

DISERTASI

Studi Eksperimental Penyerapan Energi Pelampung Bentuk Peluru dengan Rumah Terapung Redaman-Beban pada Konverter Energi Gelombang.

Experimental Study of Bullet Shape Buoy Energy Absorption with Floating-Load Damping House On The Wave Energy Converter.



JUFRI
P1400315001

**PROGRAM STUDI S3 TEKNIK MESIN
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HANANUDDIN
MAKASSAR
2020**

STUDI EKSPERIMENTAL PENYERAPAN ENERGI PELAMPUNG
BENTUK PELURU DENGAN RUMAH TERAPUNG REDAMAN-BEBAN
PADA KONVERTER ENERGI GELOMBANG.

EXPERIMENTAL STUDY OF BULLET SHAPE BUOY ENERGY
ABSORPTION WITH FLOATING-LOAD DAMPING HOUSE ON THE
WAVE ENERGY CONVERTER.

Disertasi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Derajat Doktor

PROGRAM STUDI S3 TEKNIK MESIN

Disusun dan diajukan oleh,

Jufri
Nomor Pokok P1400315001

Kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR 2
020**

DISERTASI

**Studi Eksperimental Penyerapan Energi Peiampung Bentuk Peiuru dengan
Rumah Terapung Redaman-Beban pada Konverter Energi Gelombang**

***Experimental Study of Bullet Shape Buoy Energy Absorption with
Floating-Load Damping House On The Wave Energy Converter***

Disusun dan diajukan oleh

Jufri

Nomor Pokok P1400315001

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Disertasi
pada tanggal 13 November 2020
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

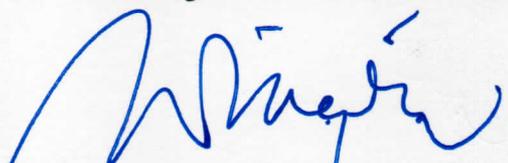
Komisi Penasihat,


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

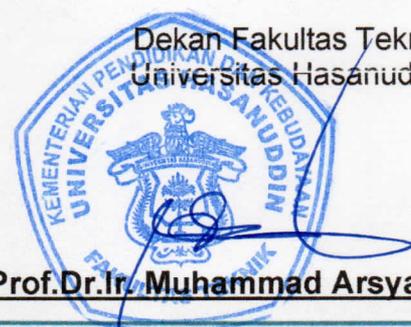

Dr.Eng. Jalaluddin, ST., MT.
Kopromotor


Dr. Rustan Tarakka, ST., MT.
Kopromotor

Ketua Program Studi S3 Teknik Mesin,


Dr.Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST. MT.

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin,


Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, MT.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Jufri
Nomor Mahasiswa : P1400315001
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa disertasi yang saya buat ini, benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan pengambilalihan disertasi atau hasil karya orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti disertasi saya ini merupakan hasil karya orang lain sebagian atau keseluruhan, maka saya bersedia dituntut berdasarkan undang-undang yang berlaku atas pelanggaran saya.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sesadar-sadarnya dan tanpa paksaan dari siapapun, untuk dipergunakan sebagaimana mestinya

Makassar, 13 November 2020

Yang membuat surat pernyataan



Jufri

KATA PENGANTAR

Patut kiranya penulis memanjatkan puji dan syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas segala hikmat dan rahmat-Nya yang selalu melimpah didalam setiap perjalanan kehidupan dan aktifitas penulis.

Disertasi ini dibuat dan diajukan dalam Ujian Hasil untuk dievaluasi, diverifikasi, divalidasi, dan dikoreksi oleh tim promotor dan penguji. Ujian prapromosi disertasi ini dilaksanakan sebagai prasyarat untuk selanjutnya ditindaklanjuti pada kegiatan berikutnya. Penulis disertasi ini tak lupa mengucapkan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Daeng Paroka, ST., MT., Ph.D., sebagai Promotor Utama, yang telah banyak memotivasi dan mengarahkan penulis dalam penyelesaian disertasi ini.
2. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT., sebagai Ko-Promotor I dan sekaligus sebagai Dosen Sekolah Pascasarjana Program Studi Teknik Mesin, yang telah banyak memberikan usul, saran, dan motivasi, dalam rangka penyempurnaan penyelesaian disertasi ini.
3. Bapak Dr. Rustan Tarakka, ST., MT., sebagai Ko-Promotor II dan sekaligus sebagai Dosen Sekolah Pascasarjana Program Studi Teknik Mesin, yang selalu meluangkan waktu dan memberikan pemikirannya serta memotivasi bagi penulis untuk menyelesaikan disertasi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Andi Erwin Ekaputra, ST., MT., sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin, yang selalu memotivasi bagi penulis untuk menyelesaikan disertasi ini.
5. Bapak/Ibu Dosen Sekolah Pascasarjana Program Studi S3 Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, yang selalu memotivasi penulis untuk menyelesaikan disertasi ini
6. Staf Sekolah Pascasarjana Program Studi Teknik Mesin, yang telah banyak menolong dan membantu penulis terutama dalam hal kelengkapan administrasi dan dokumentasi akademis.

ABSTRAK

JUFRI, *Studi Eksperimental Penyerapan Energi Pelampung Bentuk Peluru dengan Rumah Terapung Redaman Massa-Inersia Konverter Energi Gelombang* (dibimbing oleh Daeng Paroka, Jalaluddin, Rustan Tarakka)

Wave Energy Converter (WEC) merupakan metode mengubah energi gelombang laut menjadi energi mekanik. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh redaman massa-inersia (MI) terhadap penyerapan energi pelampung point absorber bentuk peluru dan pelampung struktur apung. Penelitian ini dilakukan dengan model ekperimental di laboratorium untuk menghitung performa penyerapan energi pelampung point absorber bentuk peluru dan pelampung struktur apung dengan 2 macam variasi sistem model rumah. Sistem rumah tertanam fix pada dasar kolam menggunakan tiang dan sistem rumah terapung tertanam dengan menggunakan tambat yang diredam dengan 3 variasi massa-inersia (MI-1, MI-2 dan MI-3). Fasilitas eksperimen yang digunakan yaitu towing tank panjang 49 meter, lebar 1 meter dan pengaturan kedalam air 0.8 meter, prototipe WEC tertanam fix pada dasar kolam menggunakan tiang dengan panjang 1 meter dan lebar 1 meter dan prototipe WEC sistem rumah terapung tertanam dengan tambat panjang 1 meter dan lebar 1 meter serata pelampung point absorber bentuk peluru diameter 0.2 meter dan tinggi 0.3 meter. Proses perekaman data eksperimen dilakukan dengan dua metode yaitu perekaman data karakteristi gelombang dilakukan oleh perangkat perekam data towing tank dan data tambahan yang dibutuhkan untuk menganalisis performa WEC direkam dengan menggunakan Adiuino UNO. Pengujian dilakukan pada amplitudo 0.02 m dengan 4 variasi frekuensi gelombang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa performa penyerapan energi pelampung point absorber bentuk peluru sistem rumah tertanam fix pada dasar kolam menggunakan tiang efisiensi 29.08% dan sistem rumah terapung tertanam dengan tambat (MI-1) 22.71%, (MI-2) 27.57% dan (MI-3) 24.90% dicapai pada frekuensi 0.833 Hz. Performa rata-rata untuk sistem rumah tertanam fix efisiensi hanya 23.77% dan sistem rumah terapung tertanam dengan tambat (MI-1) 19%, (MI-2) 25% dan (MI-3) 23%. Performa penyerapan energi pelampung struktur apung MI-2 nilai F_a 13.13 N bagian depan dan 10.1 N bagian belakang, MI-1 F_a 11.14 N bagian depan dan 9.49 N bagian belakang dan MI-3 hanya memiliki F_a 9.76 N bagian depan dan 6.88 N bagian belakang dan penyerapan energi pelampung struktur apung maksimal pada nilai RRM 0.35 - 0.5

Kata Kunci: Massa- Inersia, Energi Terbarukan, Struktur Pelampung Apung, Gelombang Laut

ABSTRACT

JUFRI, The experimental Study of the Energy Absorption of Bullet-Shape Buoy with Mass-Inertia Damping Floating House Wave Energy Converters (supervised by Daeng Paroka, Jalaluddin, Rustan Tarakka)

Wave Energy Converter (WEC) is a method of converting ocean wave energy into mechanical energy. This study aims to examine the effect of mass-inertia damper on the energy absorption of the point absorber bullet-shaped buoys and the floating buoys structure. This study was conducted with an experimental model in the laboratory to calculate the energy absorption performance of the point absorber in bullet-shape buoys and floating buoys structure with 2 variations of the house system model. The fixed-embedded housing system at the bottom of the pool uses poles and the floating house system is embedded using tether which are damped with 3 mass-inertia variations (MI-1, MI-2 and MI-3). The experimental facilities used were the towing tank 49 meters long, 1 meter wide and 0.8 meters deep, the WEC prototype fixed to the bottom of the pond using a pole with a length of 1 meter and a width of 1 meter and the WEC prototype of a floating house system embedded with a mooring length of 1 meter and 1 meter wide as flat as the point absorber buoy in the form of a bullet with a diameter of 0.2 meters and a height of 0.3 meters. The process of recording experimental data was carried out by two methods, namely the recording of wave characteristics data carried out by the towing tank data recording device and additional data needed to analyze WEC performance was recorded using Adiuno UNO. The experiment was carried out at an amplitude of 0.02 m with 4 variations of wave frequency. The results showed that the energy absorption performance of the point absorber buoys bullets-shape from the fixed-embedded housing system at the bottom of the pool uses poles have efficiency of 29.08% and the floating house system embedded with tether (MI-1) 22.71%, (MI-2) 27.57% and (MI-3) 24.90% achieved at a frequency of 0.833 Hz. The average performance for fixed-embedded housing systems efficiency is only 23.77% and for floating house systems embedded with tether (MI-1) 19%, (MI-2) 25% and (MI-3) 23%. The energy absorption performance of the floating buoys structure MI-2 Fa value 13.13 N front and rear 10.1 N, front MI-1 Fa 11.14 N and rear 9.49 N and MI-3 only has Fa 9.76 N front and 6.88 N rear and the maximum energy absorption performance of the buoyancy structure the RRM value is 0.35 - 0.5

Keywords: Mass Inertia, Renewable Energy, Floating Buoy Structure, Ocean Waves

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

JUDUL DISERTASI	i
PENYERAHAN DISERTASI	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	10
C. Tujuan Penelitian	11
D. Manfaat Penelitian	12
E. Ruang Lingkup Penelitian	13
F. Kebaruan (<i>Novelty</i>)	13
G. Definisi dan Istilah	15
H. Sistematika Penulisan	17
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	19
A. Proses Terbentuknya Gelombang Laut	19
1. Gelombang Kapiler	20
2. Gelombang Gravitasi : Angin Laut dan Gelombang besar.. ..	21
B. Klasifikasi Gelombang	24

1. Definisi.....	24
2. Gelombang Longitudinal.....	24
3. Gelombang Transversal.....	25
C. Superposisi Gelombang.....	25
D. Response Amplitude Operator (RAO).....	27
E. Energi Gelombang	28
1. Energi Kinetik	28
2. Energi Potensial	29
3. Densitas Energi (<i>Energy density</i>)	30
4. Kecepatan Rambat Gelombang	31
5. Daya Gelombang Laut.....	31
F. Penyerapan Daya Pelampung	32
G. WEC Sistem Heaving (Oscillation Bodies).....	33
H. Efisiensi Penyerapan Gaya oleh Pelampung.....	36
I. Rasio Redaman Massa (RRM).....	36
J. Critical Review	37
K. Kerangka Pikir Penelitian	44
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	45
A. Rancangan Penelitian	45
1. Karakteristik Gelombang Laut	45
2. Prototipe WEC	47
3. Desain Proses Eksperimen.....	50
4. Proses Pengambilan/Perekaman Data	51
B. Lokasi dan Waktu Penelitian	53
C. Alat dan Bahan.....	53
D. Populasi dan Teknik Sampel	54
E. Analisis Data	55
F. Road Map Penelitian	55

