

SKRIPSI

**ANALISIS POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
GELOMBANG LAUT TIPE KOLOM AIR BEROSILASI DI
PANTAI MELAWAI KOTA BALIKPAPAN**

Disusun dan Diajukan Oleh:

EDWARD LAYUK MAIRI

D021 19 1004



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

GOWA

2023

SKRIPSI

**ANALISIS POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
GELOMBANG LAUT TIPE KOLOM AIR BEROSILASI DI
PANTAI MELAWAI KOTA BALIKPAPAN**

Disusun dan Diajukan Oleh:

EDWARD LAYUK MAIRI

D021 19 1004



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

GOWA

2023

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT TIPE KOLOM AIR BEROSILASI DI PANTAI MELAWAI KOTA BALIKPAPAN

Disusun dan diajukan oleh :

Edward Layuk Mairi

D021 19 1004

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 16 Agustus 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, MT
NIP. 19591220198601 1 001


Dr. Ir. Rusan Tarakka, ST., MT
NIP. 19750827200501 1 002

Ketua Program Studi,


Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT
NIP 19720825200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Edward Layuk Mairi
NIM : D021 19 1004
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Kolom Air
Berosilasi di Pantai Melawai Kota Balikpapan

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasikan oleh penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari dosen pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil dari karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 16 Agustus 2023

Yang menyatakan



Edward Layuk Mairi

ABSTRAK

EDWARD LAYUK MAIRI. *Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Kolom Air Berosilasi di Pantai Melawai Kota Balikpapan* (dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, MT. dan Bapak Dr. Ir. Rustan Tarakka, ST., MT).

Indonesia sebagai negara maritim terbesar di dunia, yang $2/3$ wilayahnya merupakan wilayah lautan. Dengan luasnya wilayah lautan di Indonesia potensi gelombang laut dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan. Akan tetapi, pemanfaatan energi gelombang laut belum dilakukan. Saat ini ada beberapa teknologi alternatif untuk menghasilkan listrik, salah satunya teknologi yang disebut sistem *Oscillating Water Column* (OWC). Penelitian ini menerapkan perancangan menggunakan *Fusion 360* dan simulasi teknologi OWC menggunakan *Ansys CFX* berdasarkan data ketinggian gelombang laut tahun 2022 di Pantai Melawai, Kota Balikpapan. Referensi OWC yang dipakai menggunakan sistem OWC Islay-Limpet dengan variasi lebar kolektor 3 m, 6 m, dan 9 m. Pada simulasi, nilai kecepatan angin digunakan sebagai nilai input sedangkan torsi turbin sebagai output yang kemudian dikalkulasikan untuk menganalisis dan menghitung daya ombak, torsi, daya efektif, dan daya listrik yang dihasilkan. Pada penggunaan data BMKG, daya gelombang maupun torsi dan daya listrik minimum didapatkan pada lebar kolom 3 m dengan tinggi gelombang sebesar 1,397 m secara berurut yaitu sebesar 145,276 kW, 551,918 Nm, dan 13,827 kW, sedangkan nilai maksimum didapatkan pada lebar kolom 9 m dengan tinggi gelombang sebesar 1,403 m yaitu sebesar 440,521 kW, 2306,06 Nm, dan 58,095 kW. Pada penggunaan data ECMWF, daya gelombang maupun torsi dan daya listrik minimum didapatkan pada lebar kolom 3 m dengan tinggi gelombang sebesar 0,211 m secara berurut yaitu sebesar 1,288 kW, 147,316 Nm, dan 1,858 kW, sedangkan nilai maksimum didapatkan pada lebar kolom 9 m dengan tinggi gelombang sebesar 0,413 m yaitu sebesar 20,711 kW, 584,914 Nm, dan 14,654 kW. Tinggi gelombang dan lebar kolektor berpengaruh pada daya gelombang, torsi, dan daya listrik yang dihasilkan, dimana semakin tinggi gelombang dan lebar kolom kolektor maka semakin besar pula daya gelombang, torsi, dan daya listrik. Berdasarkan daya efektif yang

dihasilkan oleh turbin angin, ditentukan generator yang sesuai memiliki efisiensi 91,1% sehingga didapatkan nilai daya listrik maksimum yang dapat dibangkitkan pada kolom 3 m sebesar 13,897 kW, kolom 6 m sebesar 32,670 kW, dan kolom 9 meter adalah 58,095 kW.

Kata Kunci : Energi Terbarukan, Daya Listrik, OWC, *Oscillating Water Column*

ABSTRACT

EDWARD LAYUK MAIRI. *Potential Analysis of Oscillating Water Column Type Ocean Wave Power Generation at Melawai Beach, Balikpapan City* (supervised by Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, MT. and Mr. Dr. Ir. Rustan Tarakka, ST., MT).

Indonesia is the largest maritime country in the world, where 2/3 of its territory is ocean territory. With the vast ocean area in Indonesia, the potential for ocean waves can be utilized as a source of renewable energy. However, the utilization of ocean wave energy has not been carried out. Currently there are several alternative technologies for generating electricity, one of which is a technology called the Oscillating Water Column (OWC) system. This study applies a design using Fusion 360 and OWC technology simulation using Ansys CFX based on 2022 sea wave height data at Melawai Beach, Balikpapan City. The OWC reference used uses the Islay-Limpet OWC system with variations in collector widths of 3 m, 6 m, and 9 m. In the simulation, the wind speed value is used as the input value while the turbine torque is used as the output which is then calculated to analyze and calculate the wave power, torque, effective power, and generated electric power. In the use of BMKG data, wave power as well as torque and electric power minimum values obtained at a column width of 3 m with a wave height of 1.397 m respectively with the value of 145.276 kW, 551.918 Nm and 13.827 kW, while the maximum value was obtained at a column width of 9 m with wave height of 1.403 m respectively with the value of 440.521 kW, 2306.06 Nm and 58.095 kW. In the use of ECMWF data, wave power as well as torque and electric power minimum values obtained at a column width of 3 m with a wave height of 0.211 m respectively with the value of 1.288 kW, 147.316 Nm and 1.858 kW, while the maximum value was obtained at a column width of 9 m with wave height of 0.413 m respectively with the value of 20.711 kW, 584.914 Nm and 14.654 kW. The wave height and collector width affect the wave power, torque and generated electric power, if the higher the wave height and the width of the collector column, the greater the wave power, torque and electric power are generated. Based on the effective power generated by the wind turbine, it is determined that the appropriate generator has an efficiency of 91.1% so that the maximum electric power value that can be generated in the 3 m

column is 13.897 kW, the 6 m column is 32.670 kW, and the 9 meter column is 58.095 kW.

