

SKRIPSI

**ANALISIS PRESTASI PROTOTIPE PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA GELOMBANG LAUT SISTEM *OSCILLATING*
WATER COLUMN (PLTG-OWC)**

OLEH

HANS HEZRON DUKKU

D211 15 019



**DEPARTEMEN MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2020



SKRIPSI

**ANALISIS PRESTASI PROTOTIPE PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA GELOMBANG LAUT SISTEM *OSCILLATING*
WATER COLUMN (PLTG-OWC)**

OLEH

HANS HEZRON DUKKU

D211 15 019

**Merupakan Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Unuversitas Hasanuddin**

DEPARTEMEN MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2020



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Hans Hezron Dukku
NIM : D211 15 019
Jurusan / Program Studi : Teknik Mesin / Mesin

Dengan ini menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi yang berjudul;

ANALISIS PRESTASI PROTOTIPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT SISTEM *OSCILLATING WATER COLUMN* (PLTG- OWC)

adalah karya ilmiah saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya di dalam naskah skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila di kemudian hari ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut dan diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Makassar, 23 Juli 2020



Hans Hezron Dukku



LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan Mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin pada Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL:

ANALISIS PRESTASI PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT SISTEM OSCILLATING WATER COLUMN (PLTG-OWC)

HANS HEZRON DUKKU

D211 15 019

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Prof. Dr. Ing. Ir. Wahyu Haryadi Piarah, MSME

NIP 196003021986091001

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Zuryati Djafar, MT.

NIP 196803011997022001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Dr. Ir. Eng. Jalaluddin, ST., MT.

NIP 197208252000031001



Abstrak

Energi gelombang laut merupakan energi terbarukan yang ramah lingkungan sebagai sumber energi pembangkit listrik. Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dari gelombang laut adalah dengan menggunakan sistem Oscillating Water Column (OWC). Sistem ini memanfaatkan gerak naik turunnya air dalam kolom udara untuk memutar turbin. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa besar daya listrik yang dihasilkan oleh prototipe dengan 4 variasi kemiringan dinding belakang prototipe dan 3 variasi tinggi gelombang dengan periode gelombang 2.4 detik. Dari 4 variasi kemiringan dinding belakang, diperoleh nilai optimal dalam penelitian ini adalah $\theta 15^\circ$ dimana dengan tinggi gelombang 0.066 meter, 0.1 meter dan 0.133 meter mampu menghasilkan daya listrik masing-masing sebesar 0.25 Watt, 0.68 Watt dan 1.26 Watt. Dari hasil penelitian ini, juga diperoleh efisiensi terbesar untuk kolom air adalah 1.30 % dan efisiensi total prototipe PLTG-OWC adalah 0.56 %.

Kata kunci : Gelombang Laut, *Oscillating Water Column*, Daya Listrik.

Abstract

Sea wave energy is a renewable energy that is environmentally friendly as a source of electricity generation. One technology that can be used to produce electrical energy from ocean waves is to use the Oscillating Water Column (OWC) system. This system utilizes the ups and downs of water in the air column to rotate the turbine. The purpose of this study is to find out how much electrical power is generated by the prototype with 4 variations of the back wall slope of the prototype and 3 variations in wave height with a wave period of 2.4 seconds. From the 4 variations of the back wall slope, the optimal value obtained in this study is $\theta 15^\circ$ where with a wave height of 0.066 meters, 0.1 meters and 0.133 meters is capable of producing electrical power respectively 0.25 Watt, 0.68 Watt and 1.26 Watt.

From the results of this study, also obtained the greatest efficiency for the water column is 1.30% and the total efficiency of the prototype PLTG-OWC is 0.56%.

Keywords: Ocean Waves, Oscillating Water Column, Electric Power.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas limpah berkat, rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “ANALISIS PRESTASI PROTOTIPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT SISTEM OSCILLATING WATER COLUMN (PLTG – OWC)”. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang tua dan saudara-saudara saya (penulis) yang selalu memberikan motivasi, dukungan dan doanya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

Selama proses pengerjaan skripsi ini, penulis telah mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak, untuk itu pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Yance Tasik Allo dan ibunda Eyodia Simpan serta kakak saya Elda, Adel, dan adik saya Cindy, Mawar, Jessica atas segala doa, dukungan dan kasih sayangnya yang tak terkira.
2. Bapak Prof. Dr. Ing. Ir. Wahyu Haryadi Piarah, MSME., selaku pembimbing pertama atas segala bimbingan, arahan, masukan, dan bantuannya selama penyusunan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Ir. Zuryati Djafar, MT., selaku pembimbing kedua atas segala bimbingan, arahan, masukan, dan bantuannya selama penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST., MT., selaku sekretaris Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

...k dan Ibu dosen serta Staff Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik
...ersitas Hasanuddin.



