# SKRIPSI

# STUDI POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT (PLTGL) MENGGUNAKAN *OSCILLATING WATER COLOUMN* (OWC) DI PERAIRAN BARAT SELAYAR

**Disusun dan diajukan oleh:**

**YOFLIN LINGGI ALLO**
**D041 20 1117**

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO**
**FAKULTAS TEKNIK**
**UNIVERSITAS HASANUDDIN**
**GOWA**
**2024**

# LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

## STUDI POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT (PLTGL) MENGGUNAKAN *OSCILLATING WATER COLOUMN* (OWC) DI PERAIRAN BARAT SELAYAR

Disusun dan diajukan oleh

**Yoflin Linggi Allo**
**D041201117**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 02 Oktober 2024
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Prof. Ir. M Bachtiar Nappu, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.
NIP. 197604062003121002

Pembimbing Pendamping

Ir. Tajuddin Wanis, MT.
NIP. 196504241992031003

Ketua Program Studi,

Prof. Dr. Ing. Ir. Faizal Arya Samman, ST, MT, IPU, AseanEng, ACPE
NIP. 197506052002121004

# PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:
Nama : Yoflin Linggi Allo
NIM : D041201117
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**STUDI POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT (PLTGL) MENGGUNAKAN *OSCILLATING WATER COLOUMN* (OWC) DI PERAIRAN BARAT SELAYAR**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil 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 dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi 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 karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 09 Oktober 2024

Yang Menyatakan

Yoflin Linggi Allo

# KATA PENGANTAR

Skripsi ini berjudul "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) menggunakan *Oscillating Water Coloumn* (OWC) Di Perairan Barat Selayar".

Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan tugas akhir ini banyak tantangan dan kendala yang dihadapi. Namun, berkat penyertaan dan pertolongan Tuhan Yesus Kristus serta bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, akhirnya tugas akhir ini dapat terselesaikan. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan dan doa dalam penyusunan tugas akhir ini hingga selesai. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Zet Yantho Linggi Allo dan Ibu Ridriani Andolang, penulis ucapkan terima kasih tak terhingga untuk kedua orang tua yang selalu sabar dalam mendidik dan selalu siap memberikan yang terbaik kepada penulis serta selalu setia memberi dukungan, motivasi, dan doa sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat selesai dengan baik.
2. Kakak penulis yaitu, Sufilia Deby Linggi Allo, penulis sangat berterima kasih atas kehadiran kakak penulis yang selalu mendukung serta mendoakan setiap keputusan penulis. Tak lupa penulis juga berterimakasih kepada seluruh keluarga yang senantiasa memberikan doa dan dukungan dalam bentuk apapun sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak Prof. Ir. M. Bachtiar Nappu, ST., M.T., M.phil., Ph.D selaku pembimbing I dan Bapak Ir. Tajuddin Waris, MT. selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan dan motivasi, serta berbagi ilmu selama penelitian dan pengerjaan skripsi ini.
4. Ibu Ir. Hasniaty A, ST., MT., Ph.D dan Ibu Prof. Ir. Ardiaty Arief, ST., MTM., Ph.D selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik, saran, dan arahan dalam penyelesaian skripsi ini.

5. Prof. Dr.-Ing. Ir. Faizal Arya Samman, ST, MT, IPU, AseanEng, ACPE. dan Ibu Dr. A. Ejah Umraeni Salam, S.T, M.T. selaku Ketua dan Sekretaris Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Seluruh dosen dan staf pegawai di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah mengajar, mendidik, dan memberi saran selama masa kuliah.
7. Keluarga ARROW OF GOD, PIONEERS, VOLTAGE dan FIRE KEEPER yang telah memberikan pengalaman, cerita, dan doa selama penulis berada di Kampus Teknik Universitas Hasanuddin.
8. LONDONG09 sebagai tempat berbagi cerita dan pengalaman selama penulis berada di Kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
9. Rendy, Reiky, Andi, Natasya, Febe, Rahel, Nada, Hardianto, Kelvin, Anderson dkk yang telah menjadi tempat penulis untuk berbagi suka dan duka, serta mengajarkan penulis bahwa keluarga bukanlah tentang keturunan, akan tetapi tentang rasa cinta dan perhatian yang tumbuh diantara sesama.
10. Teman-teman di Laboratorium Power System yaitu Salsah, Rahel, Anderson, Jorgio, Owen, Muflih, Febe, dan Ponno yang bersama-sama dengan penulis dalam mengerjakan skripsi hingga selesai.
11. Keluarga Energi yang telah bersama menjalani mata kuliah konsentrasi energi, khususnya saat menjalani Praktikum Teknik Tenaga Listrik atas dukungan, bantuan, pengalaman, dan motivasinya.
12. Saudara PROCEZ20R yang telah menjadi teman seperjuangan, memberi banyak kisah, cerita, motivasi, dan waktunya selama menempuh perkuliahan.
13. NIM 2110035 sebagai *support system* yang baik selama penulis mengerjakan tugas akhir, terima kasih untuk setiap dukungan, bantuan dan doa yang diberikan sehingga penulisan tugas akhir ini dapat selesai dengan baik
14. Semua pihak yang telah memberi bantuan, dukungan, serta doa yang tidak dapat disebutkan.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak guna dijadikan bahan evaluasi untuk meningkatkan kualitas kedepannya. Skripsi ini adalah kolaborasi dalam eksplorasi ilmu dan kreativitas. Setiap tokoh yang terlibat berperan penting dalam melengkapi setiap lembaran skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini membawa inspirasi bagi para pembaca dan dapat menjadi insan cendekiawan yang mencapai batas kebebasan.