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	57
A. Desain Prototipe Konverter Energi Gelombang.....	57
B. Data Hasil Eksperimen dan Pembahasan	58
1. Data Performa respon pelampung point absorber	59
2. Performansi Penyerapan Energi Pelampung Point Absorber.....	60
a. Respon Amplitudo Operasi (RAO).....	60
b. Gaya serap pelampung point absorber.....	63
c. Efisiensi gaya serap pelampung point absorber.....	66
3. Pengaruh Massa-Inersia Terhadap Penyerapan Energi Pelampung Point Absorber	68
4. Rasio Redaman Massa-Inersia	70
5. Performansi Penyerapan Energi Pelampung Struktur Bagunan Apung	71
 BAB V PENUTUP.....	 74
A. Kesimpulan	74
B. Saran	75
 Daftar Pustaka.....	 77
 LAMPIRAN	 84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Variasi Konsep Konverter Energi Gelombang	7
Gambar 2	Klasifikasi Konverter Energi Gelombang	9
Gambar 3	Representasi skematis angin laut dan gelombang besar.....	20
Gambar 4	Sketsa definisi gerakan harmonic gelombang	23
Gambar 5	Bentuk orbital gelombang pada kedalaman air berbeda	23
Gambar 6.	Superposisi Gelombang.....	26
Gambar 7	Proses terbentuknya energi kinetik pada gelombang laut.....	28
Gambar 8	Proses terbentuknya energi potensial pada gelombang laut	29
Gambar 9	Kerangka Konseptual.....	44
Gambar 10	Rancangan prototipe WEC (a) kondisi fix dan (b) kondisi sistem tertanam dengan tambat.....	48
Gambar 11	Rancangan eksperimen pada prototipe pembangkit listrik tenaga gelombang laut.....	50
Gambar 12	Skematik proses perekaman data.....	53
Gambar 13	Road Map Penelitian.....	56
Gambar 14	Performansi Prototipe WEC berdasarkan <i>Response Amplitude Operator</i> (RAO).....	61
Gambar 15	Perforemansi gaya serap pelampung point absorber (F_a)...	64
Gambar 16	Efisiensi serapan pelampung poin absorber pada berbagai frekuensi	67
Gambar 17	Pengaruh Rasio Redaman Massa (RRM) pada efisiensi serapan pelampung piont absorber.....	69
Gambar 18	Pengaruh RRM pada efisiensi serapan pelampung point absorber.....	70
Gambar 19	Performansi Penyerapan Energi Pelampung Struktur Bagunan Apung (a) Pengaruh massa enersia pada RAO, (b) Pengaruh massa enersia pada F_a dan (c) Pengaruh RRM pada efisiensi.....	72

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Definisi dan Istilah	15
Tabel 2 Efisiensi WEC Sistem Heaving.....	34
Tabel 3 Critical review	37
Tabel 4 Data-data gelombang untuk berbagai lokasi	46
Tabel 5 Desain parameter eksperimen	49
Tabel 6 Data hasil eksperimen dilakukan pada Frekuesni 1.25 Hz dan amplitudo 0.02 m.....	59
Tabel 7 Data hasil eksperimen dilakukan pada Frekuesni 0.833 Hz dan amplitudo 0.02 m.....	59
Tabel 8 Data hasil eksperimen dilakukan pada Frekuesni 0.625 Hz dan amplitudo 0.02	69
Tabel 9 Data hasil eksperimen dilakukan pada Frekuesni 0.500 Hz dan amplitudo 0.02 m.....	60

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang	Arti dan keterangan	Dimensi
a	: Added mass (massa tambah)	kg
b	: Lebar segmen yang dilewati gelombang	m
c	: Kecepatan gelombang individu	$\frac{m}{s}$
c _g	: Kecepatan gelombang group	$\frac{m}{s}$
E	: Energi gelombang per unit luasan	$\frac{Joule}{m^2}$
F _w	: Gaya gelombang laut yang dapat diserap pelampung	N
F _t	: Gaya total yang diserap pelampung	N
g	: Percepatan gravitasi	$\frac{m}{s^2}$
H	: Tinggi gelombang	m
h	: Kedalaman laut	m
k	: Konstanta bilangan gelombang	$\frac{rad}{m}$
L	: Panjang batang penghubung pelampung	m
m	: Massa	kg

Lambang	Arti dan keterangan	Dimensi
P	: Daya yang berpotensi diserap pelampung	watt
P_w	: Daya gelombang laut persatuan panjang gelombang	$\frac{watt}{m}$
T	: Periode gelombang laut	s
ρ	: Massa jenis	$\frac{kg}{m^3}$
λ	: Panjang gelombang	m
ω	: Kecepatan anguler gelombang	$\frac{rad}{s}$
η_a	: Efisiensi penyerapan gaya pelampung	%
z_t	: Gerak angkat (<i>heave</i>) sesaat pelampung	m
ξ_t	: Gerak <i>heave</i> sesaat gelombang	m
θ	: Sudut simpangan batang penghubung pelampung	($^\circ$)
m_{sup}	: Massa suplemen	kg

Singkatan	Arti dan keterangan
MI	: <i>Massa-Inersia</i>
OWC	: <i>Oscillating Water Column</i>
PTO	: <i>Power Take-Off</i>
RAO	: <i>Response Amplitude Operator</i>
RRM	: <i>Rasio Redaman Massa</i>
R/P	: <i>Reserves-to-Production</i>
SOP	: <i>Standar Operasional Prosedur</i>
TIM	: <i>Tuned Inertial Mass</i>
TLP	: <i>Tension Leg Platform</i>
WEC	: <i>Wave Energy Converter</i>

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi adalah salah satu unsur utama untuk memastikan kelangsungan hidup manusia [1]. Sumber energi akan memainkan peran penting bagi ketersediaan energi dunia di masa depan. Permintaan energi meningkat secara eksponensial akibat pertumbuhan populasi penduduk, ekonomi dan industri di dunia [2]. Dalam beberapa tahun terakhir, hampir semua negara berupaya mendorong peningkatan produktivitas industri masing-masing untuk meningkatkan produksi [3]. Permintaan energi dari tahun ke tahun terus meningkat dan didominasi oleh bahan bakar fosil yang tak terbarukan sekitar (80%) [4]. Penggunaan energi yang didominasi oleh energi fosil menimbulkan ancaman ketersediaan energi yang berkelanjutan (*sustainable supply*) pada masa yang akan datang. Berdasarkan data *Reserves-to-production* (R/P) rasio, cadangan minyak dunia akan bertahan selama 52,9 tahun, gas alam 55,7 tahun dan batubara memiliki Rasio R/P terbesar, yaitu 109 tahun, dengan tingkat produksi saat ini [5-6]. Selain ancaman terhadap pasokan energi yang berkelanjutan, juga menjadi ancaman pada kelangsungan lingkungan yang sehat karena konsumsi energi berbahan fosil merupakan sumber utama emisi karbon [7]. Penggunaan bahan bakar fosil juga meninggalkan sejumlah residu tertentu berupa zat cair, padat dan gas yang tidak dapat digunakan kembali dan

menimbulkan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, sumber energi terbarukan seperti energi biomassa, energi panas bumi, tenaga air, energi laut, energi matahari dan energi angin terus dikembangkan untuk menjaga pasokan energi yang ramah lingkungan untuk mencapai pembangunan berkelanjutan [8-9].

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia terdiri dari 17.499 pulau dengan panjang garis pantai 81.000 km dengan area perairan terdiri dari laut teritorial, perairan dangkal dan perairan dalam dengan luas 2,7 juta km² atau 70% dari luas wilayah Indonesia. Oleh karena itu, Indonesia memiliki potensi energi terbarukan dari energi laut sangat besar, khususnya energi gelombang. Potensi ini memiliki peluang untuk di terapkan di Indonesia, baik berdasarkan aspek potensi alam [10], potensi finansial [11] maupun potensi teknologi [12-13]

Teknologi pemanfaatan energi terbarukan dari energi gelombang sudah banyak dikembangkan diberbagai negara bahkan sudah ada yang sampai ke tahap aplikasi dan komersialisasi [14]. Teknologi konversi energi gelombang dapat dikelompokkan berdasarkan dapat dikelompokkan berdasarkan prinsip kerja, yaitu : *Oscillating water* , *Oscillating bodies*, *Overtopping*.

Oscillating water column (OWC); menggunakan gerakan osilasi gelombang yang menekan udara pada suatu ruang kolom yang didesain khusus selanjutnya dipaksa keluar melalui turbin. OWC adalah jenis desain

WEC paling awal untuk pembangkit energi gelombang dan saat ini sudah banyak varian OWC yang dipasang di darat maupun ditengah laut.

Oscillating bodies; jenis perangkat ini dapat berupa satu benda yang bergerak relatif terhadap dasar laut atau terhadap benda lain. Benda berosilasi tersebut selanjutnya dapat dikategorikan sebagai perangkat mengambang atau perangkat terendam.

Overtopping; adalah konverter energi gelombang terminator, yang juga dikenal sebagai perangkat limpasan, untuk mentransformasi energi gelombang menjadi energi potensial. Sebuah reservoir berfungsi sebagai wadah penyimpanan dan membantu menjalankan turbin tekanan rendah. Konstruksi dirancang khusus sehingga gelombang yang menabrak bidang miring/lereng dapat mengalirkan air ke reservoir. Energi dihasilkan oleh air dari reservoir memutar turbin tekanan rendah., Referensi yang berkaitan dapat lihat pada referensi [15-16].

Wave Energy Converter (WEC) dikembangkan di Universitas Uppsala merupakan *Point absorber* jenis bodi berosilasi apung, yang terdiri dari pelampung yang bergerak naik-turun mengekstrak energi gelombang yang terhubung langsung dengan generator linier, gambar 1(a). Keuntungan dari metode ini dibanding metode lainnya adalah pelampung dan generator linier terpasang pada pondasi beton dasar laut hanya dihubungkan dengan tali (*connetion line*) sehingga bisa mengurangi biaya konstruksi walaupun dipasang pada kedalaman laut 20 -1000 m. Namun dibalik keuntungan metode ini, ada juga sisi kelemahannya yakni desain

Power Take Off (PTO) bekerja didasar laut, sehingga material dan pemeliharaannya harus betul-betul didesain khusus. Kelemahan yang lain adalah dari aspek berat konstruksi yakni bobot perangkat bobot generator kira-kira 8–13 ton, translator 1.2–9.8 ton dan pondasi berbentuk silinder beratnya berkisar antara 35 dan 50 ton. Hal ini akan mempengaruhi biaya konstruksi secara langsung [17].

WEC Point absorber dengan massa inersia yang dapat diatur adalah suatu Konverter energi gelombang baru sistem point absorber yang dilengkapi *Tuned Inertial Mass* (TIM). TIM untuk meningkatkan efektifitas area penyerapan dan daya serap, pegas tala dipasang antara pelampung point absorber dan generator, dan roda gila (massa-fisik) yang terpasang dan berputar bersama generator. Saat gerak vertikal (*heave*) diubah menjadi gerakan putar, roda gila dapat meningkatkan putaran seribu kali lipat karena rotary inersia, gambar 1(b). Keunggulan desain WEC ini, pelampung dan rotary generator terpasang pada pondasi beton dasar laut hanya dihubungkan dengan tali (*connetion line*) sehingga punya potensi besar untuk diaplikasikan pada area *nearshore* dan *offshore*. Kelemahan desain ini adalah pemasangan pegas tala antara pelampung *point absorber* dan *generator* yang menimbulkan redaman gerakan *heave* pelampung point absorber. Sisi kelemahan yang lain adalah desain *Power Take Off* (PTO) bekerja didasar laut, sehingga material dan pemeliharaannya harus didesain khusus [18].