7. Laode Rahman selaku teman penelitian ini dan juga kepada Oktavianus Heru, Elvys, Tarmen, Reka, Titi, Gaby dan Widya atas segala dukungan dan bantuannya selama penyusunan skripsi ini.
8. Teman-teman seperjuangan, HYDRAULIC 2015 yang telah memberi pengalaman tentang persahabatan dan persaudaraan selama penulis menuntut ilmu di Jurusan Teknik Mesin.
9. Teman-teman KMKO Mesin 2015, terima kasih untuk segala hal yang telah kita lewati bersama dan telah menjadi keluarga baru dalam kehidupan penulis.
10. Teman-teman KMKO TEKNIK, khususnya IMPACTED GENERATION 2015 yang selalu mendukung dalam doa, tenaga, maupun materi selama proses penelitian.
11. Seluruh keluarga, Senior, Junior dan teman-teman dalam komunitas maupun organisasi yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, terima kasih telah hadir memberikan cerita dalam kehidupan penulis sebagai mahasiswa.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan untuk itu, masukan dan kritik yang sifatnya membangun kiranya dapat membantu pengembangan penelitian ini selanjutnya. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua khususnya dalam ilmu konversi energi. Terima Kasih.

Makassar, 23 Juli 2020

Penulis

Hans Hezron Dukku



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
NOMENKLATUR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Gelombang Laut.....	4
2.2 Teori Gelombang.....	5
2.2.1 Teori Gelombang Airy.....	5
2.2.2 Refleksi Gelombang.....	7
2.3 Potensi Konversi Energi Gelombang Laut Menjadi Energi Listrik.....	8
2.4 Teknik Konversi Energi Gelombang Laut Menjadi Energi Listrik.....	9
2.5 <i>Oscillating Water Column</i> (OWC).....	10
2.6 Komponen Utama PLTG Sistem OWC.....	12
a. Kolektor.....	12
b. Turbin Angin.....	12
c. Generator.....	13



2.7 Persamaan Yang Digunakan.....	14
A. Analisa Energi Gelombang.....	14
B. Analisa Perhitungan Daya Angin.....	16
C. Analisis Perhitungan Daya Listrik.....	17
 BAB III METODE PENELITIAN.....	 18
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	18
3.2 Jenis Penelitian.....	18
3.3 Metode Penelitian.....	18
3.4 Persiapan Komponen Peralatan Pembangkit Pada Pembangkit Energi Gelombang Laut.....	19
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	23
3.6 Skema Pengambilan Data.....	24
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	 24
4.1 Hasil Penelitian.....	25
4.2 Perhitungan Daya Gelombang.....	31
4.3 Perhitungan Daya Angin.....	32
4.4 Perhitungan Daya Listrik.....	33
4.5 Perhitungan Efisiensi.....	34
4.6 Grafik Hasil Perhitungan.....	36
4.6.1 Grafik Hubungan Antara Kecepatan Udara Dengan Putaran Turbin.....	36
4.6.2 Grafik Hubungan Antara Putaran Turbin Dengan Daya Listrik.....	37
4.6.3 Grafik Hubungan Antara Daya Gelombang Dengan Daya Angin.....	38



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	39
5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA.....	40
LAMPIRAN.....	42



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Koefisien Refleksi.....	7
Tabel 2 Data Yang Digunakan.....	24
Tabel 3 Data Hasil Pengukuran Kecepatan Udara.....	25
Tabel 4 Data Hasil Pengukuran Putaran Turbin.....	26
Tabel 5 Data Hasil Pengukuran Tegangan Listrik.....	28
Tabel 6 Data Hasil Pengukuran Arus Listrik.....	29



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Pergerakan air laut.....	4
Gambar 2 Sketsa Definisi Gelombang	6
Gambar 3 Sketsa OWC Tampak Depan.....	11
Gambar 4 Sketsa turbin Wells.....	13
Gambar 5 Tangki Kolam Uji Gelombang.....	19
Gambar 6 Pembangkit Gelombang.....	20
Gambar 7 Jendela Intip (<i>Peeping Window</i>)	21
Gambar 8 Peredam Gelombang.....	21
Gambar 9 Pengukur Gelombang.....	22
Gambar 10 Grafik Kecepatan Udara.....	26
Gambar 11 Grafik Kecepatan Putaran Turbin.....	28
Gambar 12 Grafik Tegangan Listrik.....	29
Gambar 13 Grafik Arus Listrik.....	30
Gambar 14 Grafik Daya Gelombang.....	32
Gambar 15 Grafik Daya Angin.....	33
Gambar 16 Grafik Hubungan Antara Daya Listrik Dengan Tinggi Gelombang.....	34
Gambar 17 Grafik Efisiensi Kolom Air.....	35
Gambar 18 Grafik Efisiensi Total.....	35
Gambar 19 Grafik Hubungan Antara Putaran Turbin Dengan Kecepatan Udara.....	36
Gambar 20 Grafik Hubungan Antara Putaran Turbin Dengan Daya Listrik.....	37
Gambar 21 Grafik Hubungan Antara Daya Gelombang Dengan Daya Angin.....	38



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Hasil Perhitungan Daya Gelombang.....	42
Lampiran 2 : Hasil Perhitungan Daya Angin.....	43
Lampiran 3 : Hasil Perhitungan Daya Listrik.....	44
Lampiran 4 : Hasil Perhitungan Efisiensi Prototipe OWC.....	45
Lampiran 5 : Gambar Prototipe PLTG OWC.....	46
Lampiran 6 : Skema Pengambilan Data.....	47
Lampiran 7 : Dokumentasi Penelitian.....	48