Keywords : Renewable Energy, Electric Power, OWC, Oscillating Water Column

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
KATA PENGANTAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Keadaan Perairan Pantai Melawai.....	5
2.2 Energi Gelombang Laut.....	6
2.3 Metode Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut.....	9
2.3.1 <i>Permanent Magnet Linear Buoy</i>	9
2.3.2 Sistem Pelamis.....	10
2.3.3 Sistem Sirip Ikan Hiu Buatan	11
2.3.4 Sistem <i>Oscillating Water Column</i>	12
2.3.5 Sistem Kanal.....	12
2.3.6 Sistem Pelampung	13
2.3.7 Energi Pasang Surut Air Laut.....	13
2.3.8 <i>Ocean Thermal Energy</i>	14
2.4 <i>Oscillating Water Column (OWC)</i>	16
2.5 Komponen Utama <i>Oscillating Water Column</i>	17
2.5.1 Kolektor (<i>Chamber</i>)	17
2.5.2 Turbin Angin	18
2.5.3 Generator	21
2.6 Kelebihan dan Kekurangan PLTGL OWC.....	21
2.7 Perkiraan Potensi Daya Listrik Yang Dibangkitkan.....	22
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	23
3.2 Langkah-Langkah Penelitian.....	23
3.3 Prosedur Pengambilan Data.....	28
3.2.1 Pre-Processor	28
3.2.2 Processor.....	31
3.2.3 Post-Processor	32
3.4 Flow Chart Penelitian	33

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Hasil.....	34
4.1.1 Contoh Perhitungan	34
4.1.2 Hubungan Panjang Gelombang Dengan Daya Gelombang.....	38
4.1.3 Hubungan Tinggi Gelombang Dengan Daya Gelombang.....	42
4.1.4 Hubungan Tinggi Gelombang Dengan Torsi Turbin.....	46
4.1.5 Hubungan Tinggi Gelombang Terhadap Daya Efektif.....	50
4.1.6 Hubungan Tinggi Gelombang Terhadap Daya Listrik	54
4.2 Pembahasan	58
4.2.1 Hubungan Panjang Gelombang Dengan Daya Gelombang.....	58
4.2.2 Hubungan Tinggi Gelombang Dengan Daya Gelombang.....	59
4.2.3 Hubungan Tinggi Gelombang Dengan Torsi Turbin.....	60
4.2.4 Hubungan Tinggi Gelombang Dengan Daya Efektif	61
4.2.5 Hubungan Tinggi Gelombang Dengan Daya Listrik.....	62
BAB V PENUTUP.....	64
5.1 Kesimpulan.....	64
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN.....	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Potensi dan Pemanfaatan EBT di Indonesia	2
Gambar 2 Sistem Buoy	10
Gambar 3 Pelamis Wave Energy Converter	11
Gambar 4 Biostream	11
Gambar 5 Skema Oscillating Water Column.....	12
Gambar 6 Skema Sistem Kanal	13
Gambar 7 Skema Pemanfaatan Energi Saat Pasang	13
Gambar 8 Skema Pemanfaatan Energi Saat Surut	14
Gambar 9 Skema Pemanfaatan Ocean Thermal Energy	14
Gambar 10 Skema OWC.....	16
Gambar 11 Tampak Depan Penampang Kolektor OWC	17
Gambar 12 Tampak Samping Kolektor OWC	18
Gambar 13 Skema Diagram Turbin Wells.....	19
Gambar 14 Turbin dan Generator Tampak Depan.....	20
Gambar 15 Tampak Depan Penampang Kolektor OWC	24
Gambar 16 Tampak Samping Kolektor OWC	24
Gambar 17 Desain PLTGL pada Fusion 360.....	26
Gambar 18 Diagram Alir Simulasi CFD.....	26
Gambar 19 PLTGL OWC 3x3 meter	28
Gambar 20 PLTGL OWC 3x6 meter	29
Gambar 21 PLTGL OWC 3x9 meter	29
Gambar 22 Desain Turbin Wells.....	29
Gambar 23 Proses Penentuan Domain dan Batasan	30
Gambar 24 Proses Meshing Desain	30
Gambar 25 Proses Pemasukan Nilai Input (Opening)	31
Gambar 26 Gambar Proses Running dan Solving.....	32
Gambar 27 <i>Flow Chart</i> Penelitian	33
Gambar 28 Hubungan Antara Panjang Gelombang dengan Daya Gelombang	39
Gambar 29 Hubungan Antara Panjang Gelombang dengan Daya Gelombang	41
Gambar 30 Hubungan Antara Tinggi Gelombang dengan Daya Gelombang	43
Gambar 31 Hubungan Antara Tinggi Gelombang dengan Daya Gelombang	45
Gambar 32 Hubungan Antara Tinggi Gelombang dengan Torsi Turbin	47
Gambar 33 Hubungan Antara Tinggi Gelombang dengan Torsi Turbin	49
Gambar 34 Hubungan Antara Tinggi Gelombang dengan Daya Efektif.....	51
Gambar 35 Hubungan Antara Tinggi Gelombang dengan Daya Efektif.....	53
Gambar 36 Hubungan Antara Tinggi Gelombang dengan Daya Listrik	55
Gambar 37 Hubungan Antara Tinggi Gelombang dengan Daya Listrik	57

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Data Ketinggian Gelombang Laut Pantai Melawai Tahun 2022	6
Tabel 2 Referensi Tinggi Kolektor	18
Tabel 3 Parameter Turbin Angin	19
Tabel 4 Referensi Tinggi Kolektor	25
Tabel 5 Data Hubungan antara Panjang Gelombang dengan Daya Gelombang ..	38
Tabel 6 Data Hubungan antara Panjang Gelombang dengan Daya Gelombang ..	40
Tabel 7 Data Hubungan antara Tinggi Gelombang dengan Daya Gelombang.....	42
Tabel 8 Data Hubungan antara Tinggi Gelombang dengan Daya Gelombang.....	44
Tabel 9 Data Hubungan antara Tinggi Gelombang dengan Torsi Turbin	46
Tabel 10 Data Hubungan antara Tinggi Gelombang dengan Torsi Turbin	48
Tabel 11 Data Hubungan antara Tinggi Gelombang dengan Daya Efektif	50
Tabel 12 Data Hubungan antara Tinggi Gelombang dengan Daya Efektif	52
Tabel 13 Data Hubungan antara Tinggi Gelombang dengan Daya Listrik.....	54
Tabel 14 Data Hubungan antara Tinggi Gelombang dengan Daya Listrik.....	56

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
H	Tinggi Gelombang (m)
T	Periode Gelombang (s)
λ	Panjang Gelombang (m)
C	Cepat Rambat Gelombang (m/s)
w	Lebar Gelombang (m)
g	Gravitasi Bumi (m^2/s)
ρ	Massa Jenis Air Laut (kg/m^3)
a	Amplitudo (m)
τ	Torsi (Nm)
n	Putaran (rpm)
P_W	Daya Gelombang Laut (W)
P_T	Daya Mekanik (W)
P_E	Daya Efektif (W)
P_G	Daya Listrik (W)
η_E	Efisiensi Turbin (%)
η_G	Efisiensi Generator (%)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Data Ketinggian Gelombang	68
Lampiran 2 Tabel Data Kecepatan Angin.....	69
Lampiran 3 Tabel Spesifikasi Generator.....	70
Lampiran 4 Tabel Hasil Penelitian.....	71
Lampiran 5 Dokumentasi Pembuatan Desain Menggunakan Fusion 360	73
Lampiran 6 Dokumentasi Pengambilan Data Menggunakan Ansys CFX.....	74

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas kasih dan penyertaanNya sehingga penulis mampu melaksanakan dan menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Kolom Air Berosilasi di Pantai Melawai Kota Balikpapan” ini dengan baik dan tepat pada waktunya. Skripsi ini ditulis dalam rangka memenuhi syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dalam penyelesaian studi dan penulisan skripsi ini, penulis banyak memperoleh bantuan baik pengajaran, bimbingan dan arahan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang tak terhingga kepada :

1. Kedua orang tua terkasih, Bapak Ir. Frederik Mairi dan Ibu Youri Ala Palinggi, dan juga saudara-saudari penulis Kakak Egif Pindan Angga Mairi,ST., Kakak Arnold Layuk Mairi,ST., dan Adik Eliora Pindan Angga Mairi yang telah membantu, memberi dukungan, doa, nasehat, motivasi untuk penulis sehingga penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, MT selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis sehingga penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Bapak Dr. Ir. Rustan Tarakka, ST., MT selaku dosen pembimbing kedua penulis yang telah membantu memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Luther Sule, MT selaku dosen penguji pada penelitian ini yang senantiasa memberikan saran, masukan dan koreksi yang bersifat membangun guna menjadikan penelitian ini lebih baik.
5. Bapak Gerard Antonini Duma, ST., MT selaku dosen penguji pada penelitian ini yang senantiasa memberikan saran, masukan dan koreksi yang bersifat membangun guna menjadikan penelitian ini lebih baik.
6. Bapak Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT, selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Bapak dan Ibu dosen serta staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin atas bantuan dan ilmu yang telah diberikan selama mengikuti perkuliahan.