WEC sistem *Tension Leg Platform* (TLP) adalah struktur bangunan sesuai kondisi penggunaan lepas pantai yang umumnya digunakan pada produksi minyak dalam laut atau sebagai pondasi turbin angin terapung dilepas pantai. Struktur bangunan terdiri dari platform terapung tipe *semi-submersible* yang tertanam (*embedded*) pada dasar laut dengan penambat vertikal (*tether*), yang dijaga tetap kencang, gambar 1(c). Berdasarkan aspek konstruksi, WEC sistem TLP tertanam hanya menggunakan tambatan yang bisa dikombinasikan jangkar (*anchor*) sehingga sangat potensial dikembangkan area *nearshore* dan *offshore*. TLP berfungsi menjaga agar pontoon tetap berada pada posisi. Energi respon pontoon dari eksitasi gelombang hanya diredam oleh TLP, padahal energi tersebut cukup potensial untuk di ubah menjadi energi mekanik atau energi listrik dan tentunya ini dipandang sebagai suatu kerugian [19].

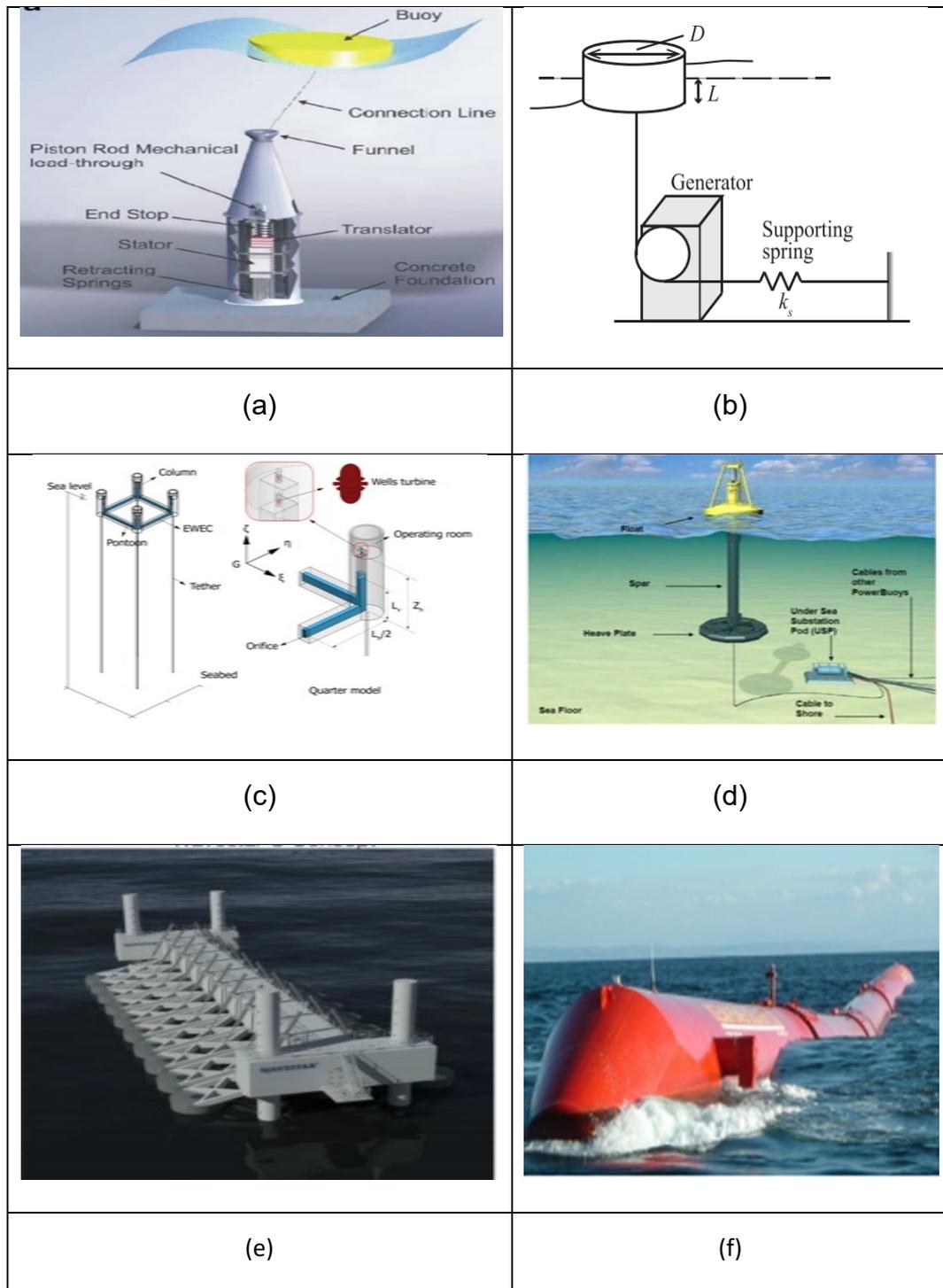
Power Buoy WEC dengan prinsip dua komponen, komponen pertama ujung bawah relatif tidak bergerak dan komponen kedua bagian atas digerakkan oleh gelombang yang merupakan pelampung apung, gambar 1(d) Gerakan relatif dari dua komponen yang ditimbulkan oleh gerak *heave* gelombang digunakan untuk memutar generator elektro mekanis atau konverter energi hidrolik. Keuntungan dari desain ini adalah pertama memungkinkan terjadi gerakan resonansi antara komponen bagian atas dan komponen bagian bawah; kedua WEC ini merupakan tipe terapung yang menggunakan mooring line sebagai tambatan; ketiga cocok untuk area *nearshore* dan *offshore*. Kelemahan : pertama adalah

komponen bagian atas dan komponen bagian bawah memungkinkan terjadinya redaman oleh air laut sehingga gerakan *heave* relatif tidak maksimal; kedua membutuhkan konstruksi yang besar [20].

WEC *Wavestar* merupakan *Floating Point Absorber* (FPA) multi-bodi dan platform dengan tiang tertanam pada dasar laut. Prinsip kerjanya adalah memanfaatkan gerakan osilasi *heave* gelombang kemudian dikonversi oleh pelampung menjadi energi mekanik dan selanjutnya energi keluaran berupa tenaga hidrolik untuk meningkatkan efisiensi pembangkit tenaga, gambar 1(e) [21]. WEC *Wavestar* memiliki penyerapan energi yang maksimal karena konstruksi tertanam tetap pada dasar laut dan perawatan yang mudah karena semua komponen penting berada di atas permukaan laut, sehingga mudah diakses; konstruksi yang tidak terlalu besar. Kekurangan dari WEC *Wavestar* tidak cocok diaplikasikan pada area *offshore* karena membutuhkan struktur tiang yang tertanam didasar laut [22]

WEC Sistem *Pelamis* pada dasarnya adalah pelampung besar dengan panjang sekitar 130 meter dan diameter 3,5 meter yang mengambang secara horizontal diatas permukaan laut dan melintang dari arah gelombang datang. Dalam pengoperasiannya, ia bergerak seiring dengan gelombang, dan gerakan ini menyebabkan pompa oli bekerja dan memompa oli ke generator yang ada di bagian belakang *Pelamis*, dan selanjutnya generator menghasilkan energi yang disalurkan ke penerima berupa energi listrik, terlihat pada gambar. Keuntungan dari WEC ini adalah

cocok dikembangkan pada area *nearshore* dan *offshore* namun memiliki juga kekurangan karena harus memiliki konstruksi yang besar gambar 1(f).

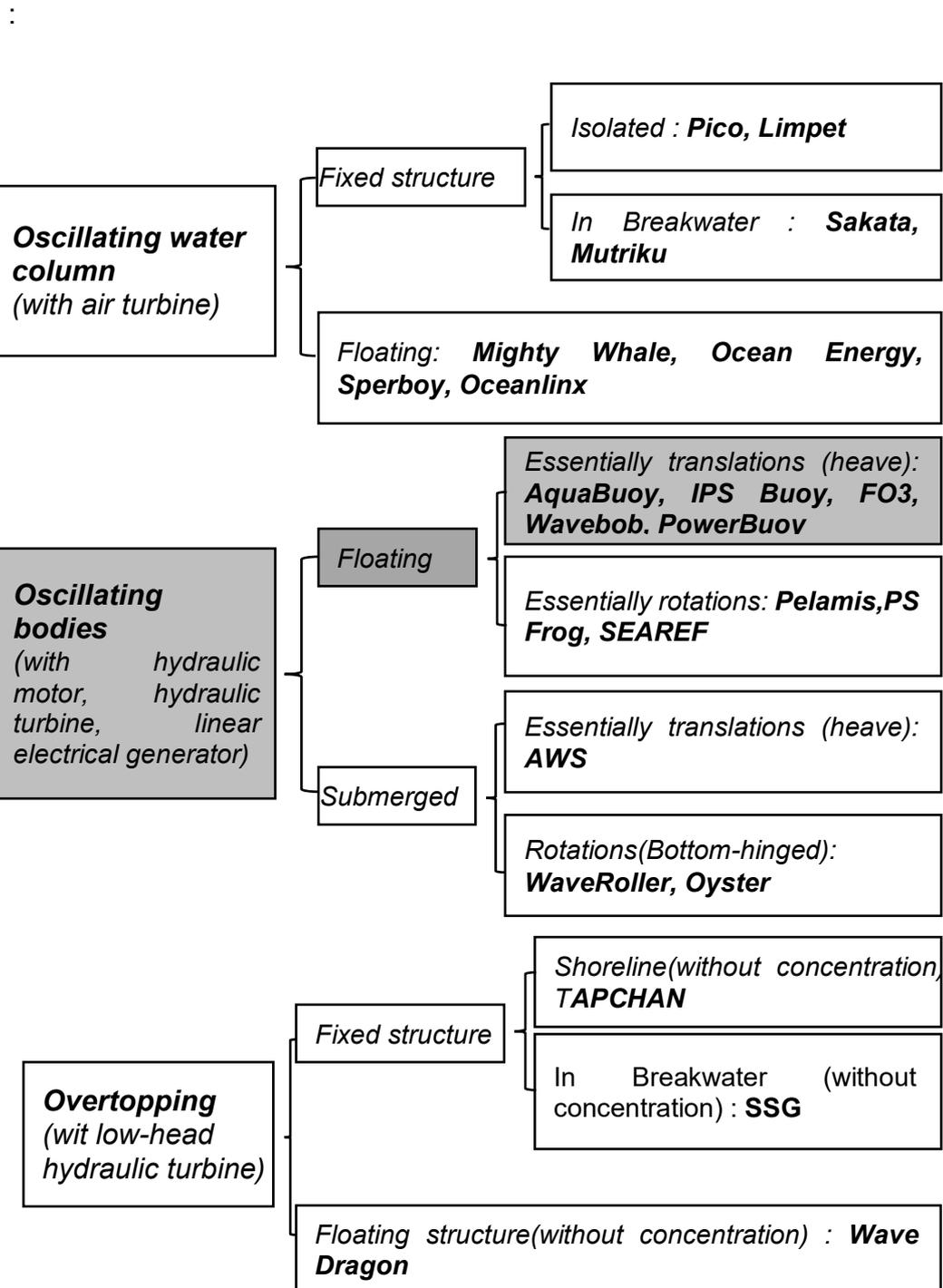


Gambar 1 Variasi Konsep Konverter Energi Gelombang

Meskipun WEC telah banyak dikembangkan namun pemanfaatan energi gelombang belum dianggap sebagai sumber energi terbarukan yang menguntungkan secara komersial. Biaya yang dibutuhkan untuk konversi energi gelombang menjadi energi listrik masih lebih mahal dibanding energi fosil [23]. Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap harga produksi energi adalah struktur konstruksi dan pondasi di dasar laut [18], bangunan fix di dasar laut [24-25] atau sejumlah tiang bertumpu di dasar laut [22]. Meskipun biaya produksi mahal, WEC dengan bangunan fix di dasar laut merupakan sistem konversi energi gelombang yang dapat menghasilkan energi listrik yang paling besar dibandingkan dengan metode lain. Untuk menghindari biaya produksi yang sangat besar, dikembangkan WEC dengan struktur terapung [26]. WEC dengan sistem kombinasi kemudian dikembangkan untuk memanfaatkan keunggulan dari sistem fix serta biaya konstruksi yang murah dari sistem terapung. Beberapa desain WEC dengan sistem kombinasi ditunjukkan pada Gambar 1(a-b)