NOMENKLATUR

Notasi	Keterangan	Satuan
E_p	Energi Potensial	Joule
E_k	Energi Kinetik	Joule
E_M	Energi Mekanik	Joule
P	Daya	Watt
ρ	Masa Jenis Air Laut	Kg/m^3
w	Lebar Kolom Masuk Air	Meter
g	Garafitasi Bumi	m/s^2
A	Amplitudo	Meter
λ	Panjang Gelombang	Meter
T	Periode Gelombang	Detik
H	Tinggi Gelombang	Meter
V_u	Kecepatan Udara	m/s
ρ	Kerapatan Udara	Kg/m^3
A	Luas Penampang	m^2
t	Waktu	Detik
V	Tegangan Listrik	Volt
I	Kuat Arus Listrik	Ampere
θ	Kemiringan	Derajat



Abstrak

Energi gelombang laut merupakan energi terbarukan yang ramah lingkungan sebagai sumber energi pembangkit listrik. Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dari gelombang laut adalah dengan menggunakan sistem Oscillating Water Column (OWC). Sistem ini memanfaatkan gerak naik turunnya air dalam kolom udara untuk memutar turbin. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa besar daya listrik yang dihasilkan oleh prototipe dengan 4 variasi kemiringan dinding belakang prototipe dan 3 variasi tinggi gelombang dengan periode gelombang 2.4 detik. Dari 4 variasi kemiringan dinding belakang, diperoleh nilai optimal dalam penelitian ini adalah θ 15° dimana dengan tinggi gelombang 0.066 meter, 0.1 meter dan 0.133 meter mampu menghasilkan daya listrik masing-masing sebesar 0.25 Watt, 0.68 Watt dan 1.26 Watt. Dari hasil penelitian ini, juga diperoleh efisiensi terbesar untuk kolom air adalah 1.30 % dan efisiensi total prototipe PLTG-OWC adalah 0.56 %.

Kata kunci : Gelombang Laut, *Oscillating Water Column*, Daya Listrik.

Abstract

Sea wave energy is a renewable energy that is environmentally friendly as a source of electricity generation. One technology that can be used to produce electrical energy from ocean waves is to use the Oscillating Water Column (OWC) system. This system utilizes the ups and downs of water in the air column to rotate the turbine. The purpose of this study is to find out how much electrical power is generated by the prototype with 4 variations of the back wall slope of the prototype and 3 variations in wave height with a wave period of 2.4 seconds. From the 4 variations of the back wall slope, the optimal value obtained in this study is θ 15° where with a wave height of 0.066 meters, 0.1 meters and 0.133 meters is capable of producing electrical power respectively 0.25 Watt, 0.68 Watt and 1.26 Watt.

From the results of this study, also obtained the greatest efficiency for the water column is 1.30% and the total efficiency of the prototype PLTG-OWC is 0.56%.

Keywords: Ocean Waves, Oscillating Water Column, Electric Power.

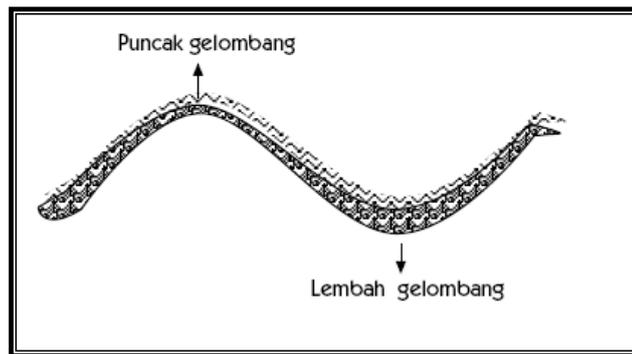


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang Laut

Gelombang laut merupakan energi dalam transisi, merupakan energi yang terbawa oleh sifat aslinya. Prinsip dasar terjadinya gelombang laut adalah sebagai berikut (Waldopo, 2008): *“Jika ada dua massa benda yang berbeda kerapatannya (densitasnya) bergesekan satu sama lain, maka pada bidang gerakannya akan terbentuk gelombang”*. Gelombang merupakan gerakan naik turunnya air laut.



Gambar 1. Pergerakan air laut (Waldopo, 2008)

Gelombang laut dapat disebabkan oleh angin, daya tarikan bulan-bumi-matahari, gempa di dasar laut, ataupun gelombang yang disebabkan oleh gerakan kapal. Namun, sumber utama terjadinya gelombang laut adalah angin. Arah dan kecepatan angin sangat mempengaruhi besaran gelombang laut yang dihasilkan. Semakin besar angin yang berhembus di atas permukaan laut, maka semakin besar tinggi gelombang yang dihasilkan. Gelombang laut yang bergerak menjalar menuju pantai menimbulkan pergerakan partikel dan energi gelombang. Energi gelombang bersifat dapat diperbaharui, ramah lingkungan, dan selalu tersedia sepanjang waktu. Energi potensial dan kinetik yang terkandung pada gelombang laut tersebut sejatinya dapat dikonversikan menjadi tenaga listrik. Semakin tinggi gelombang yang ada di perairan, maka semakin besar pula daya listrik yang dihasilkan (Josua

kk, 2017).