Gowa, 19 Agustus 2024

Yoflin linggi Allo

# ABSTRAK

**YOFLIN LINGGI ALLO.** *Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Oscillating Water Coloumn di Perairan Barat Selayar.* (dibimbing oleh M. Bachtiar Nappu dan Tajuddin Waris)

Indonesia memiliki luas laut dan perairan sekitar 70% dari total wilayahnya, sehingga potensi energi yang prospek untuk dikembangkan yaitu pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL). Menurut data harian dari BMKG perairan Barat Selayar memiliki tinggi gelombang yang potensial yaitu berada pada kategori sedang dan konstan sekitar 1,25m – 2,5 m. Adapun teknologi yang digunakan yaitu *Oscillating Water Coloumn* (OWC) karena memiliki kelebihan dalam proses konstruksi dan pengoperasiannya yang tidak memerlukan daerah yang luas dan tidak merusak ekosistem laut yang ada serta dapat menghasilkan daya yang lebih stabil. Berdasarkan hasil analisa perhitungan potensi daya rata-rata yang dapat dibangkitkan sebesar 107,016kW dengan efisiensi sebesar 20%. Pada penelitian ini analisis ekonomi menggunakan metode NPV, IRR, dan Payback Periode, dimana NPV mendapatkan nilai positif sebesar 24,52 miliar, IRR sebesar 23% dan Payback period didapatkan setelah 5,06 tahun dengan target 10 tahun penggunaan. Dengan menggunakan pembangkit listrik tenaga gelombang laut pada perairan Barat Selayar dengan menggunakan *Oscillating Water Coloumn* dapat mengurangi emisi karbon sebesar 2.465,28kg$CO_2$ dengan batubara jenis sub-bituminious dan 2.593,68kg$CO_2$ dengan batubara jenis lignite.

Kata Kunci : Pembangkit listrik tenaga gelombang laut, *Oscillating Water Coloumn,* ekonomi, emisi karbon.

# ABSTRACT

**YOFLIN LINGGI ALLO**. Study of the Potential for Ocean Wave Power Generation Using Oscillating Water Columns in the West Selayar Waters. (supervised by M. Bachtiar Nappu and Tajuddin Waris)

Indonesia has a sea and water area of around 70% of its total territory, so the energy potential that has prospects for development is ocean wave power plants (PLTGL). According to daily data from BMKG, the waters of West Selayar have the potential for high waves, namely in the medium and constant category, around 1,25m – 2,5 m. The technology used is the Oscillating Water Column (OWC) because it has advantages in the construction and operation process which does not require a large area and does not damage the existing marine ecosystem and can produce more stable power. Based on the results of the analysis, the average potential power that can be generated is 107,016kW with an efficiency of 20%. In this research, the economic analysis uses the NPV, IRR and Payback Period methods, where the NPV gets a positive value of 24,52 billion, the IRR is 23% and the Payback period is obtained after 5,06 years with a target of 10 years of use. By using a sea wave power plant in the West Selayar waters using an Oscillating Water Column, carbon emissions can be reduced by 2.465,28kg$CO_2$ with sub-bituminous coal and 2.593,68kg$CO_2$ with lignite coal.

Keywords: Ocean wave power plant, Oscillating Water Column, economy, carbon emissions.

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI ..... ii
PERNYATAAN KEASLIAN ..... iii
KATA PENGANTAR ..... iv
ABSTRAK ..... vii
ABSTRACT ..... viii
DAFTAR ISI ..... ix
DAFTAR TABEL ..... xii
DAFTAR GAMBAR ..... xiii
BAB I PENDAHULUAN ..... 1
1.1 Latar Belakang ..... 1
I.2 Rumusan Masalah ..... 3
1.3 Tujuan Penelitian ..... 3
1.4 Manfaat Penelitian ..... 3
1.5 Batasan Masalah ..... 4
1.6 Sistematika Penulisan ..... 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA ..... 5
2.1 Gelombang Laut ..... 5
2.2 Energi Gelombang Laut ..... 6
2.2.1 Energi potensial ..... 7
2.2.2 Energi kinetik ..... 8
2.2.3 Total Energi dan Daya ..... 8
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut ..... 10
2.3.1 Berdasarkan pada lokasi instalasi ..... 11
2.3.2 Berdasarkan prinsip kerja atau cara pengoperasiannya ..... 11
2.4 Komponen Peralatan Pada Pembangkit Listrik Gelombang Laut ..... 14
2.4.1 Turbin ..... 14
2.4.2 Turbin angin ..... 15
2.4.3 Generator ..... 16
2.5 Kategori Potensi Energi Gelombang Laut ..... 17
2.5.1 Potensi teoritis ..... 17
2.5.2 Potensi teknis ..... 17

2.5.3. Potensi praktis ..... 18
2.5.4 Potensi terakses ..... 18
2.5.5 Potensi layak dikembangkan ..... 18
2.6 Analisis Ekonomi ..... 18
2.6.1 *Net present value* (NPV) ..... 18
2.6.2 *Internal of return* (IRR) ..... 19
2.6.3 *Payback period* (PBP) ..... 20
2.7 Emisi Karbon ..... 20
BAB III METODE PENELITIAN ..... 32
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian ..... 32
3.2 Alat dan Bahan Penelitian ..... 32
3.3 Teknik Pengumpulan Data ..... 33
3.4 Diagram Alir ..... 33
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN ..... 36
4.1 Gambaran umum Kepulauan Selayar ..... 36
4.2 Data Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) ..... 36
4.3 Periode Gelombang Laut ..... 39
4.4 Panjang Gelombang Laut ..... 41
4.5 Potensi Energi Gelombang Laut ..... 43
4.6 Efisiensi Bangunan OWC ..... 46
4.7 Daya Gelombang Laut ..... 47
4.8 Analisis Ekonomi PLTGL ..... 52
4.8.1 Biaya investasi *oscillating water coloumn* ..... 52
4.8.2 Estimasi perhitungan energi PLTGL yang tersedia ..... 53
4.8.3 Estimasi perhitungan pendapatan energi PLTGL ..... 54
4.8.4 *Net Present Value* (NPV) dan *Internal Rate Return* (IRR) ..... 57
4.8.5 *Payback Period* (PBP) ..... 58
4.9 Reduksi emisi karbon ..... 59
4.10 Analisis SWOT PLTGL ..... 62
4.10.1 Analisis kekuatan (*Strenghts*) ..... 62
4.10.2 Analisis kelemahan (*weaknesses*) ..... 62
4.10.3 Analisis peluang (*opportunities*) ..... 63
4.10.4 Analisis ancaman (*threats*) ..... 63

4.11 Rencana Lokasi Pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Sistem Oscillating Water Coloumn ..... 63
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN ..... 66
5.1 Kesimpulan ..... 66
5.2 Saran ..... 66
DAFTAR PUSTAKA ..... 67
LAMPIRAN ..... 70