8. Teman-teman asisten Laboratorium Mekanika Fluida dan Laboratorium Mesin Fluida yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi sampai selesai.
9. Sobat Beers yaitu Nikyta Bella, Andi Ahmad Kamil, dan Ahmad Mudzakkir yang telah memberikan bantuan dan dukungan sejak mahasiswa baru hingga skripsi ini terselesaikan.
10. Mahasiswa Departemen Teknik Mesin Angkatan 2019 “BRUZHLEZZ” yang telah memberikan dukungan dan kerjasama selama berproses baik dalam akademik maupun nonakademik dan semoga apa yang direncanakan kedepannya dapat tercapai.
11. Segenap keluarga KMKO Mesin khususnya Go Deeper yang selalu memberikan doa dan dukungannya.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat berharap adanya kritik maupun saran yang membangun untuk kesempurnaan skripsi ini di masa yang akan datang.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan juga bagi peneliti selanjutnya. Terima kasih.

Gowa, 1 Agustus 2023

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi terbarukan merupakan salah satu upaya pemerintah untuk meningkatkan sumber pasokan listrik nasional dan mengurangi sumber energi fosil. Energi terbarukan berasal dari alam misalnya air, gelombang, cahaya matahari, panas bumi, dan nuklir. Indonesia memiliki potensi pengembangan energi terbarukan dalam bidang gelombang laut, cahaya matahari, air, dan panas bumi. Namun dari semua ini, yang paling menjanjikan untuk menjadi peluang pengembangan energi terbarukan adalah energi air, panas bumi dan energi gelombang laut.

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara kepulauan terbesar di dunia. Selain negara kepulauan, Indonesia juga merupakan negara maritim sehingga memiliki kekayaan laut yang berlimpah. Kekayaan laut di Indonesia sangat berlimpah, mulai dari keanekaragaman hayati hingga sebagai sumber penghasil listrik yang ramah lingkungan. Walaupun Indonesia memiliki kekayaan laut yang berlimpah, Indonesia masih memiliki banyak kekurangan dalam pengoptimalan kekayaan alamnya. Kurangnya kemampuan Indonesia dalam pengoptimalan kekayaan lautnya, diakibatkan karena kurangnya teknologi yang menunjang di Indonesia. Oleh karena itu, Indonesia masih berjuang melakukan pengoptimalan teknologi energi terbarukan dalam menghasilkan listrik.[1]

Indonesia sebagai negara maritim terbesar di dunia, yang 2/3 wilayahnya merupakan wilayah lautan. Dengan luasnya wilayah lautan di Indonesia potensi gelombang laut dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan. Akan tetapi, pemanfaatan energi gelombang laut belum dilakukan. Padahal Indonesia mempunyai laut yang luas, dari laut yang berombak kecil, sedang dan besar ada di Indonesia. Dibandingkan dengan energi matahari dan angin, energi gelombang ini memberikan ketersediaan mencapai 70% dengan kawasan yang potensial tidak terbatas, selama ada ombak, energi listrik bisa didapatkan[2]. Potensi total energi baru terbarukan (EBT) mencapai 3.686 GW dan pemanfaatan yang terealisasi mencapai 11.612 MW sesuai dengan gambar berikut :

POTENSI DAN PEMANFAATAN EBT		
ENERGI	POTENSI (GW)	PEMANFAATAN (MW)
 SURYA	3.295	221
 HIDRO	95	6.660
 BIOENERGI	57	2.284
 BAYU	155	154
 PANAS BUMI	24	2.293
 LAUT	60	0
TOTAL	3.686	11.612

Kat. *) Realisasi Juni 2022
Potensi Nuklir Uranium 89.453 ton - Thorium 113.234 ton
Direktorat Jenderal ERTNE (5707)

Gambar 1 Potensi dan Pemanfaatan EBT di Indonesia [3]

Pada penelitian ini akan dibahas pemanfaatan gelombang laut sebagai energi alternatif dengan teknologi oscillating water column (OWC) sebagai konversi energi gelombang laut. Selain itu, oscillating water column (OWC) merupakan teknologi yang paling banyak dipelajari dan dapat menghasilkan energi listrik yang cukup baik, dikarenakan memanfaatkan ruang pneumatik dalam mengkonversi osilasi air laut menjadi energi listrik.[4]

Pada dasarnya prinsip teknologi untuk mengubah energi gelombang laut menjadi energi listrik adalah dengan mengakumulasi energi gelombang laut untuk memutar turbin. Oleh karena itu sangat penting untuk memilih lokasi di mana topografi memungkinkan terjadinya akumulasi energi gelombang[5]. Meskipun studi untuk mendapatkan teknologi optimal di beberapa konverter energi gelombang laut masih terus dilakukan[6] dalam berbagai metode, penelitian di bidang energi gelombang masih menjadi salah satu topik yang menarik karena setiap tempat memiliki gelombang yang unik dan spesifik yang akan mempengaruhi hasil yang diperoleh energi.

Saat ini, ada beberapa teknologi alternatif untuk menghasilkan listrik. Setiap teknologi memilikinya sendiri keuntungan dan kerugian. Salah satu alternatif tersebut adalah teknologi yang disebut sistem Oscillating Water Column (OWC) [7] yang telah berhasil diterapkan di pesisir Bantul Jogjakarta. Penelitian ini menerapkan teknologi OWC di Pantai Melawai, sebuah pantai yang terletak di Kota Balikpapan. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan sebagai langkah awal untuk membangun pembangkit energi bersumber gelombang dengan menggunakan

sistem *Oscillating Water Column* berdasarkan data di Pantai Melawai merupakan topik yang menarik.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka penulis melakukan penelitian studi “**Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Kolom Air Berosilasi di Pantai Melawai Kota Balikpapan**”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, ada beberapa permasalahan yang dapat dirumuskan antara lain :

1. Bagaimana pengaruh variable tinggi gelombang dan lebar kolektor menggunakan perhitungan secara teori terhadap daya gelombang di Pantai Melawai Kota Balikpapan?
2. Bagaimana pengaruh tinggi gelombang dan lebar kolom kolektor pada nilai torsi yang terdapat pada turbin menggunakan simulasi CFD?
3. Berapa besar potensi daya listrik yang dapat dibangkitkan oleh PLTGL di Pantai Melawai Kota Balikpapan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, ada beberapa tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Menganalisis pengaruh variable tinggi gelombang dan lebar kolektor menggunakan perhitungan secara teori terhadap daya gelombang di Pantai Melawai Kota Balikpapan.
2. Menganalisis pengaruh tinggi gelombang dan lebar kolom kolektor pada nilai torsi yang terdapat pada turbin menggunakan simulasi CFD
3. Menentukan besar potensi daya yang dapat dibangkitkan oleh PLTGL di Pantai Melawai Kota Balikpapan.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain :

1. Jenis PLTGL yang digunakan adalah tipe OWC (*Oscillating Water Column*).
2. Menggunakan keadaan laut untuk menghitung potensi daya pada Pantai Melawai Kota Balikpapan yang sudah dihitung dan diambil melalui BMKG Balikpapan dan website *European Centre for Medium-Range Weather*

Forecast (ECMWF) data ketinggian gelombang tahun 2022[8].