Gelombang yang bergerak selain menimbulkan pergerakan partikel, juga memberikan energi gelombang. Energi gelombang terdiri dari dua jenis, yaitu



energi kinetik dan energi potensial gelombang. Energi kinetik adalah energi yang disebabkan oleh kecepatan partikel air karena adanya gerak gelombang. Energi potensial adalah energi yang dihasilkan oleh perpindahan muka air karena adanya gelombang. Jumlah dari energi kinetik dan energi potensial gelombang disebut energi total gelombang (Yizhar, 2019).

2.2 Teori Gelombang

Gelombang laut sukar dijabarkan dengan pasti, tetapi dapat diformulasikan dengan pendekatan. Berbagai macam teori pendekatan digunakan untuk memberikan informasi ilmiah tentang sifat gelombang lautan pada suatu tingkat fenomena yang aktual. Suatu teori sederhana tentang gelombang lautan dikenal sebagai teori dari Airy atau teori gelombang linier. Selanjutnya para ahli membedakan sifat gelombang laut sebagai gelombang linier dan gelombang non-linier (I Wayan Arta Wijaya, 2010).

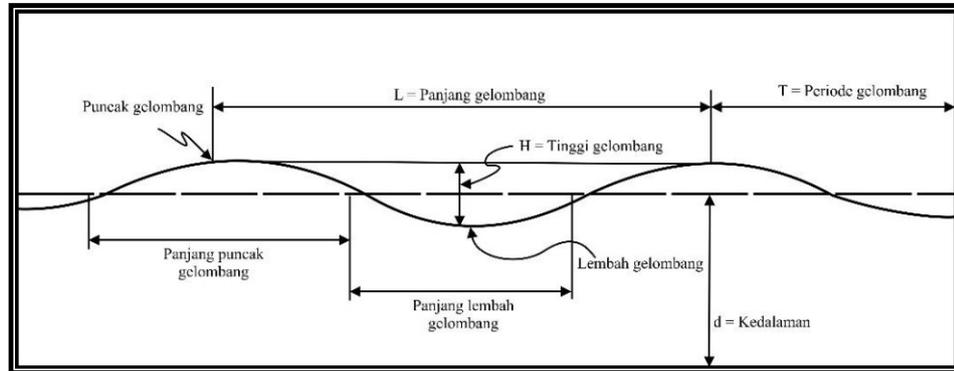
2.2.1 Teori Gelombang Airy

Teori Gelombang Airy (Teori Amplitudo Kecil) diturunkan berdasarkan persamaan *Laplace* untuk aliran tak rotasi (*irrotational flow*) dengan kondisi batas di dasar laut dan di permukaan air. Terdapat beberapa anggapan yang digunakan untuk menurunkan persamaan gelombang menurut (Nur Yuwono, 1982) adalah sebagai berikut :

- 1) Zat cair adalah homogen dan tidak termampatkan, sehingga rapat massa adalah konstan.
- 2) Tegangan permukaan diabaikan.
- 3) Gaya *coriolis* (akibat perputaran bumi diabaikan).
- 4) Tekanan pada permukaan air adalah seragam dan konstan.
- 5) Zat cair adalah ideal, sehingga berlaku aliran tak rotasi.
- 6) Dasar laut adalah horizontal, tetap dan *impermeable* sehingga kecepatan vertikal di dasar adalah nol.



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



Gambar 2. Sketsa Definisi Gelombang (Shore Protection Manual, 1984)

Ketinggian dan periode gelombang tergantung kepada panjang *fetch* pembangkitannya. *Fetch* adalah jarak perjalanan tempuh gelombang dari awal pembangkitannya. *Fetch* ini dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Semakin panjang jarak *fetch*nya, ketinggian gelombangnya akan semakin besar.

Angin juga mempunyai pengaruh yang penting pada ketinggian gelombang. Angin yang lebih kuat akan menghasilkan gelombang yang lebih besar. Gelombang yang menjalar dari laut dalam (*deep water*) menuju ke pantai akan mengalami perubahan bentuk karena adanya perubahan kedalaman laut. Apabila gelombang bergerak mendekati pantai, pergerakan gelombang di bagian bawah yang berbatasan dengan dasar laut akan melambat. Ini adalah akibat dari friksi/gesekan antara air dan dasar pantai. Sementara itu, bagian atas gelombang di permukaan air akan terus melaju. Semakin menuju ke pantai, puncak gelombang akan semakin tajam dan lembahnya akan semakin datar. Fenomena ini yang menyebabkan gelombang tersebut kemudian pecah (Rudy Arnax, 2017).



2.2.2 Refleksi Gelombang

Refleksi gelombang terjadi ketika gelombang datang mengenai atau membentur suatu rintangan sehingga kemudian dipantulkan sebagian atau seluruhnya. Jika sebuah gelombang didepan sebuah *breakwater* sisi tegak adalah gelombang berdiri, maka akan dipantulkan oleh dinding *breakwater* tersebut. Besar koefisien refleksi K_r dari *breakwater* tersebut pada umumnya akan naik, meskipun kurang dari 1.0 akibat dari efek struktur penyusun *breakwater* itu sendiri ataupun *wave overtopping*.