# DAFTAR TABEL

Tabel 1 Faktor Emisi dari bahan bakar jenis batubara ..... 21
Tabel 2 Faktor emisi dari bahan bakar jenis solar ..... 22
Tabel 3 *State of the art* ..... 23
Tabel 4 Tinggi gelombang perairan Barat Selayar ..... 37
Tabel 5 Data tinggi gelombang dan hasil perhitungan periode gelombang ..... 40
Tabel 6 Hasil perhitungan panjang gelombang ..... 42
Tabel 7 Hasil perhitungan potensi energi gelombang laut ..... 44
Tabel 8 Hasil perhitungan daya ..... 47
Tabel 9 Perhitungan daya rata-rata dengan mempertimbangkan faktor efisiensi ..... 50
Tabel 10 Rincian Biaya *Oscillating Water Coloumn* ..... 52
Tabel 11 Perhitungan energi yang tersedia ..... 53
Tabel 12 Estimasi pendapatan energi PLTGL ..... 54
Tabel 13 Pendapatan setiap tahun dengan total OWC 11 unit ..... 56
Tabel 14 Hasil perhitungan *Net Present Value* dan *Internal Rate of Return* ..... 57
Tabel 15 *Payback Period* ..... 58

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Bentuk dan bagian-bagian gelombang laut ..... 5
Gambar 2 Koefisien Daya berbanding dengan rasio kecepatan aliran sebelum dan setelah konversi energi ..... 9
Gambar 3 OWC tampak samping ..... 11
Gambar 4 *Overtopping device* ..... 12
Gambar 5 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Pasang Surut Air Laut ..... 13
Gambar 6 Turbin Udara ..... 16
Gambar 7 Skema diagram turbin udara ..... 16
Gambar 8 Wilayah perairan lokasi penelitian ..... 32
Gambar 9 Diagram Alir Penelitian ..... 34
Gambar 10 Diagram alir analisis ekonomi ..... 35
Gambar 11 Diagram alir lokasi PLTGL ..... 35
Gambar 12 Grafik tinggi gelombang perairan Barat Selayar ..... 38
Gambar 13 Wilayah Perairan Barat Selayar ..... 39
Gambar 14 Grafik hubungan antara tinggi dan periode gelombang ..... 41
Gambar 15 Grafik hubungan antara panjang gelombang dan periode gelombang ..... 43
Gambar 16 Prototype sistem OWC ..... 46
Gambar 17 Bangunan OWC di Pulau Pico, Portugal ..... 46
Gambar 18 Grafik hasil Perhitungan daya PLTGL menggunakan sistem OWC ..... 49
Gambar 19 Diagram *Payback Period* ..... 59
Gambar 20 Grafik perbandingan PLTU dan PLTGL ..... 61
Gambar 21 Peta alur pelayaran Indonesia ..... 65
Gambar 22 Lokasi Pemasangan PLTGL ..... 65

# BAB I
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan pasokan listrik dan bahan bakar terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi penduduk, pengembangan wilayah dan pembangunan lainnya dari waktu ke waktu. Energi tak terbarukan seperti minyak bumi dan batu bara adalah sumber daya yang paling banyak digunakan di dunia saat ini. Namun, karena cadangan energi semakin menipis dan proses produksinya membutuhkan waktu jutaan tahun, energi ini tidak akan memenuhi kebutuhan manusia selama waktu yang lama. Diprediksi pada tahun 2096 batubara Indonesia akan habis jika tidak ada penambahan cadangan batubara (Kementerian ESDM, 2016). Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah ini, penelitian menyeluruh harus dilakukan tentang penggunaan energi alternatif yang dapat diperbarui. Sumber energi alternatif harus tidak hanya dapat diperbarui tetapi juga ramah lingkungan dan memiliki biaya yang terjangkau (Utami, 2010)

Merujuk pada Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik, Menimbang bahwa untuk meningkatkan investasi dan mempercepat pencapaian target bauran energi terbarukan dalam bauran energi nasional sesuai dengan kebijakan Energi Nasional serta penurunan emisi gas rumah kaca, perlu pengaturan percepatan pengembangan pembangkit listrik dari sumber energi terbarukan.

Menurut Kementerian Kelautan dan Perikanan, Indonesia memilik 17. 499 pulau dengan luas total wilayah Indonesia sekitar 7,81 juta $km^2$ dimana dari luas total wilayah diantaranya, 2,55 juta $km^2$ adalah ZEE (Zona Ekonomi Eksklusif), 2,01 juta $km^2$ adalah daratan dan 3,25 juta $km^2$ berupa lautan. Dari data tersebut, luas wilayah lautan yang dimiliki Indonesia sangat menguntungkan apabila potensi energinya dimanfaatkan, namun kenyataan yang ada pada saat ini belum ada pemanfaatan potensi energi laut secara optimum yang ada di Indonesia terutama pada pembangkitan energi listrik.

Gelombang laut merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki prinsip kerja mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, dengan mengetahui beberapa parameter seperti: kecepatan angin, tinggi gelombang, panjang gelombang dan periode dari gelombang laut. Total dari energi potensial dan kinetik yang dimiliki gelombang laut dapat diubah menjadi energi listrik yang kemudian dapat menjadi salah satu pemasok energi alternatif yang dapat mengatasi krisis energi saat ini, yaitu sebagai pembangkit listrik tenaga gelombang laut (Subagio et al., 2012).

Pembangkit listrik tenaga gelombang laut memiliki beberapa teknologi yaitu *Oscillating Water Column* (OWC)*, Overtopping, Attenuator, Tidal Energy, Rotating Mass, Oister Hydraulic Piston System, Wave Dragon.* Menurut data harian BMKG Perairan Barat Selayar memiliki nilai tinggi gelombang laut yang tergolong sedang dan konstan yaitu berada pada 1.25 – 2.5 m dengan kecapatan angin 10-20kt dan juga memiliki topografi dasar laut yang landai. Nilai tinggi gelombang yang konstan dan cukup besar ini dapat digunakan sebagai pembangkit listrik gelombang laut. dengan menggunakan teknologi (OWC) dikarenakan energi listrik yang dihasilkan cenderung konstan (Sriartha and Putra, 2015).