3. Peneliti menggunakan software CFD (*Ansys CFX*) untuk memodelkan dan menganalisa.
4. Desain kolektor yang dianalisis menggunakan desain kolektor pada PLTO Islay-Limpet.
5. Hanya menggunakan satu jenis turbin tipe Wells Turbin seperti pada Islay-Limpet.
6. Tidak membahas tinjauan secara ekonomi dalam penelitian ini.
Tidak membahas perhitungan parameter turbin angin dan generator.
Tidak dibahas secara detail tentang fondasi dan bahan bangunan dari PLTGL OWC.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui potensi pemanfaatan energi terbarukan dari gelombang laut di Indonesia khususnya Pantai Melawai, Kota Balikpapan.
2. Sebagai referensi bagi mahasiswa lain yang akan melakukan penelitian tentang potensi energi terbarukan di Indonesia.
3. Hasil penelitian dapat dipertimbangkan sebagai acuan untuk melihat potensi pembangkitan energi listrik dari energi terbarukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Keadaan Perairan Pantai Melawai

Pantai Melawai merupakan salah satu objek wisata yang terkenal di Balikpapan dengan pemandangan khas Balikpapan. Pemandangan khas Balikpapan tersebut dapat terlihat dari berbagai aktivitas dan fasilitas serta bangunan yang berdiri di sekitar pantai ini. Di bagian perairannya, kamu dapat melihat berbagai jenis kapal, mulai dari perahu nelayan, kapal tongkang, hingga kapal tanker. Sedangkan di bagian daratan, kita dapat melihat keramaian lalu lintas, gedung-gedung dan kantor-kantor berbagai perusahaan tambang, hotel, cafe dan berbagai bangunan lainnya. Pantai Melawai bukan merupakan pantai dengan pasir putih, melainkan sebuah pantai yang dibatasi batu karang namun menyajikan pemandangan khas Balikpapan. Menurut sejarah yang ada, Pantai Melawai dahulu merupakan sebuah tempat pengeboran minyak pertama di Indonesia. Pantai ini sebenarnya juga merupakan sebuah teluk. Walaupun sebagai tempat pengeboran minyak, Pantai Melawai ini tetap menawarkan pesona yang berbeda dari pantai pada umumnya. Pada penelitian ini data gelombang laut yang digunakan adalah data ketinggian gelombang laut signifikan. Adapun sumber dari data tersebut adalah dari European Centre for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF) menggunakan data dari ERA5 Copernicus[8]. Data tinggi gelombang laut signifikan yang digunakan adalah data tinggi gelombang laut signifikan yang terjadi pada bulan Januari 2019-2021 di koordinat $1^{\circ} 16' 12''$ S ke $1^{\circ} 16' 48''$ S dan $116^{\circ} 47' 60''$ E ke $116^{\circ} 48' 36''$ E. Ketinggian gelombang laut di Pantai Melawai berkisar antara 0,211 sampai dengan 0,413 meter dari website ECMWF[8] dan 1,398 sampai dengan 1,403 meter sesuai dengan data yang didapatkan dari BMKG seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Data Ketinggian Gelombang Laut Pantai Melawai Tahun 2022

Tinggi Gelombang Tahun 2022		
Bulan	H(m)	
	BMKG	ECMWF
1	1,403	0,263
2	1,4	0,289
3	1,4	0,211
4	1,398	0,220
5	1,399	0,235
6	1,401	0,268
7	1,4	0,412
8	1,402	0,413
9	1,397	0,369
10	1,403	0,258
11	1,399	0,219
12	1,402	0,228

2.2 Energi Gelombang Laut

Gelombang laut merupakan pergerakan naik turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva atau grafik sinusoidal. Angin di atas lautan memindahkan tenaganya ke permukaan perairan, menyebabkan riak-riak, alunan atau bukit, dan berubah menjadi apa yang disebut sebagai gelombang atau ombak. Prinsip dasar terjadinya gelombang laut adalah jika dua massa yang berbeda kerapatannya (densitasnya) bergesekan satu sama lain, maka pada bidang geraknya akan terbentuk gelombang.[9]

Gelombang permukaan merupakan gambaran yang sederhana untuk menunjukkan bentuk dari suatu energi lautan. Gejala energi gelombang bersumber pada fenomena-fenomena sebagai berikut:[10]

- a) Benda (body) yang bergerak pada atau dekat permukaan yang menyebabkan terjadinya gelombang dengan periode kecil, energi kecil pula.
- b) Angin merupakan sumber penyebab utama gelombang lautan.
- c) Gangguan seismik yang menyebabkan terjadinya gelombang pasang atau tsunami. Contoh gangguan seismik adalah: gempa bumi, dll.
- d) Medan gravitasi bumi dan bulan penyebab gelombang-gelombang

besar, terutama menyebabkan gelombang pasang yang tinggi.

Panjang dan kecepatan gelombang laut dipengaruhi oleh periode datangnya gelombang. Periode datangnya gelombang dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang disarankan oleh Kim Nielsen pada tahun 1986 sesuai Persamaan 1:

$$T = 3,55\sqrt{h} \quad (1)$$

Pada penelitian ini, tipe gelombang yang terdapat pada lokasi penempatan PLTGL adalah tipe gelombang laut dangkal, hal ini dikarenakan PLTGL tipe OWC terletak di garis pantai yang merupakan perairan laut dangkal. Jika persamaan untuk cepat rambat gelombang menurut Ahmad Zakaria pada tahun 2009 pada Persamaan (2):

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \left(\frac{2\pi h}{\lambda} \right) \quad (2)$$

Dan Persamaan (3) digunakan untuk panjang gelombang adalah :

$$\lambda = C T = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (3)$$

Sehingga Persamaan (4) digunakan untuk cepat rambat gelombang adalah :

$$C = \frac{gT}{2\pi} \quad (4)$$

dengan:

g : gravitasi bumi (9,81 m/s²)

T : periode gelombang (s)

λ : panjang gelombang (m)

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

of Michigan pada tahun 2008 pada Persamaan (5) adalah sebagai berikut:

$$E_p = mg \frac{y(x,t)}{2} \quad (5)$$

Maka persamaan energi potensial ini dapat ditulis sebagai Persamaan (6) berikut ini :

$$E_p = w\rho g \frac{y^2}{2} = w\rho g \frac{a^2}{2} \sin^2(kx - \omega) \quad (6)$$

Selanjutnya dihitung besarnya energi potensial gelombang lebih dari 1 periode, diasumsikan bahwa gelombang hanya merupakan fungsi dari x terhadap waktu, sehingga didapatkan persamaan $y(x,t) = y(x)$. Jadi Persamaan (7) dapat ditulis menjadi :

$$dE_p = 0,5 w\rho g a^2 \sin^2(kx - \omega) \quad (7)$$

dengan:

$m = wpy$: massa gelombang (kg)

ρ : massa jenis air laut (kg/m³)

w : lebar gelombang (m) (diasumsikan sama dengan lebar chamber pada OWC).

