan percepatan gerak benda terapung.

$$F_a = a_i \ddot{\zeta}_i \quad (2.1)$$

Dimana:

F_a = Gaya Massa Tambah (kg)

i = Mode gerak struktur (heave)

$\ddot{\zeta}_i$ = Percepatan gerak struktur (m/s²)

ζ_i = Simpangan gerak struktur (m)

si
an dampak yang didapat akibat adanya disipasi energi dari
akan membuat struktur kehilangan energi kinetiknya. Jika



struktur digetarkan di air yang tenang, maka energi kinetik struktur (gerakan) semakin lama akan semakin mengecil, hal inilah yang disebut sebagai redaman. Sama seperti massa tambah, nilai redaman bergantung dari bentuk benda dan mode gerak benda. Sebagai gaya reaksi, gaya ini mempunyai Persamaan 2.2, Persamaan ini merupakan perkalian antara redaman benda dengan kecepatan gerak benda.

$$C_{rad} = b_i \dot{\xi}_i \quad (2.2)$$

Dimana:

C_{rad} = Radiasi Redaman (Ns/m)
 i = Mode gerak struktur (heave)
 b = Redaman struktur (Ns/m)
 $\dot{\xi}$ = Kecepatan gerak struktur (m/s)

3. Redaman Eksternal

Koefisien redaman eksternal mencerminkan gaya atau beban yang diperlukan untuk mengubah energi gelombang laut menjadi energi listrik. Kehilangan energi dari komponen mekanis dan hidrolik seperti gesekan menjadi tambahan redaman pada sistem konversi energi (Tampier dan Gerueter, 2017; Zhao dkk, 2022). Gaya redaman eksternal dianggap berbanding lurus dengan kecepatan vertikal dari struktur, seperti pada Persamaan 2.3.

$$f_{pto}(t) = C_{pto} \dot{z} \quad (2.3)$$

Dimana :

$f_{pto}(t)$ = Gaya redaman eksternal (Ns/m)
 $C_{pto} \dot{z}$ = Kecepatan redaman eksternal (m/s)

Pada kondisi resonansi, optimal C_{pto} dapat diperoleh dari relasi yang diberikan oleh (Barenjkoob dkk, 2021) ditampilkan pada Persamaan 2.4.

$$C_{pto_opt} = C_{rad} \quad (2.4)$$

Dimana :



C_{pto_opt} = Redaman eksternal optimal (Ns/m)

C_{rad} = Redaman radiasi (Ns/m)

$\dot{z}_{pto}$ dinyatakan sebagai rata-rata redaman radiasi pada area Barenjkoob dkk, 2021), ditampilkan pada persamaan 2.5.

$$C_{pto} \cong \bar{C}_{pto_opt} \quad (2.5)$$

Dimana :

C_{pto} = Redaman radiasi (Ns/m)

$\bar{C}_{pto_opt}$ = Rata-rata redaman radiasi optimal pada kondisi resonansi (Ns/m)

4. Gaya eksitasi

Gaya eksitasi yang diterima dari struktur terjadi akibat adanya distribusi tekanan yang tidak merata dari gelombang. Dampak dari tekanan yang tidak merata ini disebut sebagai gaya Froude-Krylof. Selain itu, pada struktur dengan ukuran yang cukup besar, bentuk struktur juga akan menyebabkan perubahan distribusi tekanan. Efek dari perubahan distribusi tekanan akibat adanya struktur yang besar ini disebut dengan gaya difraksi. Gaya Froude-Krylof dapat ditemukan menggunakan Persamaan 2.6.

$$F_{Ex} = \int \rho \cdot n_i \cdot dA \quad (2.6)$$

Dimana:

F_{Ex} = Gaya Eksitasi (N/unit amplitudo)

ρ = Tekanan gelombang untuk perairan dalam (N/m³)

n_i = Vektor satuan arah normal

dA = Luasan Struktur (m²)

Persamaan 2.6 menghubungkan antara distribusi tekanan yang diakibatkan medan gelombang dengan luas permukaan dari struktur. Distribusi tekanan gelombang di laut dalam untuk struktur didapat dengan menggabungkan persamaan potensial gelombang dengan persamaan bernoulli sehingga didapat Persamaan 2.7.

$$p = \rho g \zeta_a e^{kz} \sin(\omega t - kx) \quad (2.7)$$

Dimana:

ρ = Massa jenis air disekitar struktur (kg/m³)

g = Percepatan gravitasi (m/s)

ζ_a = Amplitudo gelombang (m)

k = Bilangan gelombang (rad/m)



z = sumbu vertikal, dengan nilai 0 di permukaan air (m)