*Oscillating Water Column* (OWC*)* atau kolom air berosilasi memiliki prinsip kerja mengubah energi gelombang laut menjadi energi listrik dengan mengakumulasi energi potensial dan energi kinetik gelombang laut, dimana pergerakan gelombang laut akan melewati ruang udara yang kemudian didalamnya akan menimbulkan efek pemompaan untuk menggerakkan turbin. Teknologi OWC dipilih karena memiliki kelebihan yaitu dalam proses konstruksi dan

pengoperasiannya tidak memerlukan daerah yang luas dan tidak merusak ekosistem laut yang ada (Mardiansyah et al., 2014), sehingga keindahan alam yang dimiliki pulau selayar tetap terjaga dan juga topografi yang dimiliki pulau selayar yang landai sangat cocok dengan teknologi OWC. Oleh karena itu, penelitian ini diperlukan untuk menghasilkan salah satu energi terbarukan yang ramah lingkungan dalam membangun pembangkit listrik dengan menggunakan teknologi (OWC) dengan memanfaatkan gelombang laut dan juga diharapkan dapat menjadi acuan atau pertimbangan bagi pemerintah setempat sebagai bahan pembuatan kebijakan pembangunan PLTGL di wilayah perairan barat selayar.

## I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan:

1. Bagaimana potensi penerapan pembangkit listrik tenga gelombang laut (PLTGL) dengan menggunakan sistem *Oscillating Water Coloumn* (OWC) di perairan barat Selayar
2. Bagaimana aspek nilai keekonomian dari penerapan pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan sistem OWC
3. Berapa emisi karbon yang dapat direduksi dengan menerapkan PLTGL tipe OWC.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui potensi penerapan pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan menggunakan sistem OWC di wilayah perairan barat selayar
2. Untuk mengetahui aspek nilai keekonomian dari penerapan pembangkit listrik tenaga gelombang laut.
3. Untuk mengetahui emisi karbon yang dapat direduksi dengan menerapkan PLTGL tipe OWC

## I.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Secara akademik sebagai penunjang ilmu teknologi yang sudah ada sebelumnya.
2. Memberikan referensi mengenai potensi penerapan pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan menggunakan sistem OWC di wilayah perairan Barat Selayar.
3. Dapat menjadi rekomendasi awal untuk lokasi potensi energi gelombang laut di Indonesia yang nantinya dapat digunakan untuk kegiatan survei selanjutnya
4. Dapat mengetahui aspek keekonomian dari penerapan pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan sistem OWC.

## I.5 Batasan Masalah

Dalam menyelesaikan masalah dalam penelitian ini, terdapat batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Metode yang digunakan adalah *Oscillating Water Coloumn* (OWC)
2. Perhitungan yang dilakukan adalah daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan teknologi OWC serta analisis ekonomi menggunakan metode PBP, NPV dan IRR dan reduksi emisi karbon.
3. Wilayah penelitian berada pada beberapa perairan di Barat Selayar
4. Penelitian dilakukan berdasarkan data yang diambil pada tahun 2022-2024
5. Prototype yang digunakan berdasarkan prototype yang ada di Yogyakarta dan OWC di pulau Pico
6. Biaya investasi terbatas pada data yang digunakan.

## I.6 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan Skripsi penelitian ini sistematika penulisan yang digunakan agar pembahasan dapat terstruktur dengan baik adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas terkait materi-materi yang berhubungan dengan penelitian, materi tersebut diambil dari berbagai referensi.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini membahas tentang waktu dan lokasi penelitian, alat dan bahan yang digunakan, serta tahapan dalam melakukan penelitian.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang data penelitian, hasil simulasi penelitian, serta perbandingan penelitian dengan metode lain.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

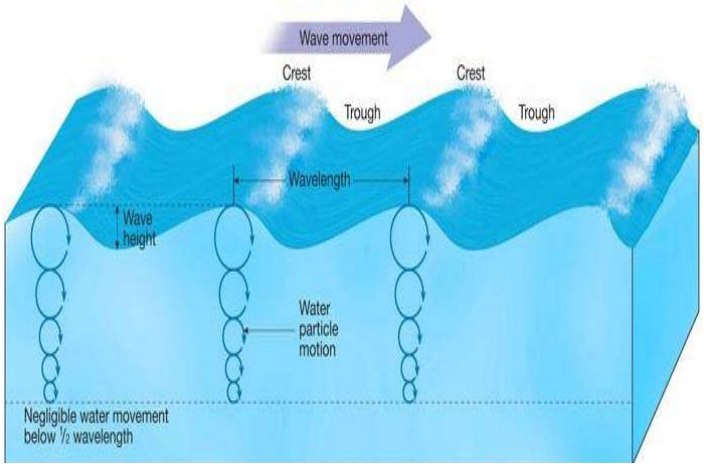
Bab ini membahas tentang kesimpulan dari penelitian dan saran saran untuk penelitian selanjutnya.

# BAB II
# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Gelombang Laut

Gelombang merupakan suatu pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang menyerupai suatu kurva atau grafik sinusoidal. Pada dasarnya gelombang dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti angin yang melintasi permukaan laut, daya tarikan bumi-bulan (gelombang pasang surut), gempa (vulkanik atau tektonik) didasar laut (gelombang tsunami) dan gelombang yang disebabkan oleh pergerakan kapal. (Parjiman dkk., 2017).

Gelombang laut terdiri dari beberapa bagian seperti : puncak gelombang (crest) merupakan titik tertinggi atau puncak sebuah gelombang, Lembah (through) merupakan titik terendah atau lembah sebuah gelombang, tinggi gelombang (wave height) merupakan jarak vertikal antara *crest* dan *throught*, panjang gelombang (wave lenght) merupakan jarak berturut-turut antara dua buah *crest* atau dua buah *trough,* periode gelombang (wave period) merupakan waktu yang dibutuhkan *crest* untuk kembali pada titik semula secara berturut-turut, kemiringan gelombang (wave steepnees) merupakan perbandingan antara panjang gelombang dengan tinggi gelombang.




Gambar 1 Bentuk dan bagian-bagian gelombang laut
(sumber : *Mocean energy*, 2019)

Proses pembentukan gelombang oleh angin dimulai dengan riak kecil yang kemudian memperbesar karena adanya energi yang terus menerus diserap dari angin. Jika angin terus berhembus, gelombang akan mencapai pantai dan terus

bertumbuh; namun, jika angin berhenti, gelombang tidak akan terus bertambah besar dan akan kehilangan energinya. Namun, terdapat situasi di mana gelombang yang tercipta oleh angin dapat menyebar ke jarak yang jauh meskipun angin sudah berhenti, dengan sedikit atau bahkan tanpa kehilangan energi, yang dikenal sebagai gelombang ombak (Parjiman dkk., 2017).