Besar kemampuan suatu bangunan pemecah gelombang untuk memantulkan gelombang dapat diketahui melalui koefisien refleksi. Besar kemampuan suatu bangunan memantulkan gelombang diberikan oleh koefisien refleksi H_r dan tinggi gelombang datang H_i dengan persamaan (Yizhar 2019) berikut:

$$H_i = \frac{H_{\max} + H_{\min}}{2} \dots\dots\dots (1)$$

$$H_r = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{2} \dots\dots\dots (2)$$

Koefisien refleksi bangunan diestimasi berdasarkan tes model, seperti disajikan dalam Tabel 2.1

Tabel 1. Koefisien Refleksi (Triatmodjo, 1999)

Tipe Bangunan	X
Dinding vertikal dengan puncak di atas air	0,7 – 1,0
Dinding vertikal dengan puncak terendam	0,5 – 0,7
Tumpukan batu sisi miring	0,3 – 0,6
Tumpukan balok beton	0,3 – 0,5
Bangunan vertikal dengan peredam energi (diberi lubang)	0,05 – 0,2

Dinding vertikal dan tak permiabel memantulkan sebagian gelombang. Pada bangunan seperti itu, koefisien refleksi adalah $X = 1$, dan tinggi gelombang yang dipantulkan sama dengan tinggi gelombang datang. Gelombang di depan dinding vertikal merupakan superposisi dari kedua



gelombang dengan periode, tinggi dan angka gelombang yang sama tetapi berlawanan arah.

Jika suatu gelombang mengenai benda yang menghalangi laju gelombang tersebut, maka gelombang tersebut mengalami refleksi dan transmisi. Demikian halnya yang terjadi pada gelombang yang mengenai suatu struktur pelindung pantai. Refleksi gelombang secara sederhana bisa diartikan sebagai seberapa besar gelombang terpantulkan oleh struktur pelindung bila dibandingkan dengan besar nilai gelombang datang. Sehingga, bila dituliskan dalam rumus matematis, koefisien refleksi menjadi (Yizhar, 2019) :

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana H_r adalah tinggi gelombang setelah mengenai struktur yang lalu terpantulkan kembali (terefleksikan) dan H_i adalah tinggi gelombang sebelum mengenai struktur. Refleksi gelombang pada *floating breakwater* merupakan sebuah fungsi yang terdiri berbagai parameter dan suku sebagai sebuah fungsi parameter gelombang struktur.

2.3 Potensi Konversi Energi Gelombang Laut Menjadi Energi Listrik

Penggunaan pertama gelombang laut ada pada tahun 1799 di Paris, dibuat oleh Girard, namun paten ini belum diteruskan menjadi sebuah alat konversi energi. Alat konversi energi gelombang laut pertama dibuat oleh Bochaux-Praceique, seorang Perancis, untuk menyalakan lampu-lampu dan alat listrik di rumahnya sendiri. Selanjutnya, dari tahun 1855 hingga 1973, sudah ada 340 paten (hanya di Inggris) mengenai penggunaan energi gelombang laut ini. Eksperimen modern mengenai sumber energi ini dimulai oleh seorang warga Jepang bernama Yoshio Masuda. Dia sudah merancang berbagai alat konversi gelombang laut, beberapa ratus di antaranya digunakan untuk menyalakan lampu navigasi (mercusuar). Munculnya kembali ketertarikan orang untuk meneliti sumber energi jenis ini dimulai saat krisis minyak pada tahun 1973, banyak peneliti dari berbagai

as yang meriset alat konversi energi jenis ini. Tahun 1980, harga minyak kembali dan ketertarikan pada sumber energi ini kembali menurun. Namun, bahan iklim baru-baru ini membuat ketertarikan pada sumber-sumber



energi terbarukan, termasuk energi gelombang laut, menjadi tinggi kembali. Lalu, pembangkit yang menggunakan energi pasang-surut air laut pertama dibangun antara tahun 1960 hingga 1966 di Perancis dengan kapasitas 240MW. Setelah, itu bermunculan berbagai pembangkit listrik mulai dari kapasitas kecil (0.4 MW) hingga kapasitas 1320 MW yang dijadwalkan akan dibangun Korea Selatan pada tahun 2017 (Andreas dkk, 2010).

Banyak ilmuwan atau profesor dari berbagai negara meneliti dan mengembangkan pemanfaatan tenaga gelombang laut menjadi energi listrik khususnya di negara-negara maju. Negara Indonesia sendiri cukup berpotensi dalam pengembangan tenaga gelombang laut karena mempunyai gelombang laut yang juga tidak kalah di negara lain, contoh di laut selatan pulau Jawa yang terkenal dengan gelombang laut tingginya dan pulau Sumatera. Jadi dengan pembuatan prototipe dapat menjadi acuan dalam pengembangan tenaga gelombang laut di Indonesia dan juga dapat diteliti lebih jauh daya yang dihasilkan dari prototipe tersebut, sehingga dapat di implemintasikan di pantai-pantai indonesia yang berpotensi menghasilkan energi listrik (Rudy Armax, 2017).