Tantangan WEC berkisar dari masalah tekno-ekonomi hingga masalah yang mempengaruhi operasinya, pemeliharaan dan karakteristik gelombang pada masing-masing wilayah [27]. Penerapan teknologi WEC di Indonesia, mengalami tantangan yang sama. Salah satu tantangan pengembangan teknologi konversi energi gelombang di Indonesia adalah karakteristik tinggi gelombang yang tergolong densiti energi rendah [28]. Oleh karena itu dibutuhkan suatu adaptasi dan rekayasa teknologi WEC untuk mengatasi tantangan tersebut [29]. Perkembangan dan klasifikasi

WEC yang telah dijelaskan diatas dapat digambarkan seperti bagan berikut



Gambar 2 Klasifikasi konverter energi gelombang [30]

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan di atas, maka dalam penelitian ini masalah pokok yang akan menjadi perhatian adalah bagaimana membuat desain dan prototipe konverter energi gelombang laut yang dapat diterapkan di Laut Indonesia dengan karakteristik tinggi gelombang yang tergolong densiti energi rendah. Agar penelitian lebih terarah maka rumusan masalah difokuskan pada :

- (1). Bagaimana prototipe Konverter Energi Gelombang yang dapat diaplikasikan pada wilayah yang mempunyai densiti energi gelombang rendah?
- (2). Apakah ada perbedaan performansi penyerapan energi pelampung point absorber di atas pelampung struktur terapung dan struktur bangunan *fix* tertanam didasar laut?
- (3). Bagaimana pengaruh redaman massa-inersia pada penyerapan energi pelampung *point absorber* di atas struktur bangunan pelampung terapung
- (4). Berapa rasio redaman beban yang tepat untuk mendapatkan penyerapan pelampung point absorber dan penyerapan pelampung struktur apung yang maksimum ?
- (5). Apakah redaman massa-inersia memberi efek pada performa penyerapan energi pelampung struktur bangunan apung?

C. Tujuan Penelitian

Mengacu pada perumusan masalah sebagaimana tersebut di atas, maka tujuan utama penelitian menghasilkan prototipe pembangkit listrik tenaga gelombang laut yang dapat diterapkan di laut Indonesia dengan karakteristik tinggi gelombang yang tergolong densiti energi rendah. Untuk mencapai tujuan utama tersebut, maka ditetapkan sub-sub tujuan penelitian sebagai berikut:

- (1). Merancang prototipe Konverter Energi Gelombang yang dapat diaplikasikan pada wilayah yang mempunyai karakteristik tinggi gelombang yang tergolong densiti energi rendah.
- (2). Mengukur performansi penyerapan energi pelampung *point absorber* di atas struktur bangunan pelampung terapung dan struktur bangunan *fix* tertanam didasar laut.
- (3). Menganalisa pengaruh redaman-beban pada struktur pelampung apung terhadap penyerapan energi pelampung *point absorber* diatas struktur bangunan pelampung terapung.
- (4). Memprediksi rasio redaman beban yang tepat untuk mendapatkan penyerapan pelampung *point absorber* dan penyerapan pelampung struktur apung yang optimal.
- (5). Mengetahui pengaruh redaman massa-inersia terhadap performansi penyerapan energi pelampung struktur bangunan apung .

D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ekperimental desain prototipe WEC skala kecil untuk area dengan kepadatan energi gelombang kecil adalah sebagai berikut :

1. Menjadi salah satu solusi alternatif untuk memenuhi kebutuhan listrik pada daerah-daerah pesisir dan pulau-pulau kecil yang belum tersedia listrik. Selain itu, prototipe WEC ini, dapat juga digunakan untuk memenuhi berbagai kebutuhan masyarakat pada daerah-daerah tersebut untuk berbagai keperluan energi mekanis seperti memutar pompa air untuk desalinasi pada pengolahan air, tambak ikan dan petani garam.
2. Penelitian ini diharapkan dapat dilanjutkan pada pengujian skala penuh di laut sampai ke tahap komersial untuk mempertahankan *sustainable supply energy*.
3. Keuntungan dari sistem prototipe WEC ini adalah mudah dipasang karena desain struktur yang sederhana dan tertanam hanya menggunakan *Tension Leg Platform (TLP)*

E. Ruang Lingkup Penelitian

Untuk mencapai tujuan penelitian, maka permasalahan penelitian ini dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut :

1. Desain prototipe WEC skala kecil untuk area dengan densiti energi gelombang kecil.
2. Penelitian difokuskan pada WEC *Oscillating bodies* sistem *Floating* dengan pelampung point absorber bentuk peluru dan pelampung struktur apung
3. Pengujian fisik model Prototipe WEC menggunakan gelombang reguler pada *flume wave maker* yang ada pada di Laboratorium Teknologi Kelautan Universitas Hasanuddin.
4. Variabel penelitian dibatasi pada Frekuensi gelombang (f) dengan tinggi/amplitudo gelombang (H/z) dan variasi massa-inersia.

F. Kebaruan (*Novelty*)

Semua WEC yang telah dibahas diatas pada dasarnya ada tiga tipe ditinjau dari aspek tambatannya, yaitu tertanam tetap didasar laut dengan tiang; tertambat kombinasi (tertanam tetap didasar laut dan menggunakan *connection line* sebagai penghubung dengan pelampung penyerap energi) dan tertambat dengan menggunakan *mooring line* atau *tether*. Desain teknologi WEC tersebut masing-masing mempunyai kelebihan dan

kekurangan seperti yang telah diuraikan diatas, sehingga memungkinkan munculnya temuan-temuan baru (*Novelty*). Merujuk dari WEC yang telah dijelaskan diatas maka diusulkan WEC tipe *Oscillating bodies* sebagai solusi baru. Kelebihan desain dibanding dengan desain sebelumnya dapat dilihat dari beberapa aspek :

- **Konstruksi** : menggunakan perinsip tertanam (*embedded*) dengan tambatan (*tether*) untuk mengadopsi perinsip konstruksi tertanam didasar laut dengan tiang sehingga memiliki unjuk kerja penyerapan yang maksimal
- **Tambatan (*tether*)** : mempunyai tiga fungsi yaitu sebagai mooring line, peredam untuk memaksimalkan penyerapan gaya pelampung point absorber dan penyerap energi dari pelampung struktur apung
- **Lokasi operasi** : cocok diaplikasikan pada area *nearshore* dan *offshore*

Kebaruan (*Novelty*) penelitian ini adalah pada penggunaan model tertanam (*embedded*) dengan tambatan (*tether*) yang berfungsi sebagai *mooring line*, sebagai peredam untuk memaksimalkan penyerapan gaya pelampung point absorber dan sebagai penyerap gaya gelombang dari pelampung struktur apung. Desain WEC ini merupakan pengembangan dari model WEC gambar 1. Desain ini dipilih karena lebih fleksibel dan lebih sederhana dan cocok diterapkan pada area *nearshore* dan *offshore* dengan kondisi energi gelombang densiti rendah

G. Definisi dan Istilah

Dalam penelisan ini terdapat beberapa istilah yang dianggap tidak umum, sehingga perlu dibuat penjelasan seperti pada tabel 1 berikut :

Tabel 1 Definisi dan Istilah

No.	Istilah	Definisi
1	<i>Amplitudo gelombang</i>	Amplitudo adalah jarak atau simpangan terjauh dari titik kesetimbangan dalam gelombang sinusoide.
2	<i>Buoy</i>	Pelampung
3	<i>Embedded</i>	Tertancap/tertanam
4	<i>Fixed structure</i>	Struktur yang dibangun tetap di dasar laut
5	<i>Floating</i>	Mengambang/Terapung
6	Frekuensi gelombang	Banyaknya getaran yang terjadi dalam kurun waktu satu detik
7	<i>Heave</i>	Gerak osilasi gelombang arah vertikal
8	<i>Oscillating water column</i>	WEC yang menggunakan gerakan osilasi gelombang yang menekan udara pada suatu ruang kolom yang telah didesain khusus selanjutnya dipaksa keluar melalui pemutar generator
9	<i>Oscillating bodies</i>	WEC ini dapat berupa satu benda yang bergerak relatif terhadap dasar laut atau gerakan relatif benda dengan benda yang lainnya.

No.	Istilah	Definisi
10	<i>Overtopping</i>	Konverter energi gelombang terminator yang konstruksinya dirancang khusus sehingga air gelombang yang menabrak bidang miring/lerengnya disalurkan masuk ke reservoir. Energi dihasilkan dari air dari reservoir untuk memutar turbin tekanan rendah.
11	<i>Fixed structure</i>	Struktur yang dibangun tetap di dasar laut
12	<i>Floating</i>	Mengambang/Terapung
13	Massa-inersia	Ukuran kemalasan suatu benda untuk mengubah keadaan gerak translasi nya (karena pengaruh gaya)
14	<i>Penyerapan energiBuoy</i>	Proses penyerapan energi laut oleh pelampung Pelampung
15	<i>Point absorber buoys</i>	Penyerapan energi gelombang yang terpusat pada pelampung
16	Putaran satu arah	Putaran suatu komponen yang tidak tergantung dari sumber arah penggeraknya (CW atau CCW)
17	Putaran dua arah	Putaran suatu komponen yang tergantung dari sumber arah penggeraknya (CW atau CCW)
18	Propagasi gelombang	Perambatan gelombang pada media perambatan
19	<i>Tether</i>	Menambatkan

H. Sistematika Penulisan

Bab I Pendahuluan, terdiri dari (1) Latar belakang menjelaskan tentang : (i) Pentingnya peranan energi dalam semua aspek kegiatan manusia, keuntungan dan kerugian menggunakan energi dan bahan dasar fosil dan energi dari sumber terbarukan serta menjelaskan prinsip-prinsip kerja WEC hasil penelitian terdahulu, semua aspek tersebut dijadikan dasar untuk merumuskan masalah, menetapkan tujuan dan menentukan batasan-batasan yang dianggap perlu untuk memfokuskan penelitian; (ii) rumusan masalah memuat pertanyaan-pertanyaan tentang konsep-konsep WEC yang akan dikembangkan; (iii) tujuan dan kegunaan penelitian memuat tentang sasaran yang akan menjadi *output* dan manfaat WEC dari hasil penelitian yang dilakukan.

Bab II Tinjauan Pustaka, membahas tentang teori-teori atau hasil penelitian tentang gelombang laut dan WEC yang relevan dengan kajian yang akan diteliti, dalam penelitian ini di fokuskan pada : (i) Proses Terbentuknya Gelombang Laut; (ii) Power dan Energi Gelombang; (iii) Kondisi Resonansi ; (iv) Efisiensi Penyerapan gaya oleh Pelampung dan Rasio Redaman Massa (RRM)

Bab III Metode Penelitian, berisi metode penelitian yang digunakan berkisar tentang: (i) Lokasi penelitian; (ii) data-data yang dibutuhkan; (iii) teknik analisa data; (iv) Variasi pengujian WEC; (v) Tahapan/langkah-

langkah penelitian; (vi) setting proses eksperimen dan (vii) Penetapan setting parameter pengujian WEC.