Adapun kriteria tinggi gelombang berdasarkan *WMO Sea State Code* yaitu: rendah (0.5 – 1.25 m); sedang (1.25 – 2.5 m); tinggi (2.5 – 4.0 m) ; sangat tinggi (4.0 – 6.0m); ekstrem (6.0 - 9.0m); sangat ekstrem (9.0 – 14.0m).

## 2.2 Energi Gelombang Laut

Energi gelombang merupakan energi mekanik yang terdiri dari energi kinetik dan energi potensial. Energi yang digunakan untuk menggerakkan turbin adalah energi kinetik yang terkandung pada gelombang laut**.** Gelombang laut akan naik ke dalam ruang generator, lalu air akan naik dan menekan udara keluar dari ruang dan menyebabkan turbin berputar ketika air turun, udara bertiup dari luar ke dalam generator dan memutar turbin kembali (Utami, 2010)

Dalam menghitung gelombang dua dimensi digunakan beberapa parameter yang memiliki permukaan bebas dan bergantung pada gravitasi seperti :

$\lambda$ = Panjang gelombang (m)
A = Amplitudo gelombang [H/2] (m)
T = Periode (s)
$f$ = Frekuensi (Hz)
H = Tinggi Gelombang [2A] (m)

Periode dan panjang gelombang laut dapat dipengaruhi oleh tinggi dan kecepatan gelombang berdasar pada rata-rata tinggi gelombang. Menurut Kim Nielsen (1986), untuk menghitung periode gelombang dapat didekati pada sebuah nilai persamaan, yaitu :

$$T = 3{,}55\sqrt{H} \quad \text{atau } f = 1/0.281\sqrt{H} \qquad (1)$$

dimana,

T = Periode ( s )
H = Tinggi Gelombang ( m )

f = Frekuensi Gelombang (Hz)

Setelah nilai prakiraan periode gelombang datang diketahui, maka langkah selanjutnya menghitung besar panjang gelombang sebagai berikut :

$\lambda = \frac{g}{2\pi}$. $T^2$ atau $\lambda = 1{,}56\ T^2$ (2)

dimana,

T = periode ( s )

λ = panjang gelombang ( m )

$g$ = percepatan gravitasi bumi [9,81 m/s2 ]

(Mc Cormick, Michael, 1981)

Kemudian langkah selanjutnya yaitu menghitung energi potensial dan energi kinetik, dimana :

### 2.2.1 Energi potensial

Energi Potensial adalah energi yang dihasilkan oleh perpindahan muka air karena adanya gelombang. Energi potensial dapat terjadi karena adanya kenaikan air diatas tinggi rata-rata. Energi potensial dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$Ep = mg\frac{y(x,t)}{2} \quad (3)$$

Dimana : $E_p$ = energi potensial (J)

m = massa gelombang (kg)

g = gaya gravitasi ($m/s^2$)

y = y (x,t) = tinggi dari dasar laut ke permukaaan.

(Mc Cormick, Michael, 1981)

Menghitung energi potensial setelah saru periode dapat mengasumsikan gelombang hanya dalam fungsi x dan waktu yang bebas, yaitu : y (x,t) = y (x). Sehingga :

$$dEp = 0.5\, w\rho a^2 sin^2(kx - \omega t)dx \quad (4)$$

$$Ep = \int_0^{\lambda} d\,Ep$$

$$= \int_0^{\lambda} \frac{1}{2}\, w\rho g a^2 sin^2(kx - \omega t)dx$$

$$= \frac{1}{2}\, w\rho g a^2 \left[\frac{1}{2}x - \frac{1}{4}sin^2(kx - \omega t)\right]dx \quad (5)$$

Dengan mempertimbangkan $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ dan $\omega = \frac{2\pi}{T}$ maka diperoleh :

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

### 2.2.2 Energi kinetik

Energi kinetik adalah energi yang disebabkan oleh kecepatan partikel air karena adanya gerak gelombang, (Triatmodjo, 1999) dalam (Mumtaz, 2020). Atau total dari energi kinetik setelah satu periode adalah hasil total energi potensial.

sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

### 2.2.3 Total Energi dan Daya

Total energi setelah satu periode merupakan jumlah dari energi potensial dan energi kinetik

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

Jika menggunakan tinggi gelombang daripada amplitudo gelombang, didapatkan:

$$E_w = \frac{1}{2} w \rho g h^2 \lambda \quad \text{atau} \quad Ew = 0.195 w \rho g h^2 T^2 \quad (9)$$

(*Mc Cormick, Michael,* 1981)

dimana,

$E_w$ = Total energi (J)

$E_p$ = Energi potensial (J)

$E_k$ = Energi kinetik (J)

w = Lebar ruang (*chamber*) (m)

ρ = Massa jenis air laut (1030 Kg/m$^3$)

a = Amplitudo gelombang h/2 (m)

h = Tinggi gelombang (m)

k = Konstanta gelombang

ω = Kecepatan sudut gelombang

Dari total energi gelombang akan didapatkan nilai daya yang dihasilkan oleh gelombang dengan persamaan sebagai berikut

$$P_w = \frac{Ew}{T} \quad (10)$$

dimana, $P_w$ = Daya (W)

$E_m$ = Total Energi (J)

T = Periode (s)

Selanjutnya yaitu menghitung daya dengan mempertimbangkan faktor efisiensi gelombang laut yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

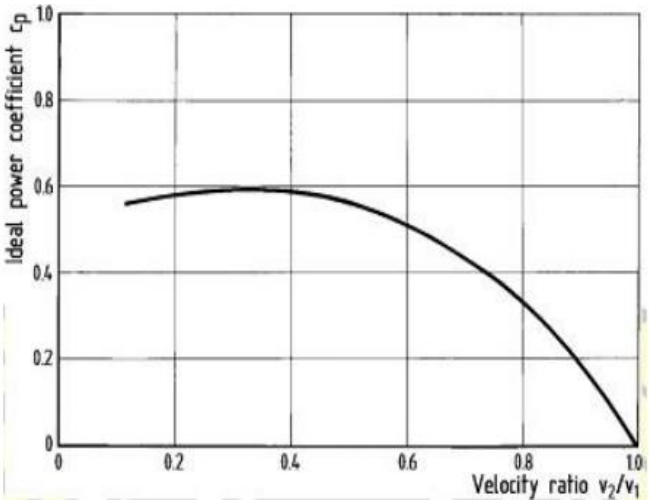
$$P = P_w \, x \, \eta OWC \quad (11)$$

dimana, $P$ = Daya setelah mempertimbangkan efisiensi (W)

$P_w$ = Daya sebelum mempertimbangkan efisiensi (W)

$\eta OWC$ = Faktor efisiensi (%)

Koefisien daya hasil dari konversi daya angin ke daya mekanis turbin tergantung pada perbandingan dari kecepatan angin sebelum dan sesudah dikonversikan. Jika keterkaitan ini di plot ke dalam grafik, secara langsung solusi analitis juga dapat ditemukan dengan mudah. Dapat dilihat bahwa koefisien daya mencapai maksimum pada rasio kecepatan angin tertentu seperti yang terlihat pada Gambar 2.