2.4 Teknik Konversi Energi Gelombang Laut Menjadi Energi Listrik

Pada dasarnya prinsip kerja teknologi yang mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik adalah mengakumulasi energi gelombang laut untuk memutar turbin generator. Menurut (Siti Rahma Utami, 2010) ada tiga cara membangkitkan energi listrik dengan tenaga gelombang laut :

1) Energi Gelombang

Energi kinetik yang terkandung pada gelombang laut di gunakan untuk menggerakkan turbin.

2) Pasang Surut Air Laut

Ketika pasang datang ke pantai, air pasang di tampung di dalam reservoir. Kemudian ketika air surut, air di belakang reservoir dapat dialirkan seperti pada PLTA biasa.

Pemanfaatan Perbedaan Temperatur Air Laut



Untuk membangkitkan listrik dengan perbedaan temperatur laut adalah dengan memanfaatkan perbedaan suhu di laut. Suhu yang lebih tinggi pada permukaan laut di sebabkan sinar matahari memanasi permukaan laut.

Sedangkan menurut (Valens Tae dkk, 2015) untuk menangkap energi gelombang dapat dilakukan dengan cara :

a) Dengan pelampung

Alat ini digunakan untuk membangkitkan listrik dari hasil gerakan vertikal dan rotasional pelampung dan dapat ditambatkan pada sebuah rakit yang mengambang atau alat yang tertambat di dasar laut.

b) *Oscillating Water Column (OWC)*

Alat osilasi kolom air ini akan menangkap energi gelombang yang mengenai lubang pintu kolom osilasi, sehingga terjadi fluktuasi atau osilasi gerakan air dalam ruang kolom osilasi, kemudian tekanan udara ini akan menggerakkan baling-baling turbin yang dihubungkan dengan generator listrik sehingga menghasilkan listrik.

c) Sistem Tapchan

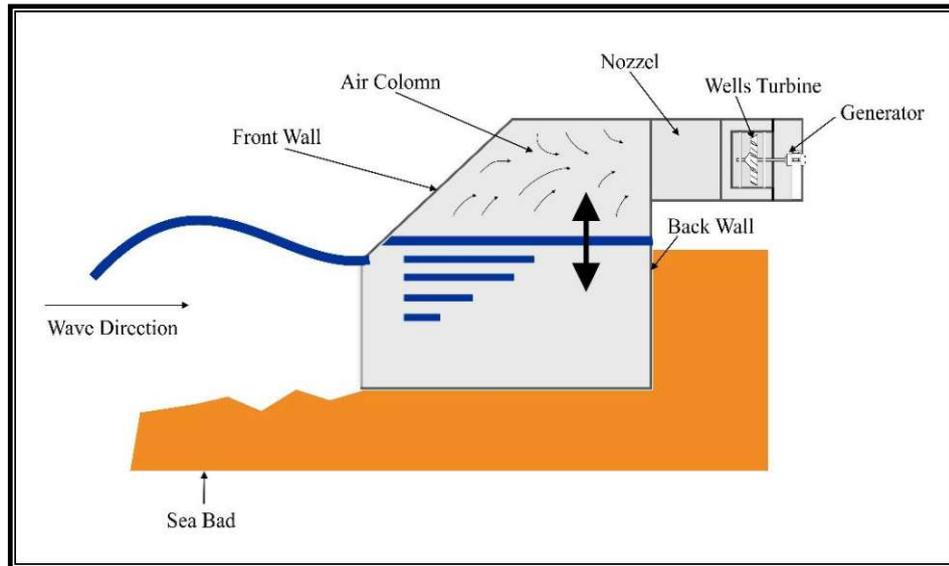
Sistem tapchan, dipasang pada sebuah struktur kanal yang dibangun di pantai untuk mengkonsentrasikan gelombang dan menyalurkannya melalui saluran ke dalam bangunan penjebak seperti kolam buatan yang ditinggikan. Air yang mengalir keluar dari kolam penampung ini yang digunakan untuk membangkitkan listrik dengan menggunakan teknologi standar *hydropower*.

2.5 *Oscillating Water Column (OWC)*

Dari beberapa jenis WEC (*wave energy Converter*) tipe *Oscillating Water Colomn* adalah tipe WEC yang paling populer. Sistem ini membangkitkan listrik dari naik turunnya air laut akibat gelombang laut yang masuk ke dalam sebuah kolom osilasi yang berlubang. Naik turunnya air laut ini akan mengakibatkan keluar

udara di lubang bagian atas kolom dan tekanan yang dihasilkan dari naik turunnya air laut dalam kolom tersebut akan menggerakkan turbin (Bagus Prasetyo, 2015).





Gambar 3. Sketsa OWC Tampak Depan (Bagus Prasetio, 2015)

Cara kerja PLTG sistem OWC (Rudy Arnax, 2017) adalah sebagai berikut :

1. Gelombang Laut yang datang dari arah laut akan menabrak dinding bangunan depan OWC, pada bagian bawah bangunan terdapat kolom terbuka untuk masuknya gelombang air laut
2. Tumbukan gelombang air laut bagian bawah bangunan masuk pada bagian dalam ruang isolasi atau chamber OWC kemudian berisolasi naik dan turun sehingga menimbulkan peristiwa sedot dan dorong pada kolom udara di atasnya.
3. Gerakan gelombang air laut yang naik turun serta menimbulkan peristiwa sedot dorong udara pada kolom udara di atasnya. Peristiwa inilah yang akan menggerakkan turbin (perlu diperhatikan bahwa turbin yang digunakan adalah turbin searah, dimana pada saat terjadi tekanan udara naik turun/sedot dorong, turbin akan tetap memutar searah untuk menghasilkan energi listrik). Pada saat turbin berputar maka rotor akan berputar, dari sinilah energi kinetik menjadi energi mekanik pada generator yang akan menghasilkan listrik.