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

a = amplitudo gelombang.

h = ketinggian gelombang (m)

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$: konstanta gelombang

λ = panjang gelombang (m)

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

T : periode gelombang (s)

Berdasarkan persamaan $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ dan $\omega = \frac{2\pi}{T}$, maka didapatkan Persamaan

(8):

$$E_p = \frac{1}{4} w\rho g a^2 \lambda \quad (8)$$

Besarnya energi kinetik lebih dari 1 periode adalah sebanding dengan besarnya energi potensial yang dihasilkan sehingga energi kinetik dapat ditulis sesuai Persamaan (2.11) berikut ini:

$$E_K = \frac{1}{4} w \rho g a^2 \lambda \quad (9)$$

Dimana energi kinetik adalah bagian energi yang berhubungan dengan gerakan dari gelombang laut. Setelah besarnya energi potensial dan energi kinetik diketahui, maka dapat dihitung total energi yang dihasilkan selama lebih dari 1 periode dapat dicari dengan menggunakan Persamaan (10) berikut ini :

$$E_w = E_M = E_P + E_K = \frac{1}{2} w \rho g a^2 \lambda \quad (10)$$

Total energi yang dimaksud disini adalah jumlah besarnya energi yang dihasilkan gelombang laut yang didapatkan melalui penjumlahan energi potensial dan energi kinetik yang dimilikinya. Melalui persamaan diatas, maka dapat dihitung besarnya daya ombak (P_w) yang dihasilkan . Untuk menentukan besarnya daya ombak (P_w) digunakan Persamaan (11) berikut ini :

$$P_w = \frac{1}{2T} w \rho g a^2 \lambda \quad (11)$$

dengan:

w: lebar ombak (m)

ρ : berat jenis air (1030 kg/m³)

g : gravitasi bumi (9,81 m/s²)

T : periode gelombang (s)

a : amplitude gelombang (H/2)

H : tinggi gelombang (m)

2.3 Metode Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut

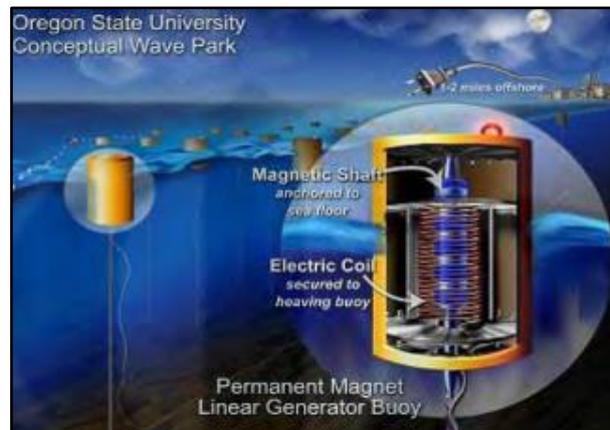
Berbagai macam metode yang dapat digunakan untuk pemanfaatan gelombang laut sebagai penghasil energi listrik, diantaranya adalah :

2.3.1 *Permanent Magnet Linear Buoy*

Berbeda dengan buoy yang digunakan untuk mendeteksi gelombang laut yang menyimpan potensi tsunami. Prinsip dasar buoy penghasil listrik ini yaitu dengan mengapungkannya di permukaan. Gelombang laut yang terus mengalir dan

berirama bolak-balik dalam buoy ini akan diubah menjadi gerakan harmonis listrik. Sekilas bila dilihat dari bentuknya, buoy ini mirip dengan dinamo sepeda.

Bentuknya silindris dengan perangkat penghasil listrik pada bagian dalamnya. Buoy diapungkan di permukaan laut dengan posisi sebagian tenggelam dan sebagian lagi mengapung. Kuncinya, terdapat pada perangkat elektrik yang berupa koil (kumparan yang mengelilingi batang magnet di dalam buoy). Saat ombak mencapai pelampung, maka pelampung akan bergerak naik dan turun secara relatif terhadap batang magnet sehingga bisa menimbulkan beda potensial dan listrik dibangkitkan. Agar dapat bergerak, koil tersebut ditempelkan pada pelampung yang dikaitkan ke dasar laut. Sistem ini diletakkan kurang lebih satu atau dua mil laut dari pantai. Kondisi ombak yang cukup kuat dan mengayun dengan gelombang yang lebih besar akan menghasilkan listrik dengan tegangan yang lebih tinggi.[5]



Gambar 2 Sistem Buoy[5]

2.3.2 Sistem Pelamis

Sistem pelamis dikembangkan oleh ocean power delivery, pada sistem ini terdapat tabung-tabung yang sekilas terlihat seperti ular yang mengambang di permukaan laut sebagai penghasil listrik. Setiap tabung memiliki panjang sekitar 122 meter dan terbagi menjadi empat segmen

Setiap ombak yang melalui alat ini akan menyebabkan tabung silinder tersebut bergerak secara vertikal maupun lateral. Gerakan yang ditimbulkan akan mendorong piston diantara tiap sambungan segmen yang selanjutnya memompa cairan hidrolik bertekanan melalui sebuah motor untuk menggerakkan generator listrik.[5]

Supaya tidak ikut terbawa arus, setiap tabung ditahan di dasar laut

menggunakan jangkar khusus. Prinsipnya menggunakan gerakan naik turun dari ombak untuk menggerakkan piston yang bergerak naik turun pula di dalam sebuah silinder.



Gambar 3 Pelamis Wave Energy Converter[5]

2.3.3 Sistem Sirip Ikan Hiu Buatan

Sistem ini dikembangkan oleh perusahaan inovatif BioPower System yang mengembangkan sirip ikan hiu buatan dan rumput laut mekanik untuk menangkap energi dari ombak. Ketika arus ombak menggoyang, sirip ekor mekanik dari samping ke samping, sebuah kotak gir akan mengubah gerakan osilasi tersebut menjadi gerakan searah yang menggerakkan sebuah generator magnetik. Rumput laut mekaniknya pun bekerja dengan cara yang sama, yaitu dengan menangkap arus ombak di permukaan laut dan menggunakan generator yang serupa untuk merubah pergerakan laut menjadi listrik.[5]

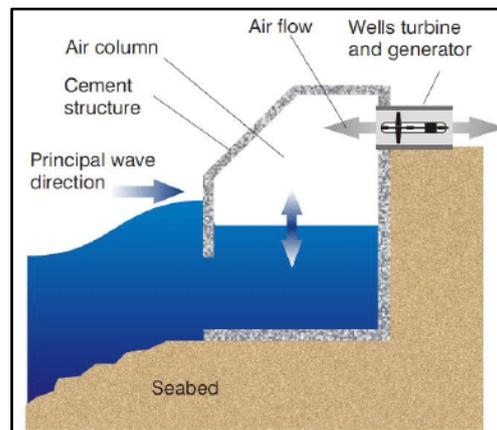
Dalam konfigurasi ini, mekanisme pendorong dibalik dan energi yang terdapat pada arus yang mengalir digunakan untuk mendorong gerakan perangkat terhadap torsi penahan dari sebuah generator listrik.



Gambar 4 *Biostream*[5]

2.3.4 Sistem *Oscillating Water Column*

Sistem ini membangkitkan listrik dari naik turunnya air laut akibat gelombang laut yang masuk kedalam sebuah kolom osilasi yang berlubang. Naik turunnya air laut ini akan mengakibatkan keluar masuknya udara di lubang bagian atas kolom dan tekanan yang dihasilkan dari naik turunnya air laut dalam kolom tersebut akan menggerakkan turbin.



Gambar 5 Skema *Oscillating Water Column*[5]

Tenaga mekanik yang dihasilkan dari sistem-sistem tersebut ada yang akan mengaktifkan generator secara langsung atau mentransfernya ke dalam fluida udara, yang selanjutnya akan menggerakkan turbin atau generator.