Bab IV Hasil dan Pembahasan, bab ini berisi data dan temuan yang diperoleh melalui prosedur yang telah diuraikan sebelumnya tentang : (i) Data WEC yang disajikan sesuai dengan tujuan dan pertanyaan penelitian dan analisa data. Hasil analisa data yang merupakan temuan penelitian ditampilkan dalam bentuk grafik dan kecenderungan; (ii) keterkaitan penelitian yang dilakukan dengan teori/temuan penelitian

Bab V Penutup, bab ini berisikan tentang : (i) pernyataan singkat dan tepat mengenai WEC yang diteliti yang dijabarkan dari hasil penelitian dan pembahasan data hasil eksperimen yang merupakan tujuan penelitian dan (ii) saran sebagai informasi bagi para peneliti yang akan melanjutkan atau mengembangkan penelitian WEC ini.

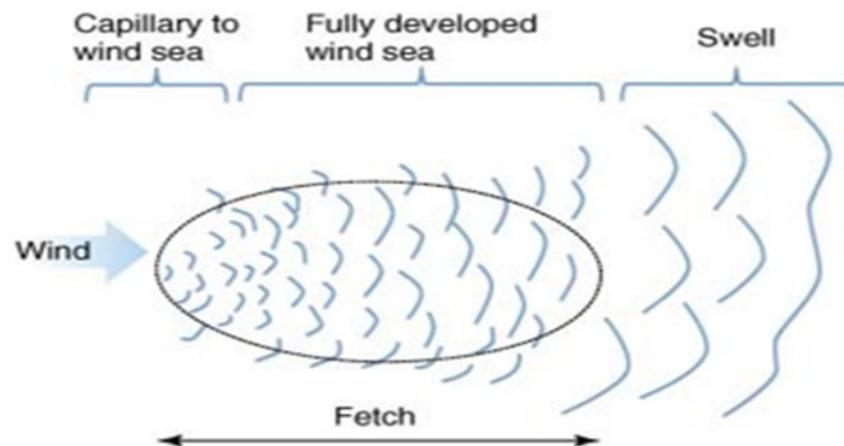
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Proses Terbentuknya Gelombang Laut

Gelombang yang paling umum adalah gelombang angin laut dan selanjutnya mengembang seperti terlihat pada Gambar 3. Karena panjang gelombang lebih dari 1,5 m dengan periode gelombang lebih dari 1 detik, tegangan permukaan akan diabaikan, dan gravitasi tetap menjadi satu-satunya pemulihan mekanisme. Dalam hal ini gelombang tersebut dinamakan gelombang gravitasi. Gelombang gravitasi memiliki periode sekitar 1 detik, gelombang maksimum dekatar periode ke 25-an dengan panjang gelombang sekitar 1,5m hingga 900m. Gelombang ini merupakan efek langsung dari angin lokal menyebabkan sejumlah besar elemen dengan berbagai periode gelombang, perambatan, arah dan fase akan terjadi. Salah satu gelombang yang dihasilkan dengan pola gelombang yang tidak beraturan dinamakan *Wind Sea*. Gelombang angin laut memiliki panjang gelombang 22m sampai 150m dengan periode gelombang sekitar 10 hingga 12 detik. Ada gelombang lain yang terbentuk yang disebut *Swells*, terbentuk mengembang saat gelombang menjalar ke kedalaman (kedalaman tak terbatas) yang lebih besar dari panjang gelombang, perjalanan gelombang yang lebih pendek lebih lambat dari yang lebih cepat, dan mereka saling mendistribusikan. Gelombang memiliki panjang

gelombang 260 m dengan periode 13 s dan maksimal sekitar 900 m dengan periode waktu sekitar 24 s



Gambar 3 Representasi skematis angin laut dan gelombang besar [31].

1. Gelombang Kapiler

Gelombang dengan periode terpendek, dan yang pertama kali diperhatikan di permukaan laut saat angin mulai bertiup, adalah gelombang kapiler, yang menyerupai cakar kucing merobek permukaan dan halus. Struktur bergelombang umumnya didorong oleh kecepatan angin sepoi-sepoi sekitar 3 m/s (diambil pada ketinggian referensi 10 m dari permukaan air) dan mengasumsikan struktur halus dari riak kecil dengan panjang gelombang kurang dari 1,5 cm dan periode kurang dari 0,1 s. Dinamika gelombang kapiler didominasi oleh tegangan permukaan, yang memaksa kecepatan kelompok (kecepatan merambat energi) menjadi 1,5 kali lebih besar dari kecepatan fase. Saat ombak terus berkembang di bawah pengaruh angin, bagaimanapun, awalnya kecil riak berkembang menjadi

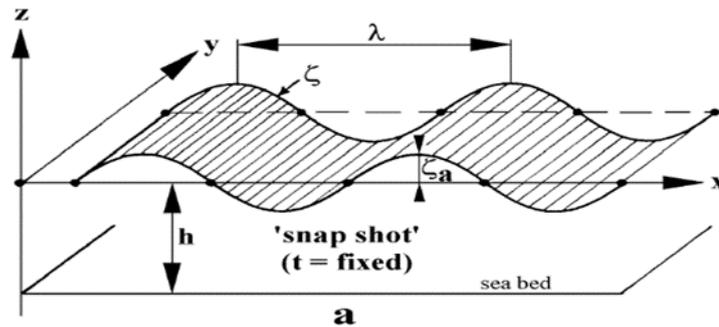
gelombang yang lebih panjang. Untuk panjang gelombang sekitar 1,7 cm (atau periode gelombang sekitar 0,33 s), gravitasi menghilangkan efek kapiler. Pada tahap pertumbuhan gelombang, kelompok gelombang dan gelombang fase merambat dengan kecepatan yang sama. Tepat di ambang batas, efek gravitasi mendominasi dinamika gelombang, sedangkan tegangan permukaan hanya memainkan peran sekunder. Hasilnya osilasi biasanya diklasifikasikan sebagai gelombang *ultragravity*

2. Gelombang Gravitasi : Angin Laut dan Gelombang Besar

Hembusan angin yang konsisten di atas tarikan yang substansial (yaitu, jarak di mana angin bertiup) memaksa gelombang menjadi lebih panjang dari panjang gelombang ambang 1,7 cm. Sebagai panjang gelombang tumbuh lebih dari 1,5 m (yaitu, periode gelombang menjadi lebih besar dari 1 s), tegangan permukaan menjadi dapat diabaikan dan gravitasi tetap menjadi satu-satunya mekanisme pemulihan. Di bawah keadaan ini, gelombang diklasifikasikan sebagai gelombang gravitasi. Dalam hal ini, perlu disebutkan bahwa gravitasi bekerja dispersi gelombang dengan menginduksi fase gelombang untuk merambat lebih cepat dari kelompok gelombang dan dengan demikian membalikkan efek permukaan ketegangan. Secara umum, gelombang gravitasi mengasumsikan periode mulai dari minimal sekitar 1 detik hingga maksimal sekitar 25 detik (yaitu, panjang gelombang bervariasi secara kasar 1,5 dan 900 m). Di bawah pengaruh langsung angin lokal, sejumlah besar komponen dengan periode gelombang yang berbeda, arah propagasi dan fase dihasilkan. Gelombang

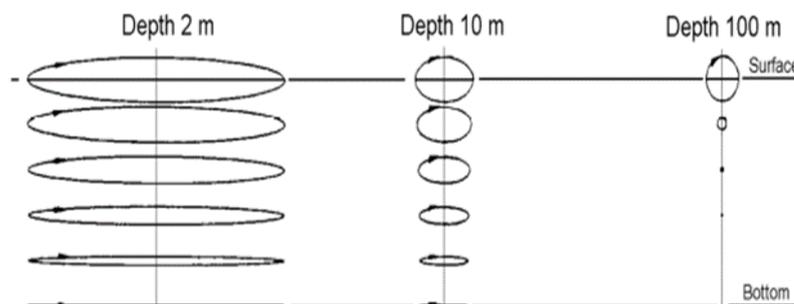
yang dihasilkan medan adalah interaksi dari semua komponen ini, yang menghasilkan pola tidak menentu (tidak teratur) yang biasanya dikenal sebagai gelombang angin laut. Meskipun gelombang yang dihasilkan angin memiliki rentang periode yang luas, komponen dominan angin laut masih relatif pendek. Selama kondisi badai yang parah, misalnya, periode gelombang meningkat hingga maksimum kira-kira 10–12 detik (atau panjang gelombang 150–220 m). Tinggi gelombang, bagaimanapun, tumbuh secara substansial, mempertajam profil gelombang. Hal ini meningkatkan kecepatan yang diinduksi gelombang pada dan di bawah permukaan air, meningkatkan beban pada struktur laut dan berkontribusi pada pencampuran laut bagian atas dengan menyebabkan *turbulensi* langsung ke seluruh kedalaman yang sebanding dengan panjang gelombang [31]

Gelombang yang sehari-hari terjadi dan diperhitungkan dalam bidang teknik pantai adalah gelombang angin dan pasang-surut. Gelombang merupakan bentuk kurva atau grafik sinusoidal. Proses ini terjadi akibat adanya gaya-gaya alam yang bekerja di laut seperti tekanan atau tekanan dari atmosfer (khusus melalui angin), gempa bumi, gaya gravitasi bumi dan benda-benda angkasa (bulan dan matahari), gaya *coriolis* (akibat rotasi bumi), dan tegangan permukaan. Gelombang yang sering terjadi di laut dan cukup penting adalah gelombang angin. Angin di atas lautan mentransfer energinya ke perairan, menyebabkan riak-riak, bukit, hingga kemudian berubah menjadi gelombang [31]



Gambar 4 Sketsa definisi gerakan harmonic gelombang [32]

Gambar 4 menunjukkan suatu profil gelombang yang berada pada sistem koordinat x-y. Gelombang merambat pada arah sumbu x. Selama penjalaran gelombang dari laut dalam menuju laut dangkal, orbit partikel mengalami perubahan bentuk. Gambar 4 menunjukkan perubahan dan pergerakan partikel zat cair pada gelombang. Orbit perubahan partikel berbentuk lingkaran pada laut dalam. Di laut transisi dan dangkal, lintasan partikel berbentuk elips. Semakin mendekati dasar laut, bentuk elips orbit partikel semakin pipih, dan sampai di dasar gerak partikel adalah horizontal seperti terlihat pada gambar 5 berikut :



Gambar 5. Bentuk orbital gelombang pada kedalaman air yang berbeda [32]

B. Klasifikasi gelombang

1. Definisi

Gelombang adalah getaran yang merambat gerak gelombang dapat dipandang sebagai perpindahan momentum dari suatu titik di dalam ruang ke titik lain tanpa perpindahan materi.

Rumus dasar gelombang seperti persamaan (1) :

$$v = \frac{\lambda}{T}$$
$$v = f\lambda \quad (1)$$

Dimana : v = kecepatan rambat gelombang

λ = manjang gelombang

T = periode gelombang

Klasifikasi gelombang dalam kenyataannya sangat beragam, ada yang menurut arah rambatnya, medium perambatannya, menurut dimensi penyebaran rambatannya dll. Namun yang akan dibahas pada disertasi ini hanya dua pengklasifikasian gelombang yaitu menurut arah perambatannya dan kebutuhan medium perambatannya.

2. Gelombang longitudinal

Gelombang dengan arah gangguan sejajar dengan arah penjarannya. Contoh gelombang longitudinal adalah gelombang bunyi, gelombang bunyi ini analog dengan pulsa longitudinal dalam suatu pegas vertikal di bawah tegangan dibuat berosilasi ke atas dan ke bawah disebuah ujung, maka sebuah gelombang longitudinal berjalan sepanjang pegas tersebut ,koil –

koil pada pegas tersebut bergetar bolak – balik di dalam arah di dalam mana gangguan berjalan sepanjang pegas[33].

3. Gelombang Transversal

Gelombang transversal adalah gelombang dengan gangguan yang tegak lurus arah penjaran. Misalnya gelombang cahaya dimana gelombang listrik dan gelombang medan magnetnya tegak lurus kepada arah penjarannya[34].