2.6 Komponen Utama PLTG Sistem OWC

a. Kolektor

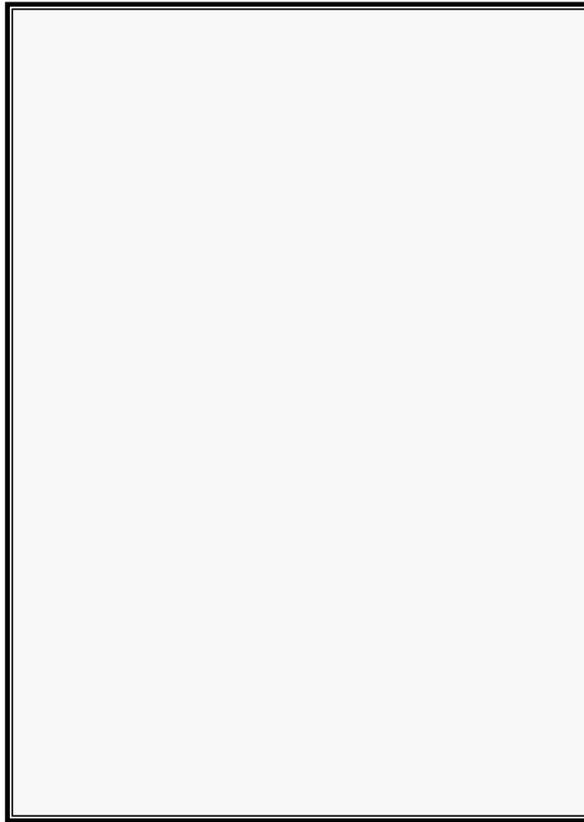
Kolektor adalah bangunan yang berfungsi untuk mengumpulkan ombak sebanyak-banyaknya, kemudian memfokuskan pada konverter. Berdasarkan fungsinya maka bentuk dari kolektor adalah menjorok ke lautan lepas. Pada kolektor terdapat lubang *oriface* yang menghubungkan kolektor dengan turbin angin. Pada *oriface* terdapat gaya dan tekanan angin yang digunakan untuk memutar turbin angina (Hery Purnomo dkk, 2014).

b. Turbin Angin

Turbin angin pada OWC berfungsi merubah tekanan udara yang dihasilkan oleh kolektor menjadi energi gerak. Prinsip kerja dari turbin angin adalah mengubah energi mekanis dari tekanan udara menjadi energi putar pada turbin, lalu putaran turbin digunakan untuk memutar generator yang akhirnya menghasilkan energi listrik. Umumnya daya efektif yang dapat dihasilkan oleh turbin angin hanya sebesar 20%-30% (Hery Purnomo dkk, 2014).

Pada pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem OWC ini menggunakan turbin Wells. Jika dilihat dari metode konversi energi atau prinsip kerjanya, maka turbin angin terdiri atas turbin yang memanfaatkan gaya angkat, turbin yang memanfaatkan gaya hambat, dan kombinasi keduanya. Turbin yang memanfaatkan gaya angkat dan gaya hambat misalnya jenis turbin Wells. Turbin Wells telah dirancang oleh Alan Well pada tahun 1980, dengan prinsip kerjanya, mengubah energi mekanis dari tekanan udara menjadi energi putar pada turbin, lalu turbin digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya menghasilkan listrik (Valens Tae dkk, 2015).





Gambar 4. Sketsa turbin Wells

(https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-the-Wells-turbine_fig1_284435214)

c. Generator

Konversi energi elektromagnetik yaitu perubahan energi dari bentuk mekanik ke bentuk listrik dan bentuk listrik ke bentuk mekanik. Generator sinkron (alternator) merupakan jenis mesin listrik yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan bolak-balik dengan cara mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Energi mekanis diperoleh dari putaran rotor yang digerakkan oleh penggerak mula (*prime mover*), sedangkan energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan stator dan rotornya. Adapun prinsip kerja dari generator sinkron secara umum menurut (Hery Purnomo dkk, 2014) adalah sebagai berikut :



1. Kumparan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi tertentu yang akan mensuplai arus searah terhadap kumparan medan. Dengan adanya arus searah yang mengalir melalui kumparan medan maka akan menimbulkan fluks yang besarnya terhadap waktu adalah tetap.
2. Penggerak mula (*Prime Mover*) yang sudah terkopel dengan rotor segera dioperasikan sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominalnya.
3. Perputaran rotor tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor, akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar yang terletak di stator akan dihasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu.

2.7 Persamaan Yang Digunakan

A. Analisa Energi Gelombang

Besarnya energi potensial dari gelombang laut dapat dihitung dengan persamaan (Lelly dkk, 2016) berikut :

$$E_p = mg \frac{y(x,t)}{2} \dots\dots\dots (4)$$

dengan E_p adalah energi potensial gelombang (Joule), m adalah massa air laut yang masuk ke ruang sistem OWC (kg) dan g merupakan percepatan gravitasi bumi ($9,81 \text{ m/s}^2$).