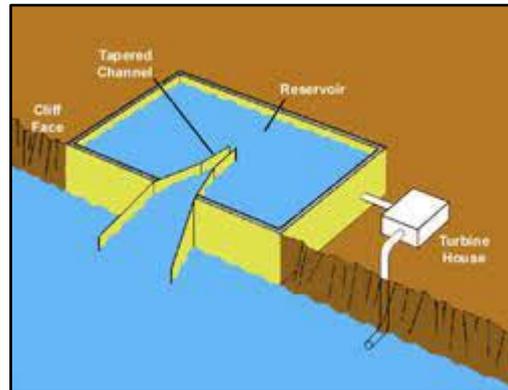
Gerakan naik turunnya air pada kolom osilasi diasumsikan sebagai piston hidraulik. Piston ini selanjutnya menekan udara yang berfungsi sebagai fluida udara. Udara yang bertekanan tersebut akan menggerakkan turbin udara yang selanjutnya menggerakkan generator listrik

Proses pengubahan dari energi gerak gelombang kepada energi potensial tekanan udara berlangsung secara isothermis. Pendekatan ini dipilih karena dalam proses kompresi ini dianggap tidak terjadi peningkatan temperature yang berarti. Besarnya kompresi tergantung kepada panjang langkah piston, sedangkan panjang langkah piston dipengaruhi oleh tinggi gelombang (H) dan efisiensi absorsi gelombang pada kolom osilasi.[5]

2.3.5 Sistem Kanal

Peralatan ini biasa juga disebut sebagai tapered channel atau kanal meruncing atau dapat juga disebut sistem tapchan, sistem ini dipasang pada sebuah struktur kanal yang dibangun di pantai untuk mengkonsentrasikan gelombang dan membawanya ke dalam kolam penampung yang ditinggikan. Air yang mengalir

keluar dari kolam penampung ini yang akan digunakan untuk membangkitkan listrik dengan menggunakan teknologi standar hydropower (prinsip dasar PLTA) dengan menyalurkan gelombang ke dalam reservoir atau kolam.[5]



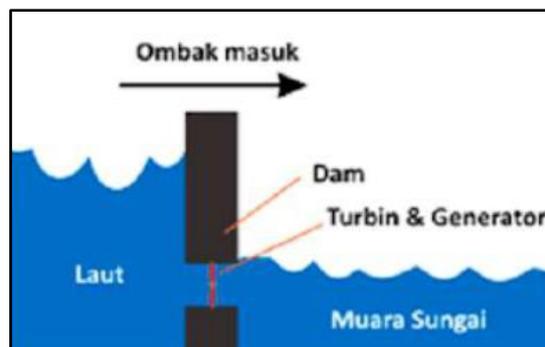
Gambar 6 Skema Sistem Kanal [5]

2.3.6 Sistem Pelampung

Sistem pelampung adalah sistem yang akan membangkitkan listrik dari hasil gerakan vertikal dan rotasional pelampung. Alat ini dapat ditambatkan pada sebuah rakit yang mengambang atau alat yang tertambat di dasar laut yang dapat menggerakkan pompa hidrolik.[5]

2.3.7 Energi Pasang Surut Air Laut

Bentuk lain dari energi kelautan yang dapat dimanfaatkan untuk dikonversi menjadi energi listrik dinamakan energi pasang surut. Ketika pasang datang ke pantai, air pasang tersebut ditampung di dalam reservoir. Kemudian ketika air surut, air di belakang reservoir dapat dialirkan seperti pada PLTA biasa. Agar bekerja optimal, kita membutuhkan gelombang pasang yang besar. dibutuhkan perbedaan kira-kira 16 kaki antara gelombang pasang dan gelombang surut.[5]



Gambar 7 Skema Pemanfaatan Energi Saat Pasang



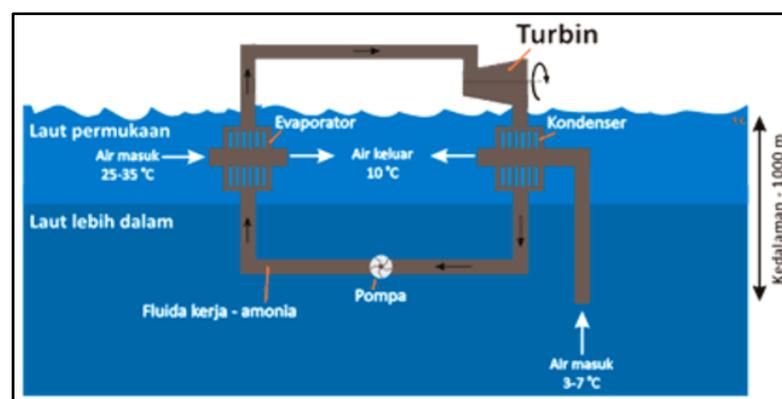
Gambar 8 Skema Pemanfaatan Energi Saat Surut

2.3.8 Ocean Thermal Energy

Cara lain untuk membangkitkan listrik dari energi yang ada di laut adalah dengan memanfaatkan perbedaan suhu di permukaan dan dasar laut. Jika kita berenang dan menyelam di laut kita akan merasakan bahwa semakin kita menyelam suhu laut akan semakin rendah (dingin).

Suhu yang lebih tinggi pada permukaan laut disebabkan sinar matahari memanasi permukaan laut. Tetapi, di bawah permukaan laut, suhu sangat dingin. Itulah sebabnya penyelam menggunakan baju khusus ketika mereka menyelam. Baju tersebut akan menjaga agar suhu tubuh mereka tetap hangat. [5]

Pembangkit listrik energi panas air laut bisa dibangun dengan memanfaatkan perbedaan suhu untuk menghasilkan energi. Perbedaan suhu yang diperlukan sekurang-kurangnya 38° fahrenheit antara suhu permukaan dan suhu bawah laut untuk keperluan ini. Cara ini dinamakan *Ocean Thermal Energy Conversion* atau OTEC.



Gambar 9 Skema Pemanfaatan *Ocean Thermal Energy* [5]

Berdasarkan siklus yang digunakan, OTEC dapat dibedakan menjadi tiga macam :

a. Siklus Tertutup

Pada alat ÓTEC dengan siklus tertutup, air laut permukaan yang hangat dimasukkan ke dalam alat penukar panas untuk menguapkan fluida yang mudah menguap misalnya seperti amonia. Uap amonia akan memutar turbin yang menggerakkan generator. Uap amonia keluaran turbin selanjutnya dikondensasi dengan air laut yang lebih dingin dan dikembalikan untuk diuapkan kembali.

b. Siklus Terbuka

Pada siklus terbuka, air laut pada permukaan yang hangat langsung diuapkan pada ruang khusus bertekanan rendah. Uap yang dihasilkan digunakan sebagai fluida penggerak turbin bertekanan rendah. Fluida uap keluaran turbin selanjutnya dikondensasi dengan air laut yang lebih dingin dan sebagai hasilnya diperoleh air desalinasi.

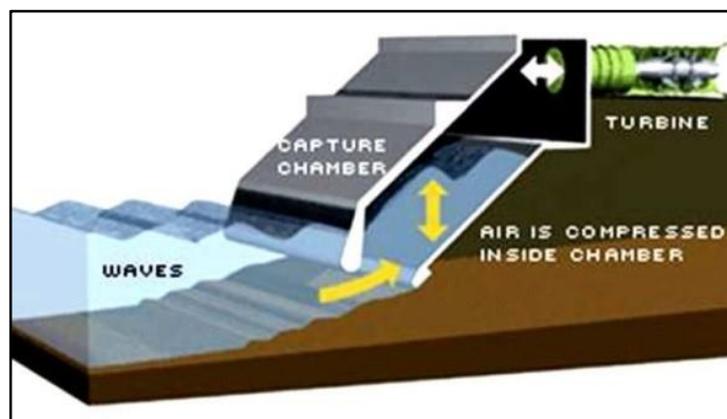
c. Siklus Gabungan

Pada siklus gabungan, air laut yang hangat masuk ke dalam ruang vakum untuk diuapkan dalam sekejap (flash-evaporated) menjadi uap(seperti siklus terbuka). Fluida uap tersebut kemudian menguapkan fluida kerja yang memutar turbin (seperti siklus tertutup). Selanjutnya Fluida kembali dikondensasi menjadi air desalinasi.