ω = bilangan gelombang (rad/s)

x = sumbu horizontal, searah gelombang (m)

Kekakuan hidrodinamik menggambarkan gaya-gaya restoratif yang timbul akibat perubahan tekanan fluida di sekitar struktur. Kekakuan ini juga dapat mempengaruhi respons dinamis struktur terhadap medan gelombang atau perubahan lingkungan fluida lainnya. Ketika struktur terapung bergerak di permukaan air tenang, tanpa gelombang, struktur tersebut mempunyai kekakuan untuk kembali ke posisi awalnya. Persamaan 2.8 merupakan persamaan kekakuan struktur, persamaan ini merupakan perkalian antara kekakuan dan displacement gerak.

$$F_c = c_i \xi_i \quad (2.8)$$

Dimana:

- F_a = Gaya kekakuan (kg)
- i = Mode gerak struktur (heave)
- c = Kekakuan struktur (N/m)
- ξ = Respon gerak struktur (m)

6. Response Amplitude Operator(RAO)

Response Amplitude Operator (RAO) atau disebut juga dengan transfer function merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi tertentu. RAO disebut sebagai transfer function karena RAO merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk response pada suatu struktur. Bentuk umum Persamaan RAO dalam fungsi frekuensi (Chakrabarti, 1987) pada Persamaan 2.9.

$$Response(\omega) = (RAO) \cdot \zeta(\omega) \quad (2.9)$$

Dimana:

- ζ = Amplitudo gelombang (m)

RAO merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang disebabkan akibat gelombang dengan rentang frekuensi tertentu. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur. Menurut (Chakrabarti, 1987), Persamaan RAO dapat dicari dengan Persamaan 2.10.

$$RAO(\omega) = \left(\frac{\zeta_a}{\gamma_{\dots}} \right) \quad (2.10)$$



- › gerakan struktur
- › gelombang

menurut Bhattacharyya (1978), RAO memiliki pengertian sebagai suatu fungsi kuadrat dari perbandingan antara amplitudo gerakan bangunan apung yang terjadi akibat gelombang beraturan dibandingkan dengan amplitudo gelombang itu sendiri. Secara matematis dapat ditulis pada Persamaan 2.11.

$$RAO(\omega) = \left(\frac{\zeta_a}{\zeta_w} \right)^2 \quad (2.11)$$

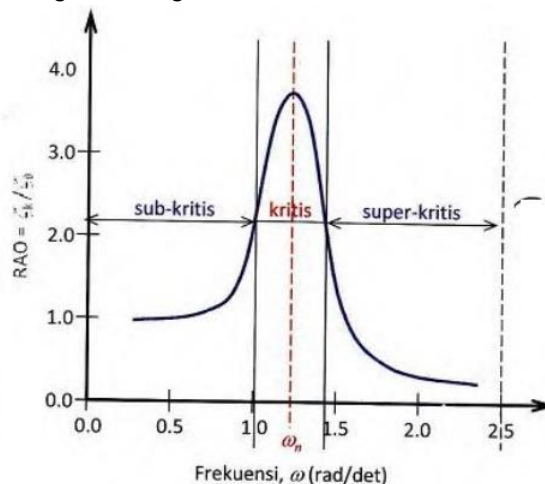
Secara umum, penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa RAO merupakan perbandingan antara besaran amplitudo gerakan bangunan apung dengan amplitudo gelombang (*unit*: m/m untuk amplitudo gerakan translasi dan unit: deg/m untuk amplitudo gerakan rotasional). Sebagai *transfer function*, RAO gerak translasi dengan sendirinya telah merupakan *transfer function* karena unit RAO dapat diasumsikan juga ke dalam *non-dimensional units*. Sementara pada RAO gerak rotasional perlu dilakukan transformasi ke bentuk non-dimensional (rad/rad) dengan cara mentransformasikan amplitudo gelombang ke kemiringan gelombang, yakni perkalian antara angka gelombang (*wave number* (kw)) di mana $kw = \omega w^2/g$, dengan amplitudo gelombang (ζ_w). Sehingga, sebagai transfer function, RAO gerak rotasi diformulasikan pada Persamaan 2.12.

$$RAO = \left(\frac{\zeta_a}{kw \zeta_w} \right) = \frac{\zeta_a}{(\omega w^2/g) \zeta_w} \quad (2.12)$$

Dimana:

kw = Bilangan gelombang

ω_w = Frekuensi gelombang



entuk Umum Grafik Respons Gerakan Bangunan Apung
(Sumber : Djatmiko, 2012)