C. Superposisi Gelombang

Pentingnya prinsip superposisi secara fisis adalah bahwa, ditempat dimana prinsip superposisi itu berlaku, maka kita mungkin menganalisa sebuah gerak gelombang yang rumit sebagai gabungan gelombang – gelombang sederhana, seperti yang diperlihatkan oleh ahli matematika *Perancis J. Fourier*. Apa yang kita perlukan untuk membangun bentuk yang paling umum dari gelombang periodik adalah Gelombang – gelombang harmonic sederhana. Fourier memperlihatkan bahwa setiap gerak periodic dari sebuah partikel dapat dinyatakan sebagai sebuah gabungan gerak – gerak harmonic yang sederhana. Misalnya, jika $y(t)$ menyatakan gerakan sebuah sumber gelombang yang mempunyai periode , maka kita dapat menghitung $y(t)$ dengan menggunakan persamaan (2) :

$$y_1 = Z \sin(kx - \omega t - \theta) \quad (2)$$

$$y_2 = Z \sin(kx - \omega t) \quad (3)$$

Sehingga dapat dihitung gelombang gabungan yaitu jumlah persamaan (2) dan (3). Dengan menggunakan prinsip superposisi, diperoleh persamaan (4) :

$$y = y_1 + y_2 = Z \sin(kx - \omega t - \theta)$$

$$y = y_1 + y_2 = Z[\sin(kx - \omega t - \theta) + \sin(kx - \omega t)]$$

$$y = Z[\sin(kx - \omega t - \theta) + \sin(kx - \omega t)] \quad (4)$$

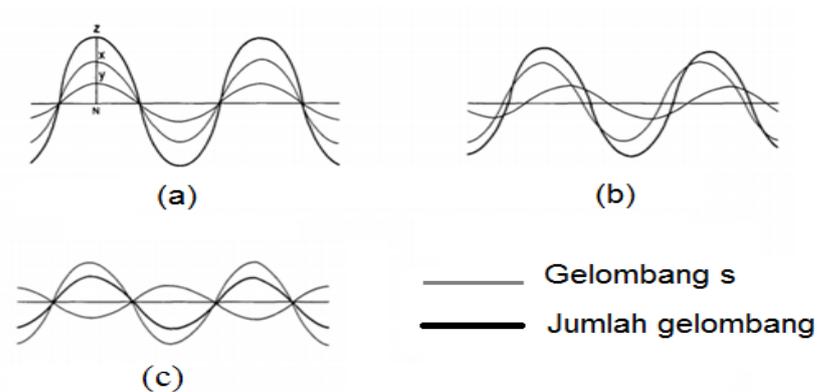
Jika $\sin A + \sin B = 2 \sin \frac{1}{2}(A + B) \cos \frac{1}{2}(A - B)$

Maka :

$$y = Z \left[2 \sin \frac{1}{2}(kx - \omega t - \theta + kx - \omega t) \cos \frac{1}{2}(kx - \omega t - \theta - kx + \omega t) \right]$$

$$y = Z \left[2 \sin \frac{1}{2}(kx - \omega t - \frac{\theta}{2}) \cos \frac{\theta}{2} \right]$$

$$y = \left(2A \cos \frac{\theta}{2} \right) \sin \left(kx - \omega t - \frac{\theta}{2} \right) \quad (5)$$



Gambar 6. Superposisi gelombang

Gambar 6(a) merupakan superposisi dua buah gelombang yang frekuensi dan amplitudonya sama dan hampir sefase menghasilkan sebuah gelombang yang amplitudonya (hampir) dua kali amplitudo masing-masing gelombang asalnya. Gambar (b) Superposisi dua gelombang yang frekuensi dan amplitudonya sama serta berbeda fase kurang dari 45° dan (c) Superposisi dua gelombang yang frekuensi dan amplitudonya sama serta berbeda fase 90° [35]

D. Response Amplitude Operator (RAO)

Response Amplitude Operator (RAO) atau yang disebut juga sebagai transfer function adalah fungsi respon struktur akibat beban gelombang yang mengenai struktur pada frekuensi tertentu. RAO disebut transfer function karena RAO merupakan fungsi untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk amplitudo respon struktur terhadap amplitudo gelombang. Amplitudo respon bisa berupa gerakan, tegangan, maupun getaran. RAO dapat dinyatakan dengan bentuk matematis [36].

$$RAO = \frac{Z_t}{\zeta_{gelombang}} \quad (6)$$

dimana :

Z_t : Respon struktur (m)

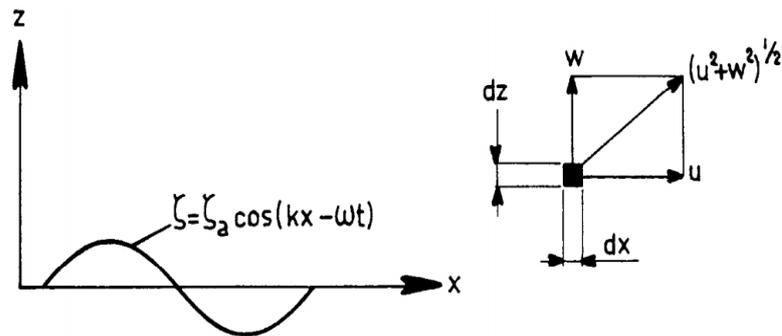
$\zeta_{gelombang}$: Amplitudo gelombang (m)

E. Energi Gelombang

Gelombang yang bergerak selain menimbulkan pergerakan partikel, juga dapat memberikan energi gelombang. Energi gelombang terdiri dari 2 (dua) jenis, yaitu energi kinetik dan energi potensial gelombang seperti yang terlihat pada Gambar 7 dan 8. Energi kinetik terjadi karena adanya gerakan partikel akibat gerak gelombang. Sedangkan energi potensial terjadi karena adanya perubahan muka air akibat gerakan gelombang. Pada teori gelombang amplitudo kecil, jika energi gelombang ditetapkan relatif terhadap muka air diam, dan semua gelombang menjalar dalam arah yang sama, maka akan didapat komponen energi potensial dan energi kinetik yang sama. Untuk mendapatkan persamaan energi gelombang, diasumsikan suatu elemen dengan volume berukuran $dx \times dz \times 1$ dengan berat jenis ρ dan massa dm . Menurut teori gelombang linear, untuk gelombang monokromatik progresif, tinggi gelombang $H = 2\zeta a$ (m) dan frekuensi circular (rad/s), merambat di atas lautan yang tak terhingga. Energi gelombang merupakan gabungan energi kinetik dan energi potensial seperti terlihat pada persamaan (7) dan (8) berikut [37 - 38] :

1. Energi Kinetik

Pada saat gelombang bergerak berosilasi naik-turun ini artinya pergerakan energi (energi kinetik) telah terjadi dipindahkan ke partikel air seperti ilustrasi gambar 7 berikut :



Gambar 7 Proses terbentuknya energi kinetik pada gelombang laut [39]

Penentuan Energi Kinetik

$$E_k = \int_{\text{volume}} \frac{1}{2} (u^2 + w^2) dm$$

$$E_k = \frac{1}{2} \rho \int_0^\lambda \int_{-h}^\zeta (u^2 + w^2) dz \cdot dx$$

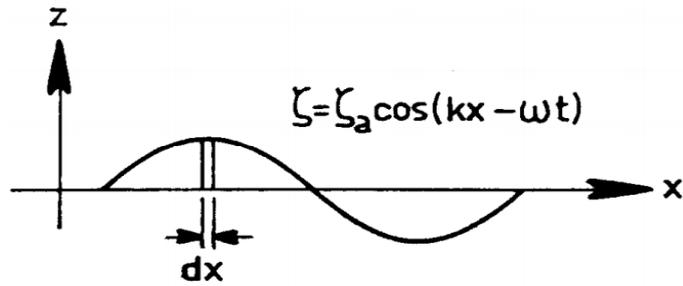
$$E_k = \frac{1}{2} \rho \int_0^\lambda \int_{-h}^0 (u^2 + w^2) dz \cdot dx + \frac{1}{2} \rho \int_0^\lambda \int_0^\zeta (u^2 + w^2) dz \cdot dx \quad (7)$$

Integral kedua sama dengan substitusi persamaan untuk u dan w dengan menggunakan persamaan hubungan dispersi dan beberapa penyederhanaan aljabar sehingga persamaan dapat disederhanakan menjadi :

$$E_k = \frac{1}{4} \rho g \zeta_a^2 \cdot \lambda \text{ (J/m)} \quad (8)$$

2. Energi Potensial

Saat partikel air bergerak bergerak naik ke puncak atau ke bawah ke palung, energi kinetik partikel air mulai berubah menjadi energi potensial, gerakan partikel air dinamai sebagai osilasi gelombang seperti Gambar 8:



Gambar 8 Proses terbentuknya energi potensial pada gelombang laut [39]

$$E_p = \frac{1}{2} \int_0^\lambda \rho g \zeta_a^2 \cdot dx$$

$$E_p = \frac{1}{4} \rho g \zeta_a^2 \cdot \lambda \quad (9)$$

3. Densitas Energi (*Energy density*)

Energy density adalah besarnya kerapatan energi yang dihasilkan gelombang laut tiap satuan luas permukaan. Dalam menghitung besarnya densitas energi gelombang laut dilakukan dengan menjumlahkan besarnya energi kinetik dan energi potensial yang dihasilkan oleh gelombang laut [40]41].

Energi total gelombang per unit luas permukaan adalah:

$$E = E_k + E_p$$

$$E = \frac{1}{4} \rho g \zeta_a^2 \cdot \lambda + \frac{1}{4} \rho g \zeta_a^2 \cdot \lambda$$

$$E = \frac{1}{2} \rho g \zeta_a^2 \cdot \lambda \quad (10)$$

Dengan mengganti nilai ζ_a^2 menjadi nilai H dalam persamaan 10 diatas maka persamaan dapat ditulis menjadi :

$$E = \frac{\rho g H^2 \lambda}{8} \quad (11)$$

di mana ρ adalah massa jenis air (1025 kg/m^3), g adalah percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$) dan H adalah tinggi gelombang (m). Besaran dari energi E (J/m^2) disebut densitas Energi (*Energy density*) gelombang.

4. Kecepatan rambat gelombang laut

Kecepatan berdasarkan kategori pengelompokan, laut dalam, laut transisi atau laut dangkal [39]

Kecepatan individu gelombang:

$$C = \frac{\lambda}{T}, T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (12)$$

Kecepatan grup gelombang

$$C_g = n \cdot C. \quad (13)$$

Nilai n dapat dihitung menggunakan rumus :

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kh}{\cosh(2kh)} \right) \quad (14)$$

5. Daya Gelombang Laut

Daya yang dihasilkan oleh gelombang biasanya dinyatakan dalam daya per satuan panjang gelombang. Besaran ini dapat dihitung, densitas energi gelombang laut dikalikan dengan kecepatan gelombang.