Fluida kerja yang populer digunakan adalah amonia karena tersedia dalam jumlah besar, murah, dan mudah ditransportasikan. Namun, amonia beracun dan mudah terbakar. Senyawa seperti CFC dan HCFC juga merupakan pilihan yang baik, sayangnya menimbulkan efek penipisan lapisan ozon. Hidrokarbon juga dapat digunakan, akan tetapi menjadi tidak ekonomis karena menjadikan OTEC sulit bersaing dengan pemanfaatan hidrokarbon secara, langsung. Selain itu, yang juga perlu diperhatikan adalah ukuran pembangkit listrik OTEC bergantung pada tekanan uap dari fluida kerja yang digunakan. Semakin tinggi tekanan uapnya maka semakin kecil ukuran turbin dan alat penukar panas yang dibutuhkan, sementara ukuran tebal pipa dan alat penukar panas bertambah untuk menahan tingginya tekanan terutama pada bagian evaporator.

2.4 Oscillating Water Column (OWC)

Di antara beberapa perangkat yang telah dikembangkan untuk energi gelombang konversi adalah Oscillating Water Column (OWC). Perangkat ini adalah gelombang konversi energi yang paling banyak dipelajari dalam beberapa tahun terakhir[11]. Oscillating Water Column (OWC) adalah perangkat yang mengubah energi mekanik gelombang menjadi tenaga listrik. Gelombang masuk ke chamber untuk memampatkan dan mendekomposisi udara di sekitar *Still Water Level* (SWL) sehingga beresilasi aliran udara akan dibuat. Aliran udara ini dilewatkan melalui sistem *power take-off* (PTO) yang terdiri dari turbin dan generator induksi yang mengubah gerakan ini menjadi tenaga listrik.[12]



Gambar 10 Skema OWC[13]

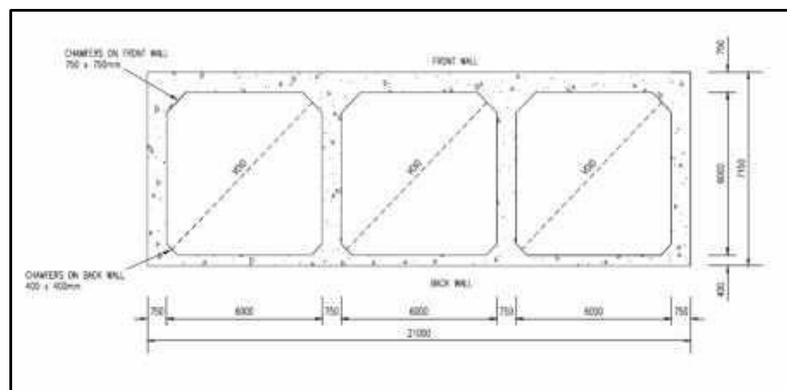
Kesemuanya ini di rencanakan untuk membangkitkan energi listrik melalui turbin generator yang dapat berputar karena tekanan udara yang di sebabkan oleh gerakan naik turunnya gelombang didalam ruang udara tetap. Gerakan naik turunnya air pada kolom osilasi diasumsikan sebagai piston hidraulik. Piston ini selanjutnya menekan udara yang berfungsi sebagai fluida udara. Udara yang bertekanan tersebut akan menggerakkan turbin udara yang selanjutnya menggerakkan generator listrik. Proses pengubahan dari energi gerak gelombang kepada energi potensial tekanan udara berlangsung secara isothermis. Pendekatan ini dipilih karena dalam proses kompresi ini dianggap tidak terjadi peningkatan temperature yang berarti. Besarnya kompresi tergantung kepada panjang langkah piston, sedangkan panjang langkah piston dipengaruhi oleh tinggi gelombang (H) dan efisiensi absorsi gelombang pada kolom osilasi.[5]

2.5 Komponen Utama Oscillating Water Column

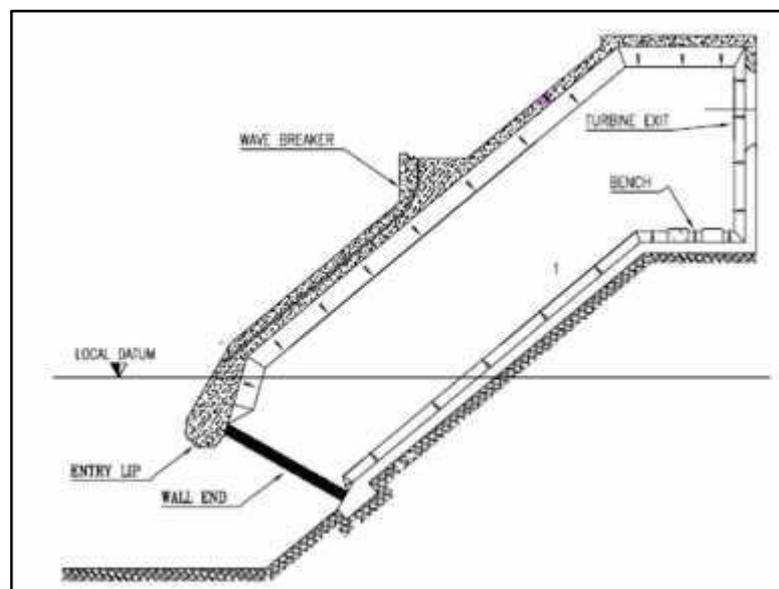
Pada Oscillating Water Column terdapat beberapa komponen utama sehingga dapat menghasilkan daya yang dapat dirubah menjadi energi listrik, komponen turbin yang paling utama dibagi menjadi 3 bagian, yaitu Kolektor (Chamber), Turbin Angin, dan Generator.

2.5.1 Kolektor (*Chamber*)

Kolektor atau biasa disebut juga ruang udara ataupun Chamber adalah bangunan yang berfungsi untuk mengumpulkan ombak sebanyak banyaknya. Dari data yang diperoleh yaitu ketinggian gelombang laut, periode gelombang laut dan lebar kolom kolektor dapat dihitung besarnya daya yang masuk ke dalam kolektor. Pada kolektor terdapat lubang orifice yang menghubungkan kolektor dengan turbin angin. Pada orifice terdapat gaya dan tekanan angin yang digunakan untuk memutar turbin.



Gambar 11 Tampak Depan Penampang Kolektor OWC[14]



Gambar 12 Tampak samping kolektor OWC[14]

Dari Gambar 11 dan Gambar 12 terlihat dimensi dari PLTGL Limpet dengan lebar kolom 6x6 meter dengan ketebalan dinding 750 mm pada bagian depan dan 400 mm pada bagian belakang. Tabel 2 berikut adalah referensi ukuran PLTGL Limpet-Irlandia :

Tabel 2 Referensi Tinggi Kolektor [14]

Section	Dimension (m)
Collector Roof	12.50
Turbine Axis	9.84
Top of Turbine Slab	8.30
Bench Level Inside Collector	4.94
Top of Wave Breaker on Front Wall	8.30
Start of 60 Slope on Front Wall	2.40
Mean High Water Spring Tides	0.76
Local Datum	0.00
Mean Low Water Spring Tides	-1.34
Underside of Entry Lip	-2.63
Bottom of Diaphragm Walls	-4.52
Sea Bed Under Lip	-7.00