7. Frekuensi Natural

Frekuensi natural merujuk pada frekuensi dimana dimana respon suatu struktur apung terhadap gelombang laut mencapai puncaknya, sesuai dengan karakteristik alami struktur tersebut. Frekuensi natural ditentukan oleh massa benda, massa tambah dan kekuan hidrostatik yang ditunjukkan pada Persamaan 2.13.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{c}{(M + M_a)}} \quad (2.13)$$

Dimana :

- ω_n = Frekuensi natural (rad/s)
- c = Kekakuan hidsrosatik (N/m)
- M = Massa struktur (kg)
- M_a = Massa tambah struktur (kg)

8. Daya Serap dan Efisiensi Energi

Resonansi *floating buoy* diselidiki lebih lanjut untuk respons dinamis dan kinerja pada gelombang tidak beraturan menggunakan spektrum Jons-wap (Khojasteh dan Kamali, 2016) yang digunakan untuk memperkirakan gelombang tidak beraturan yang lebih real. Daya serap maksimum pada gelombang tidak beraturan untuk resonansi berosilasi aksisimetris dapat dihitung pada Persamaan 2.14.

$$P_{max_irr} = \frac{\rho g^2 H_s^2 T_e}{64\pi} \quad (2.14)$$

Dimana :

- P_{max_irr} = Daya maksimum yang tersedia (kW/m)
- ρ = Massa jenis air laut (kg/m³)
- H_s = Tinggi gelombang signifikan (m)
- T_e = Periode energi (s)

T_e adalah periode energi yang sesuai dengan periode gelombang puncak karena $T_e = \alpha T_p$ dan koefisien $\alpha = 1$ diasumsikan untuk penelitian ini (Shadman et al., 2018; Yaakob et al., 2016). Hubungan berikut memberikan efisiensi



resonansi *floating buoy* pada gelombang tidak beraturan pada

(2.15)

η = Efisiensi (%)

P_{abs_irr} = Daya Serap gelombang tidak beraturan (kW)

P_{max_irr} = Daya maksimum yang tersedia (kW)

Daya serap energi dari masing-masing *floating buoy* dapat diperoleh dengan Persamaan 2.16.

$$P_{abs_irr} = \frac{1}{2} C_{pto} \omega^2 [RAO]^2 \quad (2.16)$$

Dimana:

C_{pto} = Redaman eksternal (Ns/m)

ω = Frekuensi (rad/s)

RAO = *Response Amplitude Operator* (m)

9. Root Mean Square (RMS)

Root Mean Square (RMS) adalah nilai statistik yang digunakan untuk mengukur besaran efektif dari sebuah serangkaian data. RMS memberikan cara untuk menghitung nilai rata-rata kuadrat dari sebuah variabel, kemudian mengambil akar kuadrat dari rata-rata tersebut. RMS dapat diperoleh menggunakan Persamaan 2.17.

$$RMS = \sqrt{\bar{x^2}} \quad (2.17)$$

Dimana :

RMS = Akar rata-rata akar kuadrat

$\bar{x}$ = Rata-rata nilai hasil simulasi

Uraian diatas menjadi dasar yang berkaitan dengan pemodelan *floating buoy* pada gerak *heave* yang menjadi fokus utama dalam pengerjaan tugas akhir ini sehingga peneliti mengangkat judul "**Desain *floating buoy* yang optimal sebagai pembangkit energi gelombang laut**".

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan diselesaikan dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi bentuk *floating buoy* terhadap gerak *heave*?
 a. *Response Amplitude Operator*(RAO) yang dihasilkan *floating buoy* tasi gelombang pada gerakan *heave*?
 b. ap maksimum pada masing-masing *floating buoy*?



ian

rumusan masalah diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah

1. Mengetahui variasi bentuk *buoy* terhadap gerak *heave*.
2. Mengetahui *Respons Amplitude Operator (RAO)* yang dihasilkan *buoy* akibat gaya eksitasi gelombang pada gerakan *heave*.
3. Mengetahui berapa daya serap dan efisiensi energi yang diperoleh oleh *buoy*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah ingin dicapai gerakan *buoy* dengan frekuensi pergerakan yang optimal. Hasil analisa dimensi *buoy* dapat digunakan sebagai pertimbangan perancangan pembangkit listrik tenaga gelombang laut terbarukan yang diharapkan mampu beroperasi di perairan dangkal.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang diambil dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini hanya sebatas memodelkan *buoy*, tidak memodelkan lengan/*supporting rod*.
2. Ketebatasan pemodelan pada program NEMOH hanya memodelkan bentuk bangunan bersudut lancip/*mitered corner*.
3. Software yang digunakan adalah Matlab dan ANSYS AQWA.
4. Penelitian ini hanya menganalisa gerakan *heave* dari *floating buoy*.



BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini berlangsung kurang lebih selama 4 bulan (Februari-Mei 2024), yang dimana penelitian ini dilaksanakan di ruang labo Desain dan Operasi Struktur Bangunan Apung (*Dofler Lab*) gedung Naval B, Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Kab. Gowa, Sulsel.

2.2 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian yang bersifat kuantitatif, yang dimana penelitian ini melibatkan angka-angka dalam semua proses pelaksanaan penelitian, dimulai dari pengumpulan data, penjabaran data, hingga pada presentasi hasil penelitian dengan melakukan percobaan dan penyelidikan untuk memberikan jawaban terhadap rumusan masalah.

2.3 Studi Literatur

Studi literatur pada tugas akhir ini bersumber dari buku, materi perkuliahan, jurnal dan penelitian yang memiliki keterkaitan topik serupa untuk mencari dasar teori yang relevan untuk digunakan dan dibutuhkan selama pengerjaan tugas akhir ini.

2.4 Parameter Pemodelan

Geometri pelampung berperan penting dalam penyerapan dan efisiensi daya, sehingga optimasi geometri diperlukan untuk mencapai daya serap maksimum pelampung apung pada kondisi eksitasi gelombang, khususnya pada gerakan heave. Penelitian sebelumnya menyarankan tiga kriteria yang perlu dipenuhi untuk optimasi yang lebih baik, seperti tercantum di bawah ini:

1. Untuk meningkatkan efisiensi dan mengendalikan pergerakan pelampung apung, diameter *floating buoy* harus proporsional dengan panjang gelombang gelombang datang (Chen et al., 2019, 2018; Pastor dan Liu, 2014).
2. Frekuensi alami *floating buoy* harus sejajar dengan frekuensi gelombang datang untuk menghasilkan daya di wilayah resonansi untuk penyerapan daya maksimum (Berenjkoob et al., 2021; Koh et al., 2015; Shadman et al., 2018).
3. Rancangan pelampung apung harus sesuai dengan panjang gelombang gelombang datang untuk meningkatkan efisiensi (Aderinto dan Li, 2019; Azam et al., 2021b; Desa, 2016)

Pemodelan buoy menggunakan *software* Autodesk Autocad dalam model 3D dengan 5 variasi model, dengan dimensi diberikan pada Tabel 3.1. Variasi bentuk model ditunjukkan pada Gambar 3.2.



ata

mulasi numerik dilakukan menggunakan program yang telah ituan perangkat lunak Matlab. Dari hasil olahan ini akan ambah, redaman, gaya eksitasi dan *Response Amplitude* eave. Kemudian simulasi juga dilakukan menggunakan

software ANSYS AQWA untuk memperoleh respon gerak dari variasi-variasi *buoy* seperti pada software Matlab.

Setelah melakukan input data ke Matlab atau ANSYS AQWA, berikutnya melakukan tahap *meshing* dan *running*. Dalam menentukan *meshing* digunakan metode *trial and error* untuk menentukan ukuran *meshing* yang efektif.

2.6 Perbandingan Respon

Setelah memperoleh hasil simulasi, langkah berikutnya yakni melakukan perbandingan hasil simulasi dari variasi-variasi *buoy* tersebut. Dari hasil simulasi akan diperoleh perbandingan respon gerak yang meliputi massa tambah, redaman, gaya eksitasi dan *Response Amplitude Operator* (RAO) *Heave* dari kelima variasi model *buoy*.

2.7 Hasil dan Pembahasan

Dari hasil perbandingan respon variasi-variasi *buoy*, akan dilanjutkan analisis energi yang ditangkap oleh *buoy*. Dari hasil analisis *Response Amplitude Operator* (RAO), akan diperoleh amplitudo dan frekuensi gelombang. Sehingga, dari amplitudo dan frekuensi gelombang yang diperoleh maka akan diketahui besar energi yang ditangkap oleh *buoy*.

2.8 Kesimpulan

Semua hasil simulasi yang telah dilakukan akan dibandingkan, kemudian akan diperoleh kesimpulan perbandingan yang akan menjawab rumusan-rumusan masalah dari penelitian ini.