Gambar 2 Koefisien Daya berbanding dengan rasio kecepatan aliran sebelum dan setelah konversi energi

Sumber: (Hau, 2006).

Terdapat beberapa hal yang menentukan lokasi PLTGL gelombang laut optimal, seperti:

- Tinggi Gelombang Laut

Tinggi gelombang yang dapat dimanfaatkan untuk PLTGL sistem Kolom Air Berosilasi ini adalah gelombang yang selalu terbentuk sepanjang tahun, yaitu tinggi gelombang bisa mencapai 4 meter. Gelombang yang sesuai dengan criteria

tinggi tersebut adalah gelombang Swell dimana mengandung energi yang besar.

- Arah Datang Gelombang

Mulut konektor harus sesuai dengan arah datang gelombang, jika tidak searah maka energi gelombang yang masuk akan berkurang sebab banyak yang hilang akibat sifat refleksi, difraksi maupun refraksi pada gelombang.

- Syarat Gelombang baik

Gelombang baik adalah gelombang yang tidak pecah akibat pendangkalan. Pada saat gelombang terpecah ada energi yang terbuang dimana masa air akan mengandung gelembung udara sehingga mempengaruhi besar kerapatan massa.

- Keadaan Topografi Lautan

Optimasi terhadap desain akhir PLTGL sistem Kolom Air Berosilasi tergantung topografi kelautan atau barimetri disekitar lokasi. Apabila kondisi dasar lautan atau permukaannya kurang memenuhi persyaratan maka dapat dilakukan pengerukan atau penambalan.

## 2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut

Pembangkit Listrik Tenaga Air Gelombang Laut (PLTA-GL) menggunakan prinsip hukum Archimedes yang intinya pada PLTA-GL ini menaikkan air ke reservoir yang terletak disisi atas. Jumlah air yang dipindahkan sama dengan berat air yang dipindahkan akibat ponton yang terendam dalam air. Setelah air sampai di reservoir maka air akan jatuh dan memutar turbin.

Gerakan gelombang laut dapat dikonversi menjadi energi mekanik dengan teknologi yang sesuai (Guney, 2015). Teknologi tersebut memanfaatkan karakteristik fisika berupa perpindahan energi dalam badan air laut yang berbentuk fenomena gelombang laut, dimana energi kinetik gelombang laut dapat dikonversi dengan menyerap dan mengakumulasi energi gelombang laut agar dapat menghasilkan energi listrik dari generator. Energi yang dihasilkan dari gelombang laut biasanya dinyatakan dalam daya per satuan panjang (Mukhtasor, 2014)

Saat ini terdapat 40 jenis mekanisme untuk mengeksploitasi gelombang laut. Rodrigues mengklasifikasi sistem konversi energi gelombang menjadi dua bagian (Rodrigues, 2015), sebagai berikut:

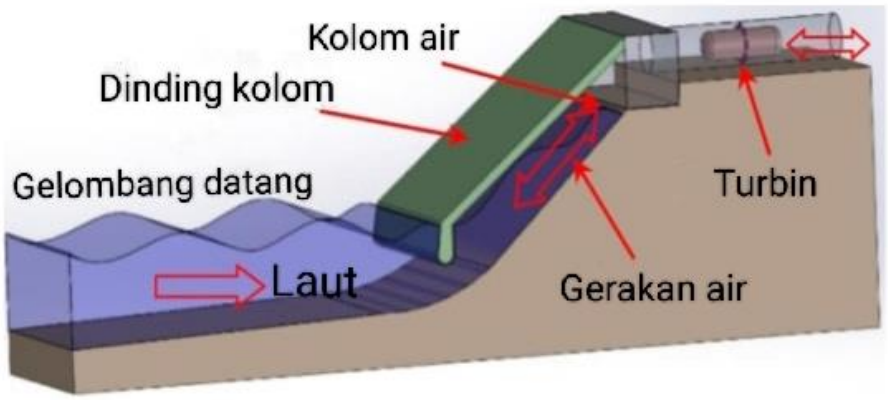
### 2.3.1 Berdasarkan pada lokasi instalasi

Pembangkit listrik tenaga gelombang laut yang berada di pantai memiliki keuntungan dalam perawatan dan terhindar dari kondisi ekstrim (badai) (Mukhtasor, 2014). Namun teknologi yang dibangun dipantai akan menghasilkan energi listrik yang relatif rendah. Pembangkit listrik yang berada di dekat pantai seringkali terhubung dengan dasar laut sesuai dengan jenis alat energi gelombang yang berisolasi. Pembangkit ini akan menghasilkan energi yang relatif lebih besar dibandingkan yang dibangun di pantai. kemudian, fasilitas yang berada di lepas pantai umumnya berada di perairan dalam. Penempatan di lokasi ini dapat memanfaatkan potensi energi yang lebih besar. Akan tetapi, konstruksi dan perawatan alat jauh lebih sulit oleh karena gelombang laut yang lebih tinggi.