Power total gelombang laut dapat dihitung dengan dengan persamaan berikut [42]:

$$P_w = \frac{1}{32\pi} \rho g^2 H^2 T \quad (15)$$

dimana :

H = Tinggi gelombang (m)

h = kedalam air (m)

$k = \frac{2\pi}{\lambda} =$ bilangan gelombang

$T = \frac{2\pi}{\omega} =$ periode gelombang

ω = frekuensi sudut

λ = panjang gelombang

n = konstanta gelombang ketika $h \rightarrow \sim$ maka $n \rightarrow \frac{1}{2}$

F. Penyerapan Daya Pelampung

Potensi daya yang berpotensi diserap pelampung dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [43] :

$$P = P_w \cdot x_b \text{ (Watt)} \quad (16)$$

Besar power real (P) yang dapat di serap oleh pelampung ketika gelombang menerpa pelampung point absorber dengan lebar segmen yang dilewati sebesar diameter (d) pelampung. Potensi gaya serapan (F_w) pelampung bisa dihitung dari besaran power berdasarkan persamaan :

$$F_w = P \cdot \frac{T}{\lambda} \text{ (N)} \quad (17)$$

Besar penyerapan total secara teori ketika gelombang menerpa pelampung point absorber dapat dihitung dengan dengan memperhitungkan besar berat pelampung dan komponen-komponennya dengan persamaan [44]

$$F_t = F_w + F_b - F_g - F_L \text{ (N)} \quad (18)$$

Dimana :

F_w : gaya gelombang (N)

- F_b : gaya apung (bouyancy force) (N)
 F_g : gaya berat pelampung point absorber (N)
 F_L : gaya berat lengan pelampung point absorber (N)

G. WEC Sistem Heaving (*Oscillating bodies*)

Sistem heaving mentransmisikan energi ke mekanisme *Power Take Off* melalui osilasi vertikal gerakan perangkat, yang bertindak sebagai pembangkit daya. Konfigurasi paling sederhana terdiri dari osilasi vertikal pelampung terhubung ke fondasi tetap. Konfigurasi lainnya adalah sistem multibody. Metode desain yang berbeda telah digunakan untuk meningkatkan kinerja sistem pengangkatan yang berbeda. Konfigurasi sederhana mereka membuatnya menarik untuk digunakan oleh pengembang yang berbeda. Misalnya, perangkat energi gelombang heaving saat ini disesuaikan untuk memenuhi kebutuhan energi lepas pantai seperti komunikasi, minyak dan gas, pengumpulan data kelautan, dan pemantauan. Efisiensi dari berbagai konverter energi gelombang naik-turun yang dilaporkan melalui simulasi, uji eksperimental, dan uji coba laut selama bertahun-tahun ditunjukkan pada Tabel 2. Efisiensi yang dilaporkan adalah dipilih berdasarkan pendekatan komprehensif yang menghasilkan efisiensi. Semua yang dilaporkan efisiensi, baik berdasarkan simulasi, uji model, atau uji coba laut dilakukan dengan data gelombang nyata. Selain itu, untuk perangkat yang diuji di dimodelkan mirip dengan sistem yang ada telah divalidasi. Misalnya, sistem yang dijelaskan dan dimodelkan menurut Perangkat SEACAP WEC, perangkat OPT buoy, dan Wavestar WEC.

Tabel 2 Efisiensi WEC Sistem Heaving (*Oscillating bodies*) [45]

No.	Name/Type	Scale	Wave Energi/m Potensial	Efficiency	Comment
1	Single cylindrical body	Simulation	26 kW test Site)/m (Yeu	(a) 4% (b) 3% (c) 6% (d) 6% (e) 9%	Hydrodynamic efficiency of devices with five different widths
2	Single cylindrical bod	Simulation	40 kW/m (Oregon site)	19%	Hydrodynamic efficiency
3	DEXA WEC	Model scale 1:30 1:30 (width 0.81 m)	26 kW/m (Yeu test Site)	8%	Model was extrapolated to a device of 22 m width. Hydrodynamic efficiency
4	Lifesaver	Simulation and ~1-year sea trial	26 kW/m	12%	Hydrodynamic efficiency
5	Multibody system	Simulation	Various	(a) 10% (b) 15%	Hydrodynamic efficiency
6	Single cylindrical body	Simulation	34 kW/m	16%	Hydrodynamic efficiency
7	Single body	Model tests	16 kW/m	14%	Hydrodynamic efficiency
8	Danish Wave Energy Program System	Model tests	16 kW/m	30%	Hydrodynamic efficiency

No.	Name/Type	Scale	Wave Energiergi Potensial	Efficiency	Comment
9	AquaBuoy	Simulation of prototype sized	* 12 kW/m, ** 21 kW/m *** 26 kW/m **** 15kW/m	* (a) 20% ** (b) 17% *** (c) 14% ****(d) 21%	Hydrodynamic efficiency
10	SeaDog	Simulation of prototype sized	* 12 kW/m, ** 21 kW/m *** 26 kW/m **** 15kW/m	* (a) 24% * (b) 16% *** (c) 16% ****(d) 21%	Hydrodynamic efficiency
11	Wavebob	Simulation of prototype	* 12 kW/m, ** 21 kW/m *** 26 kW/m	* (a) 40% ** (b) 51% *** (c) 46% ****(d) 45%	N/A
12	Two-body floating System	Simulation	* 15 kW/m, ** 22 kW/m *** 27 kW/m **** 37kW/m	* (a) 27% ** (b) 29% *** (c) 36% ****(d) 27%	Hydrodynamic efficiency
13	Floating buoy array	Simulation	15 kW/m	11%	Hydrodynamic efficiency
	Two-body floating buoy	Simulation	31 kW/m	25%	Hydrodynamic efficiency

H. Efisiensi Penyerapan gaya oleh Pelampung

Efisiensi penyerapan gaya (η_a) oleh pelampung dapat dihitung sebagai perbandingan potensial gaya yang dapat diserap F_t dengan serapan gaya real berdasarkan hasil eksperimen (F_a) seperti:

$$\eta_a = \frac{F_a}{F_t} \times 100\% \quad (19)$$

I. Rasio Redaman Massa (RRM)

Rasio redaman massa adalah suatu rasio yang digunakan untuk menvalidasi berat beban redaman yang akan digunakan pada WEC pelampung struktur apung teredam massa-inersia dengan persamaan sebagai berikut :

$$RRM = \frac{m_r}{\rho_a \cdot V_{spa} - w_{spa}} \quad (20)$$

Dimana :

m_r = Massa redaman (Kg)

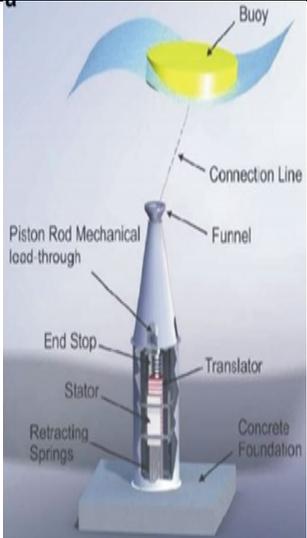
ρ_a = Massa jenis air $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$

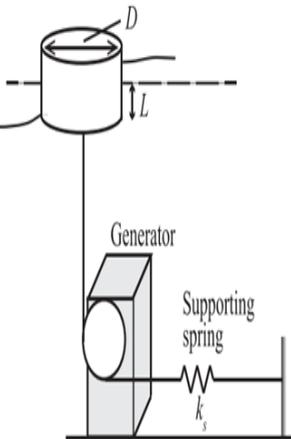
V_{spa} = Volume pelampung bangunan struktur apung (m^3)

w_{spa} = Berat bangunan struktur apung (Kg)

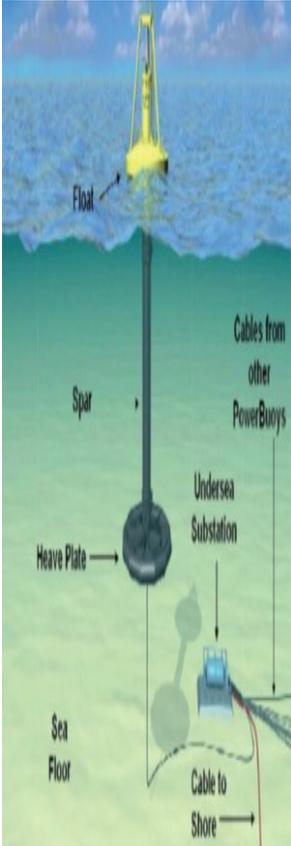
J. Critical review

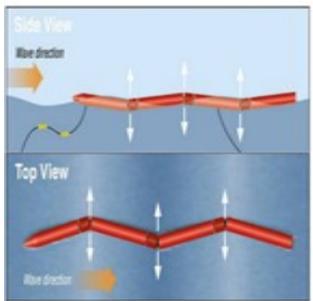
Tabel 3 Critical review

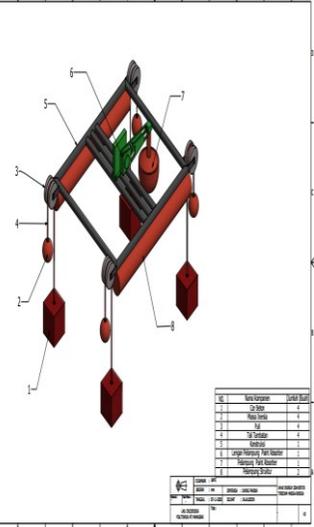
Nama Peneliti	Penelitian WEC	Penempatan di laut	Area Operasi	Metode Penyerapan Energi	Kelebihan dan kekurangan	WEC Hasil
Maria Angeliki Chatzigiannakou dkk. 2019[17]	Ofshore deployments of wave energy converters by Uppsala University, Sweden	Power Take Off dan sistem mekanikal di tempatkan fix didasar laut yang dihubungkan dengan connection line dengan pelampung yang ditempatkan di permukaan laut	nearshore dan offshore	Gerak angkat (heave) pelampung diubah menjadi energi listrik oleh generator linier	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Kelebihan:</i> <ol style="list-style-type: none"> 1. Penyerapan energi dari gerak heave pelampung maksimal 2. Respon terhadap semua arah datangnya gelombang sama • <i>Kekurangan:</i> <ol style="list-style-type: none"> 1. Gerak osilasi pelampung tidak memiliki peluang terjadinya peristiwa superposisi gelombang sehingga tidak efektif digunakan pada area laut yang tergolong energi densiti rendah 2. Sulit dalam perakitan karena Power Take Off dan sistem mekanikal di tempatkan fix didasar laut terlalu berat yaitu 35 – 50 ton 3. Perawatannya rumit karena Power Take Off dan sistem mekanikal di tempatkan didasar laut 	 <p>The diagram illustrates the mechanical components of a wave energy converter. At the top, a yellow buoy is shown floating on the water surface, connected to a blue connection line. Below the buoy is a funnel-shaped structure. The main body of the converter consists of a piston rod, a mechanical load-through, an end stop, a stator, and retractor springs. The entire assembly is mounted on a concrete foundation. A translator is also shown, which is part of the mechanical system that converts the buoy's heave motion into electrical energy.</p>

Nama Peneliti	Penelitian WEC	Penempatan di laut	Area Operasi	Metode Penyerapan Energi	Kelebihan dan kekurangan	WEC Hasil
Ruriko Haraguchi dkk. 2020[18]	Enhanced power absorption of a point absorber wave energy converter using a tuned inertial mass	Power Take Off dan sistem mekanikal di tempatkan fix didasar laut yang dihubungkan dengan connection line dengan pelampung yang ditempatkan di permukaan laut	nearshore dan offshore	Gerak angkat (heave) pelampung diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk gerak rotari kemudian digunakan sebagai penggerak generator rotari untuk menghasilkan listrik	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Kelebihan:</i> <ol style="list-style-type: none"> 1. Penyerapan energi dari gerak heave pelampung maksimal 2. Respon terhadap semua arah datangnya gelombang sama • <i>Kekurangan:</i> <ol style="list-style-type: none"> 1. Gerak osilasi pelampung tidak memiliki peluang terjadinya peristiwa superposisi gelombang sehingga tidak efektif digunakan pada area laut yang tergolong energi densiti rendah 2. Perawatannya rumit karena Power Take Off dan sistem mekanikal di tempatkan didasar laut 	

Nama Peneliti	Penelitian WEC	Penempatan di laut	Area Operasi	Metode Penyerapan Energi	Kelebihan dan kekurangan	WEC Hasil
Rico H. Hansen , dkk. 2013[20]	Discrete Displacement Hydraulic Power Take-Off System for the Wavestar Wave Energy Converter	Power Take Off dan sistem mekanikal di tempatkan diatas permukaan laut, pelampung berbentuk belahan setengah terendam yang dipasang di lengan terpisah. Setiap lengan dipasang dan secara rotasi didukung oleh platform umum. Penempatan dengan cara tumpuan sejumlah tiang. di dasar laut	nearshore	Gerak angkat (heave) digunakan menggerakkan memompa hidroulik untuk menghasilkan fluida bertekanan kemudian fluida tersebut digunakan untuk memutar turbin yang terhubung dengan generator rotari untuk menghasilkan listrik	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Kelebihan:</i> <ol style="list-style-type: none"> 1. Penyerapan energi dari gerak heave pelampung maksimal karena mempunyai banyak pelampung 2. Perawatannya mudah karena Power Take Off dan sistem mekanikal di tempatkan diatas permukaan laut • <i>Kekurangan:</i> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak tepat dioperasikan di laut dalam 2. Gerak osilasi pelampung tidak memiliki peluang terjadinya peristiwa superposisi gelombang sehingga tidak efektif digunakan pada area laut yang tergolong energi densiti rendah 3. Respon gerak heave terhadap semua arah datangnya gelombang tidak sama 	