2.5.2 Turbin Angin

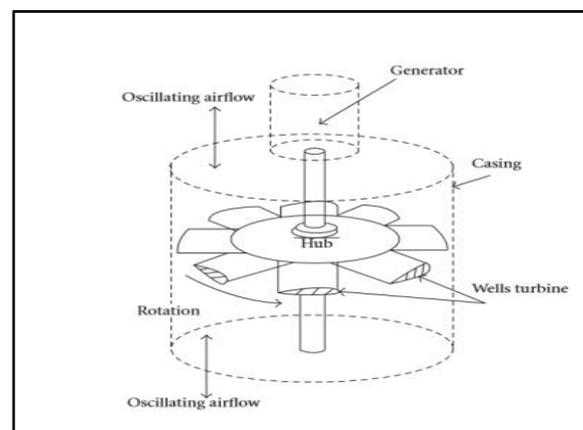
Turbin angin pada Oscillating Water Column berfungsi merubah tekanan udara yang dihasilkan oleh kolektor menjadi energi gerak. Prinsip kerja dari turbin angin adalah mengubah energi mekanis dari tekanan udara menjadi energi putar pada turbin, lalu putaran turbin digunakan untuk memutar generator yang akhirnya menghasilkan energi listrik. Umumnya daya efektif yang dapat dihasilkan oleh turbin angin hanya sebesar 20%-30%.[5]

Turbin angin bersifat searah atau unidirectional sehingga udara tiaup dan hisap yang dihasilkan kolektor menyebabkan turbin angin tetap berputar searah. Turbin angin yang umum digunakan Professor Alan Wells dari Queens University. Parameter turbin angin yang digunakan sesuai Tabel 3 adalah:

Tabel 3 Parameter Turbin Angin [14]

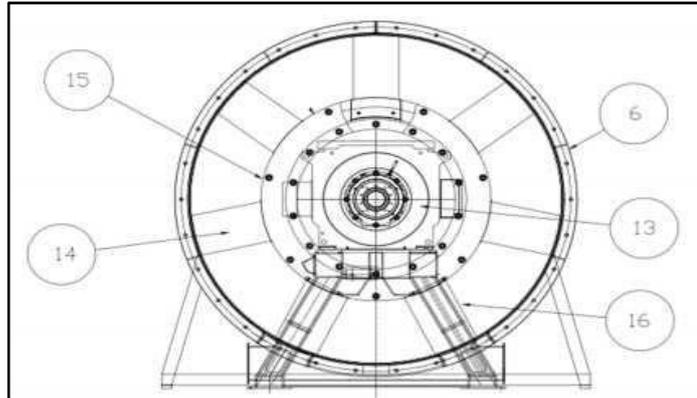
Turbine Diameter	Nominal Operating Speed	Number of Turbines	Blade Form	Number Of Blades	Blade Chord	Hub to Tip Ratio
2.6m	1050 rpm	2	NACA0012	7	320mm	0.62

Prinsip dasar kerja dari turbin udara adalah mengubah energi mekanis dari tekanan udara menjadi energi putar pada turbin, lalu putaran turbin digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik. Gelombang laut mendorong kantong udara sebuah pemecah gelombang ke atas dan ke bawah. Kemudian udara akan melewati turbin udara. Selanjutnya, ketika gelombang kembali ke laut, udara tadi akan beredar melalui turbin pada arah yang sebaliknya.[5]



Gambar 13 Skema diagram Turbin Wells

Turbin Wells diletakkan pada *duct* dengan diameter 2,6m dengan panjang 1342mm, pada ujung tiap *duct* terdapat *Butterfly Valve* yang berfungsi sebagai katup, fungsi utama dari katup ini adalah untuk mengatur besarnya udara yang masuk ke dalam *duct* yang mempengaruhi putaran turbin angin. Selain itu fungsi dari katup ini adalah untuk mengisolasi turbin angin dari kolektor pada saat perbaikan ataupun kondisi darurat.



Gambar 14 Turbin dan generator tampak depan

Dari Gambar 14 terlihat bahwa generator dan turbin angin terhubung pada duct menggunakan frame penyangga yang diletakkan pada dinding beton PLTGL yang terhubung dengan kolom konektor.

Untuk menghitung daya yang dihasilkan turbin angin pada pembangkit membutuhkan nilai torsi dari turbin. Nilai torsi pada turbin didapatkan dari hasil uji coba model menggunakan software *Ansys CFX*.

Setelah diketahui torsi yang dihasilkan turbin, selanjutnya dapat menghitung besar daya yang dihasilkan turbin sesuai dengan Persamaan (12) :

$$P_T = \omega \tau = \frac{2\pi n}{60} \tau \quad (12)$$

dengan :

P_T : daya yang dihasilkan turbin (W)

τ : torsi turbin (Nm)

n : Putaran turbin (m)

Pada kenyataannya daya efektif yang dapat dipanen dari turbin hanya sekitar 20%-30% dari daya total sehingga hasil dari daya yang dihasilkan turbin akan dikalikan dengan nilai tengah dari daya efektif yang dipanen yaitu 25%. Oleh karena itu, daya efektif dapat dihitung sesuai dengan Persamaan (13):

$$P_E = P_T \times \eta \quad (13)$$

dengan :

P_E : daya efektif yang dihasilkan turbin (W)

P_T : daya yang dihasilkan turbin (W)

η : efisiensi turbin (%)

2.5.3 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.[5]

2.6 Kelebihan dan Kekurangan PLTGL OWC

Adapun kelebihan dan kekurangan dari PLTGL tipe Oscillating Water Column adalah sebagai berikut :[5]

Kelebihan :

- a) Teknologi OWC telah dikembangkan selama lebih dari tiga puluh tahun sehingga OWC sangat fleksibel untuk semua karakteristik laut dan dapat beroperasi sangat efisien pada daerah dengan densitas daya gelombang yang rendah. Maka dari itu OWC menjadi teknologi pemanfaatan gelombang laut yang paling populer.
- b) Turbin angin pada system OWC adalah turbin yang berputar searah yang cocok untuk aerodinamis.
- c) Sebagian besar system OWC terletak di daratan sehingga sangat fleksibel untuk menghubungkan daya listrik yang dihasilkan ke dalam jaringan listrik.
- d) Sebagian besar system OWC terbuat dari baja dan beton, sehingga memiliki kerangka yang sangat stabil dan memiliki umur pemakaian yang lama.
- e) Seluruh system control pada OWC dikendalikan oleh remote komputer.
- f) Perawatan dan operasi system OWC membutuhkan biaya yang rendah.

Kekurangan :

- a) Konversi energi system OWC memiliki total efisiensi yang sangat rendah terutama turbin angin dan generator, hal ini disebabkan proses konversi yang kompleks dan efisiensi turbin angin yang rendah.
- b) Selama pembangunan system OWC terdapat banyak permasalahan, kondisi iklim yang buruk akan merusak struktur bangunan dan meningkatkan biaya modal investasi.
- c) Kebanyakan system OWC dipasang di pantai yang merupakan wilayah perairan dangkal, hal ini menyebabkan kerapatan daya gelombang laut menjadi rendah.

2.7 Perkiraan Potensi Daya Listrik Yang Dibangkitkan

Dalam menghitung besarnya potensi daya listrik yang dapat dibangkitkan oleh PLTGL tipe OWC di Pantai Melawai Kota Balikpapan adalah dengan mengetahui daya mekanik yang dihasilkan turbin angin sebagai penggerak rotor generator. Daya mekanik yang dihasilkan turbin angin digunakan sebagai dasar acuan pemilihan generator. Setelah didapatkan spesifikasi dan efisiensi generator, maka perhitungan daya listrik dapat dibangkitkan dengan PLTGL dengan Persamaan (14).

$$P_G = P_T \times \eta_G \quad (14)$$

dengan:

- P_G : daya listrik yang dibangkitkan generator (W)
- P_E : daya efektif yang dihasilkan turbin angin (W)
- η_G : efisiensi generator