### 2.3.2 Berdasarkan prinsip kerja atau cara pengoperasiannya

a) *Oscillating Water Coloumn* (OWC)

Gambar 3 dibawah ini merupakan pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan sistem *Oscillating Water Coloumn*



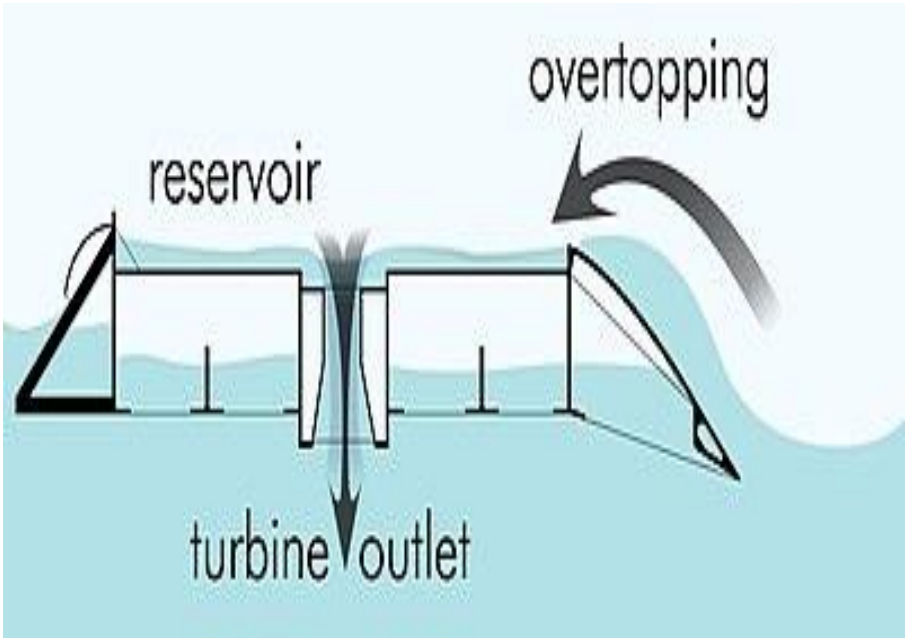

Gambar 3 OWC tampak samping
(sumber: Lukube, dkk 2018)

Prinsip kerja alat OWC ini adalah mengubah energi gelombang laut menjadi energi listrik berdasarkan prinsip kerja kolom osilasi. Perhatikan gambar sketsa OWC tampak samping di atas. Gelombang yang datang dari arah laut akan menabrak bangunan OWC dimana pada bagian bawah

bangunan terdapat kolom tebuka untuk masuknya air laut, karena tumbukan gelombang air laut ini kemudian air laut yg terdapat pada bagian dalam chamber OWC akan berisolasi naik dan turun sehingga menimbulkan peristiwa sedot dan hisap pada kolom udara di atasnya (prinsip kerja pompa). Gerakan air yang naik turun serta menimbulkan peristiwa sedot hisap pada kolom udara diatasnya inilah yang akan menggerakan turbin (perlu diperhatikan bahwa turbin yang digunakan adalah turbin searah, dimana pada saat terjadi tekanan udara naik turun/sedot hisap, turbin akan tetap memutar searah untuk menghasilkan energi listrik).

b) *Overtopping device*

Metode yang dapat digunakan selain OWC yaitu *Overtopping device* yang merupakan suatu alat yang dapat menjebak air laut ke dalam suatu tempat di tengah laut, air yang terkumpul secara berkesinambungan digunakan untuk memutar turbin yang terletak dibawah peralatan penjebak air laut tersebut, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



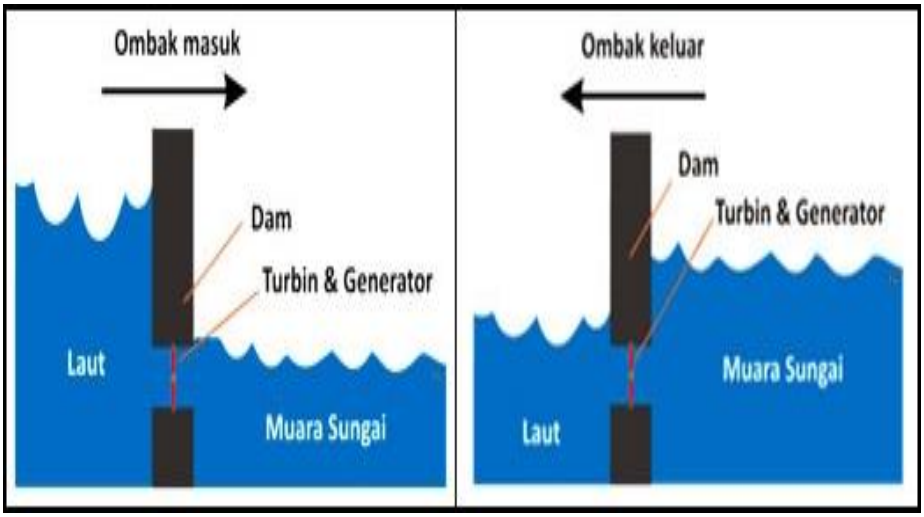

Gambar 4 *Overtopping device*
(Sumber : Batten, 2011)

Alat konverter energi gelombang jenis *overtopping* memiliki dinding seperti bendungan atau waduk. Energi kinetik untuk mengangkat air laut

lebih tinggi; dengan kata lain mentransfer energi kinetik air menjadi energi potensial air. Setelah diangkat, air ditampung di reservoir yang kemudian dialirkan melalui turbin hidro untuk menghasilkan listrik. Dalam beberapa kasus lain, sistem konversi energi mekanik lainnya dapat digunakan sebagai pengganti turbin hidro. Contoh perangkat jenis ini adalah *Wave Dragon.*

c.) Energi Pasang Surut Air Laut

Energi yang dapat diambil dari peristiwa pasang surut air laut memiliki prinsip yang sama dengan PLTA, yaitu turbin air diputar karena adanya perbedaan tinggi permukaan air seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.




Gambar 5 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Pasang Surut Air Laut
(Sumber : https://pengtahuankami.blogspot.com/2016/03/
energi-air-potensi-air-untuk-energi.html)

Pada saat air pasang, permukaan air laut akan naik yang artinya akan ada pergerakan air dari laut ke daratan. Pergerakan ini kemudian dihambat oleh dam yang dibangun, sehingga permukaan air laut yang berada di sebelah laut akan naik, sedangkan permukaan air dam yang di sebelah daratan terhambat naiknya karena adanya dam. Akibat adanya dam ini, terjadi perbedaan tinggi air antara kedua permukaan yang dibatasi oleh dam. Air lalu mengalir dari permukaan yang lebih tinggi ke permukaan yang lebih rendah melalui turbin air yang dipasang di dalam dam tersebut, hingga perbedaan air di kedua permukaan sama. Sebaliknya, di saat air surut, air laut akan mengalir dari bagian daratan ke bagian laut. Aliran air laut akan

dihambat oleh dam, sehingga terjadi perbedaan permukaan air yang akan menimbulkan energi potensial seperti di waktu pasang, perbedaannya adalah arah aliran airnya berlawanan.