Nilai energi potensial tiap panjang gelombang didapatkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$E_p = \int_0^\lambda E_p dx \dots\dots\dots (5)$$

Sehingga didapatkan persamaan energi potensial tiap panjang gelombang

ditu :

$$E_p = \frac{1}{4} \rho w g A^2 \lambda \dots\dots\dots (6)$$



Energi potensial gelombang yang telah lewat dari satu periode gelombang memiliki nilai yang sama dengan energi kinetiknya. Sehingga energi kinetik gelombang dapat ditulis sebagai berikut :

$$E_k = \frac{1}{4} \rho w g A^2 \lambda \dots\dots\dots (7)$$

Energi gelombang adalah energi mekanik gelombang yang merupakan total dari energi potensial gelombang dan energi kinetik gelombang, sehingga :

$$E_M = E_p + E_K \dots\dots\dots (8)$$

$$E_M = \left(\frac{1}{4} \rho w g A^2 \lambda \right) + \left(\frac{1}{4} \rho w g A^2 \lambda \right) \dots\dots\dots (9)$$

$$E_M = \frac{1}{2} \rho w g A^2 \lambda \dots\dots\dots (10)$$

Dari energi mekanik gelombang akan didapatkan nilai daya yang dihasilkan oleh gelombang dengan persamaan (Lelly dkk, 2016) sebagai berikut :

$$P_w = \frac{E_M}{T} \dots\dots\dots (11)$$

$$P_w = \frac{\rho w g A^2 \lambda}{2T} \dots\dots\dots (12)$$

dengan $\lambda = \frac{g}{2\pi} T^2$ dan $A = \frac{h}{2}$ maka, $\dots\dots\dots (13)$

$$P_w = \frac{1}{16\pi} \rho w g^2 h^2 T \dots\dots\dots (14)$$

Dimana :

E_p : Energi Potensial (Joule)

E_k : Energi Kinetik (Joule)

E_M : Energi Mekanik (Joule)

P_w : Daya Gelombang (Watt)

A : Amplitudo Gelombang

w : Lebar Gelombang (m), diasumsikan lebar gelombang = luas chamber pada OWC

ρ : Massa Jenis Air Laut (1030 kg/m²)

g : Gravitasi Bumi (9,81 m/s²)

h : Tinggi Gelombang Laut (m)

T : Periode Gelombang Laut (detik)

λ : Panjang Gelombang (m)



B. Analisa Perhitungan Daya Angin

Untuk mengetahui besarnya nilai konversi energi angin, dapat diketahui dengan menghitung besarnya daya yang dihasilkan oleh energi angin yang terisolasi tersebut. Untuk mengetahui daya angin dapat dinyatakan dengan persamaan (Valens dkk, 2015) berikut:

$$P_a = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V_u^3 \dots\dots\dots (15)$$

Dimana :

- P_a : Daya Angin (Watt)
- ρ : Kerapatan udara 1,1726 Kg/m³
- V_u : Kecepatan angin (m/s)
- A : luas penampang (m²) V_u

Persamaan di atas dapat digunakan untuk menghitung jumlah daya yang menjadi masukan atau input bagi turbin angin. Hasil perhitungan daya dari rumus tersebut belum dapat dijadikan acuan dalam menetapkan kapasitas daya input turbin bagi generator, sebab belum mempertimbangkan rugi-rugi daya dan faktor lain. Oleh karena itu diperlukan suatu faktor pengali yang biasa disebut sebagai faktor efisiensi. Seorang ilmuwan fisika dari Jerman bernama Albert Betz pada tahun 1919 menyatakan bahwa tidak ada turbin angin yang dapat mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanik (putaran) lebih dari 16/27(59,3).

Dikalangan peneliti dan pengembang turbin angin hal ini dikenal sebagai Batas Betz (*Betz Limits*) dan membulatkan faktor tersebut menjadi 60 % yang artinya tidak ada putaran angin yang dapat mengkonversi energi kinetik angin menjadi energi putaran lebih dari 60%.



C. Analisis Perhitungan Daya Listrik

Daya Listrik adalah daya yang dihasilkan dari generator yang nantinya terhubung dengan turbin angin. Sehingga daya listrik yang dihasilkan oleh generator dapat dirumuskan dengan persamaan (Arnoldus, 2016) berikut:

$$P_{listrik} = V \cdot I \dots\dots\dots (16)$$

Dimana :

$P_{listrik}$ (Watt)

V : Tegangan listrik (Volt)

I : Kuat arus listrik (Ampere)

- Efisiensi prototipe OWC

Menghitung efisiensi prototipe OWC adalah perbandingan antara daya angin dengan daya gelombang yang dihasilkan dalam osilator, digunakan persamaan (Valens dkk, 2015) berikut:

$$\eta_{ka} = \frac{P_a}{P_w} \times 100\% \dots\dots\dots (17)$$

$$\eta_{total} = \frac{P_{listrik}}{P_w} \times 100\% \dots\dots\dots (18)$$