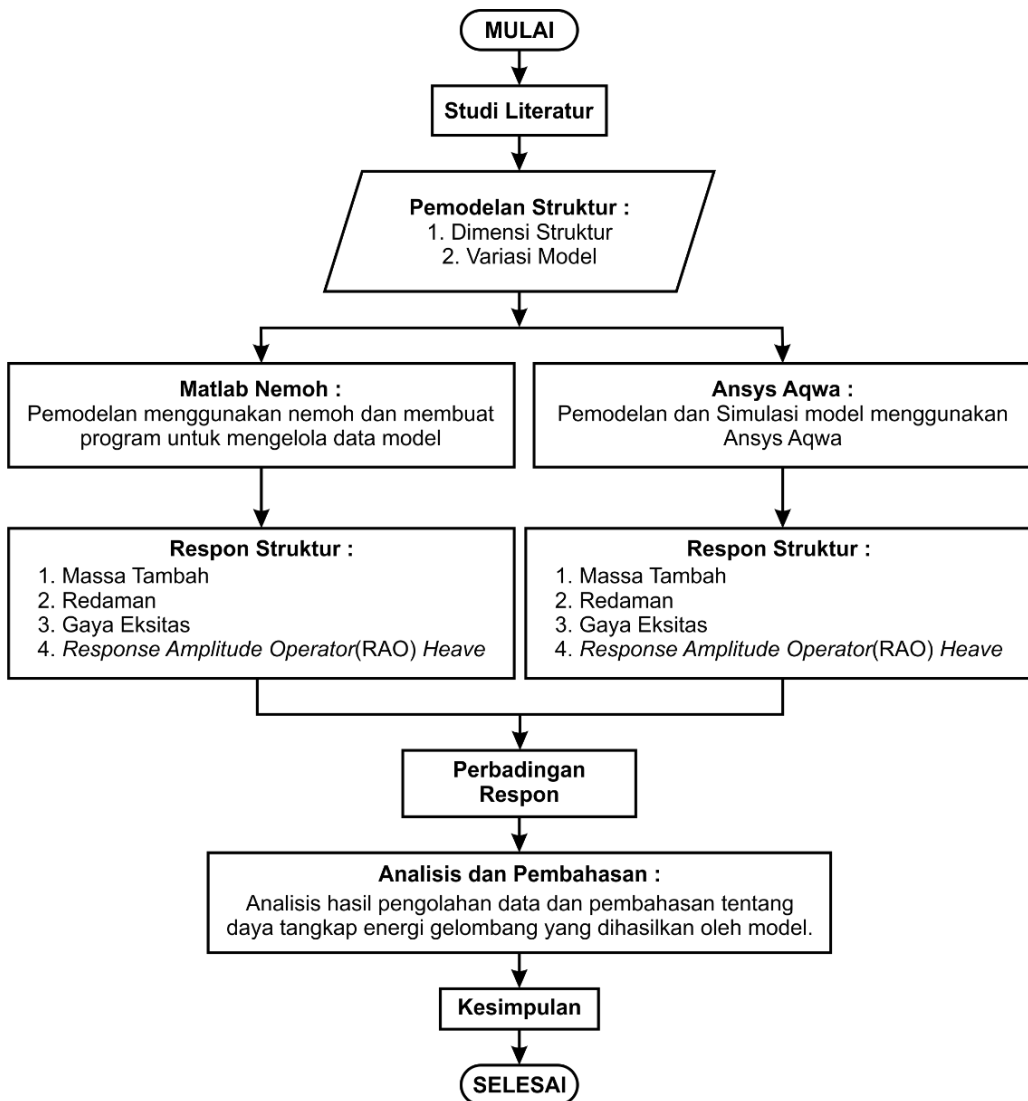
2.9 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas akhir ini dimulai dengan pendahuluan pada bab satu yang menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang ingin dicapai dari penulisan tugas akhir ini, manfaat yang diperoleh, batasan masalah untuk membatasi analisa yang dilakukan dan sistematika penulisan tugas akhir ini.

Kajian pustaka dan dasar teori yang menjadi sumber referensi dalam Tugas akhir ini dijelaskan pada bab dua. Referensi yang digunakan dalam tugas akhir ini berasal dari berbagai penelitian mengenai gerakan konfigurasi *buoy* terhadap penyerapan energi gelombang laut.

Langkah-langkah pengerjaan tugas akhir ini dan metodologi yang digunakan untuk pengerjaan tugas akhir ini dijelaskan pada bab tiga. Dalam bab ini akan langkah-langkah yang dilakukan untuk uji numerik serta lesaian dari tugas akhir ini, yang meliputi studi literatur, analisa hasil permodelan serta penarikan kesimpulan dari





Gambar 2. 1 Diagram Alur Pengerjaan Penelitian