Nama Peneliti	Penelitian WEC	Penempatan di laut	Area Operasi	Metode Penyerapan Energi	Kelebihan dan kekurangan	WEC Hasil
Shangyan Zou, dkk. 2016[21]	Optimal Control Of Wave Energy Converters	Teknologi tenaga gelombang yang terdiri dari dua silinder dengan satu komponen silinder yang relatif tidak bergerak sebagai ujung bawah ditempatkan terendam dalam laut dan komponen silinder kedua dengan gerakan yang digerakkan oleh gerakan gelombang sebagai pelampung apung pada permukaan laut ujung atas dan ditempatkan dilaut dengan tambat mooring line memakai sistem tambat tiga titik	nearshore dan offshore	Gerakan relatif dari dua komponen silinder yang ditimbulkan oleh gerak <i>heave</i> gelombang digunakan untuk memutar generator elektromekanis atau konverter energi hidrolik. Pelampung 150 kW memiliki diameter 11 m dan tinggi 44 m, dengan panjang kira-kira 10m dari unit yang naik di atas permukaan laut.,	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Kelebihan:</i> <ol style="list-style-type: none"> 1. Gerak osilasi pelampung dimaksimalkan mencapai terjadinya peristiwa superposisi gelombang antara dengan satu komponen silinder ujung bawah dan komponen silinder ujung atas sehingga efektif digunakan pada area laut yang tergolong energi densiti rendah 2. Respon terhadap semua arah datangnya gelombang sama • <i>Kekurangan:</i> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mooring line yang digunakan dapat meredam gerak <i>heave</i> pelampung dan energi redaman oleh mooring lain tidak serap menjadi energi terpakai 2. Sulit dalam perakitan karena memiliki ukuran yang besar dan tinggi 3. Mooring line yang digunakan dapat meredam gerak <i>heave</i> pelampung dan energi redaman oleh mooring lain tidak serap menjadi energi terpakai 	 <p>The diagram illustrates the components of a wave energy converter. At the top, a yellow float is shown on the water surface. Below it is a vertical spar. Further down is a large circular heave plate. Below the heave plate is an underwater substation. Cables connect the substation to the sea floor and to the shore. Labels include: Float, Spar, Heave Plate, Undersea Substation, Sea Floor, Cable to Shore, and Cables from other PowerBuoys.</p>

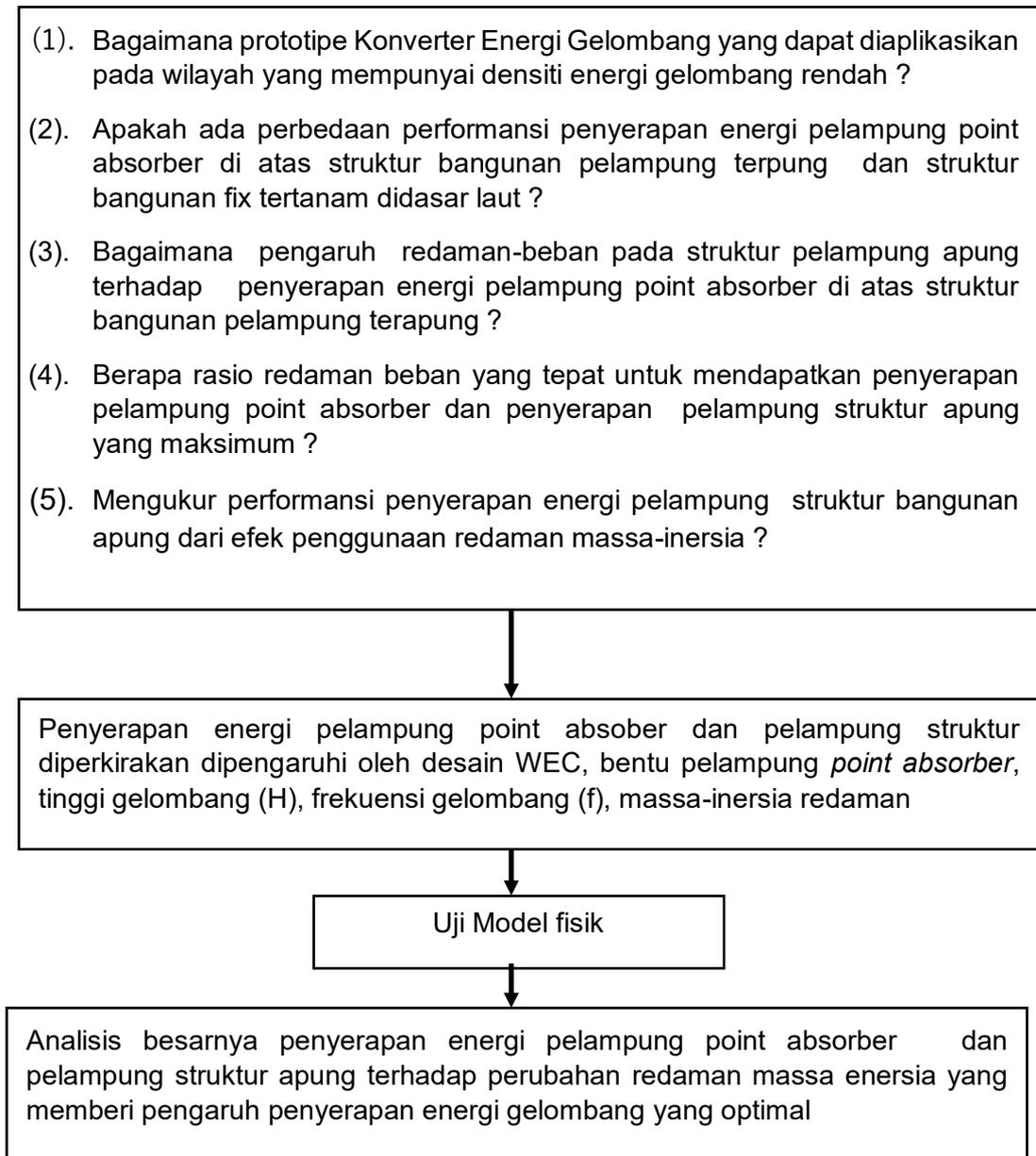
Nama Peneliti	Penelitian WEC	Penempatan di laut	Area Operasi	Metode Penyerapan Energi	Kelebihan dan kekurangan	WEC Hasil
Ricardo Gobato dkk. 2015[23]	Study Pelamis system to capture energy of ocean wave	Pelamis adalah pelampung besar dengan panjang sekitar 130 meter dan diameter 3,5 meter yang mengambang secara horizontal dan melintang. ke ombak di permukaan laut dan ditempatkan dilaut dengan tambat mooring line.	nearshore dan offshore	Pelampung Pelamis bergerak mengikuti arus gelombang, dan penggerak ini digunakan untuk memompa oli untuk memutar generator yang ada di bagian belakang Pelamis, sehingga energi listrik	<ul style="list-style-type: none"> • Kelebihan: <ol style="list-style-type: none"> 1. Penyerapan energi dari gerak heave pelampung maksimal 2. Putaran generator lebih stabil karena tidak menggunakan gerak heave pelampung secara langsung untuk memutar generator. Generator diputar oleh turbin hidroulik • Kekurangan: <ol style="list-style-type: none"> 1. Respon gerak heave terhadap semua arah datangnya gelombang tidak sama 2. Mooring line yang digunakan dapat meredam gerak heave pelampung dan energi redaman oleh mooring lain tidak serap menjadi energi terpakai 	 

Nama Peneliti	Penelitian WEC	Penempatan di laut	Area Operasi	Metode Penyerapan Energi	Kelebihan dan kekurangan	WEC Hasil																											
Jufri, 2020 (Studi yang diusulkan)	Studi Eksperimental Penyerapan Energi Pelampung Bentuk Peluru dengan Rumah Terapung Redaman-Beban pada Konverter Energi Gelombang	Pelampung point absorber dan pelampung struktur apung (rumah) ditempatkan secara bersama-sama diatas permukaan laut yang ditambatkan pada dasar laut dengan sistem tambat 4 titik oleh tali tambat.	nearshore dan offshore	<p>Penyerapan energi terbagi 2 yaitu :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Penyerapan energi oleh pelampung point absorber bentuk peluru (7) : <p>Gerakan relatif dari pelampung point absorber bentuk peluru (7) dan pelampung struktur apung (rumah) (8) yang ditimbulkan oleh gerak heave gelombang digunakan untuk</p>	<p>• Kelebihan:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Gerakan relatif dari pelampung point absorber bentuk peluru (7) dan pelampung struktur apung (rumah) (8) bisa dioptimalkan untuk mendapatkan pencapaian superposisi gelombang sehingga gerak heave dapat ditingkatkan. Pencapaian ini memungkinkan WEC ini dapat diterapkan pada wilayah/area laut yang karakteristik tinggi gellombangnya termasuk kategori rendah (densiti energi rendah) 2. Pemberian redaman massa-inersia pada pelampung struktur terapung memberi dua keuntungan: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Redaman massa-inersia menyebabkan terjadi superposisi golmbang antara Pelampung point absorber dan pelampung struktur apung (rumah) ✓ Redaman massa-inersia menyerap energi gerak heave pelampung struktur apung dari puli/rolle menjadi energi mekanis melalui ke-empat puli/roller yang terhubung pada empat tambatan. 	 <table border="1" data-bbox="1966 743 2074 831"> <thead> <tr> <th>No</th> <th>Uraian</th> <th>Jumlah</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Pulley</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Roller</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Tali</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Struktur</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Pelampung Peluru</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Rumah</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Pelampung Peluru</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Pelampung Peluru</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	No	Uraian	Jumlah	1	Pulley	4	2	Roller	4	3	Tali	4	4	Struktur	1	5	Pelampung Peluru	1	6	Rumah	1	7	Pelampung Peluru	1	8	Pelampung Peluru	1
No	Uraian	Jumlah																															
1	Pulley	4																															
2	Roller	4																															
3	Tali	4																															
4	Struktur	1																															
5	Pelampung Peluru	1																															
6	Rumah	1																															
7	Pelampung Peluru	1																															
8	Pelampung Peluru	1																															

				<p>memutar generator elektromekanis atau konverter energi hidrolik.</p> <p>2. Penyerapan energi oleh pelampung struktur apung (3)</p> <p>Gerakan heave dari pelampung struktur apung (3) energinya akan diserap oleh puli/rolle menjadi energi mekanis pada melalui ke-empat puli/roller yang terhubung pada empat tambatan.</p>	<p>3. Tambatan mempunyai tiga fungsi yaitu :</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Menjaga agar WEC tetap aman berada ditempat ✓ Meredam gerakan heave pelampung struktur apung agar tercapai superposisi gelombang antara pelampung point absorber dan pelampung struktur apung ✓ Menyerap energi gerak heave dari pelampung pelampung struktur apung menjadi energi mekanis. <p>• Kekurangan:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Desain masih tahap pengembangan awal 2. Operasi WEC pada gelombang frekuensi rendah (0.5 Hz) sulit didapatkan kondisi superposisi gelombang. 3. Desain hanya diperuntukkan untuk wilayah laut kategori energi densiti rendah 	
--	--	--	--	--	--	--

K. Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka konseptual penelitian diilustrasikan seperti gambar 9:



Gambar 9 Kerangka Konseptual