*d) Ocean Thermal Energy*

Salah satu metode lain untuk menghasilkan tenaga listrik dari sumber energi di laut adalah dengan menggunakan perbedaan suhu antara permukaan dan dasar laut. Perbedaan suhu ini disebabkan oleh sinar matahari yang memanaskan permukaan laut, sementara di kedalaman laut, suhunya jauh lebih dingin.

Konsep pembangkit listrik dari energi panas air laut dapat digunakan dengan memanfaatkan perbedaan suhu ini untuk menghasilkan energi. Proses ini membutuhkan perbedaan suhu minimal sekitar 380º Fahrenheit antara suhu permukaan dan dasar laut. Pendekatan ini dikenal sebagai Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) (Utami, 2010).

e) 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 (Utami, 2010)

## 2.4 Komponen Peralatan Pada Pembangkit Listrik Gelombang Laut

Komponen peralatan yang digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut sistem OWC antara lain adalah :

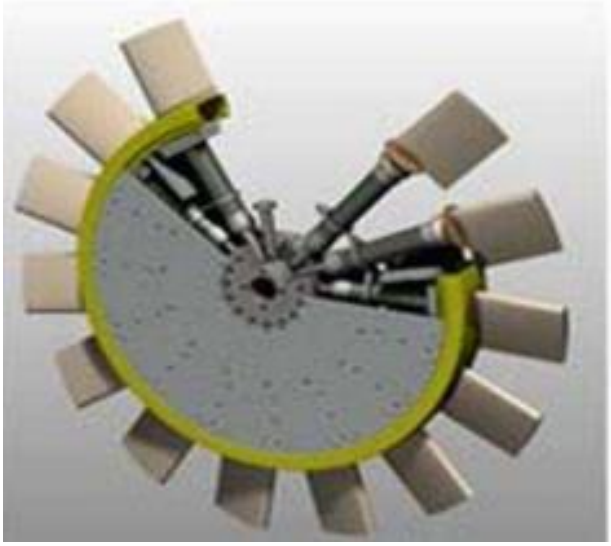
### 2.4.1 Turbin

Turbin merupakan perangkat yang memulai tenaga dengan mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip kerjanya melibatkan penggunaan

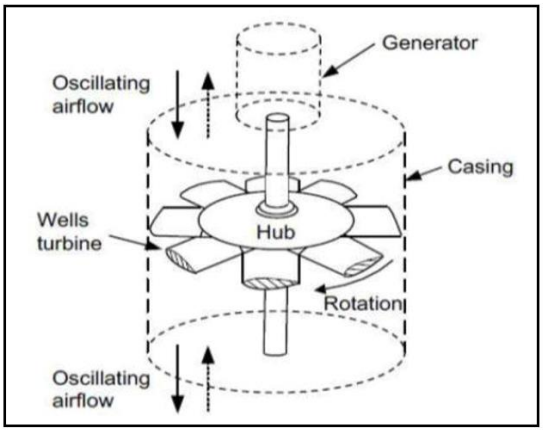
energi fluida untuk memutar roda turbin. Bagian yang berputar dari turbin disebut sebagai stator atau rumah turbin, sementara roda turbin yang terdapat di dalam rumah turbin menggerakkan poros daya yang pada gilirannya menggerakkan generator listrik atau beban lainnya. Proses di dalam turbin melibatkan fluida kerja yang mengalami proses ekspansi, yaitu penurunan tekanan dan aliran kontinu. Jenis fluida kerja yang digunakan bisa berupa air, uap air, atau gas. Roda turbin memiliki sudu yang memungkinkan aliran fluida melalui ruang antara sudu tersebut, yang menyebabkan roda turbin berputar. Gerakan roda turbin menghasilkan gaya pada sudu karena perubahan momentum dari aliran fluida kerja di antara sudu-sudu tersebut. Sudu-sudu harus dirancang sedemikian rupa agar terjadi perubahan momentum pada fluida kerja. Terdapat sudu yang bergerak seiring dengan roda turbin yang disebut sebagai sudu gerak, dan sudu yang tetap tidak bergerak bersama roda turbin disebut sebagai sudu tetap. Sudu tetap berfungsi sebagai pengarah aliran fluida kerja ke sudu gerak atau sebagai nosel. Turbin dapat memiliki satu baris sudu gerak saja, yang disebut sebagai turbin bertingkat tunggal, atau beberapa baris sudu gerak, yang disebut sebagai turbin bertingkat ganda.

### 2.4.2 Turbin angin

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. Umumnya daya efektif yang dapat dipanen oleh sebuah turbin angin hanya sebesar 50% - 70%. Sistem ini terdiri dari sebuah ruangan yang dibangun di tepi pantai. Gerakan laut atau 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. Turbin penyearah ini dirancang oleh Profesor Alan Wells dari Queen's University, yang menggerakkan generator listrik dipasang pada poros yang sama. Untuk mengontrol tekanan udara di dalam sistem digunakan katup atau klep yang dipasang secara paralel (kadang-kadang secara seri) dengan turbin, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7 (Utami, 2010).



Gambar 6 Turbin Udara
(Sumber: Utami, 2010)




Gambar 7 Skema diagram turbin udara
(Sumber: Utami, 2010)

### 2.4.3 Generator

Generator adalah suatu alat yang dipergunakan untuk mengkonversi energi mekanis dari *prime mover* menjadi energi listrik. Secara garis besar generator terbagi atas stator dan rotor.

Terdapat beberapa hal yang mendasari dalam pemilihan generator. Pada pemakaian tegangan generator yang relatif tinggi, maka diperlukan isolasi yang tebal dan baik, hal ini menyebabkan ruangan untuk penghantar menjadi semakin sempit dan harga generator akan menjadi lebih mahal. Sedangkan pada generator dengan pemakaian tegangan lebih rendah akan menyebabkan berkurangnya

jumlah lilitan gulungan stator, sehingga akan membatasi dalam perencanaan dan tidak ekonomis tetapi menguntungkan dalam pengoperasiannya. Berdasarkan pertimbangan hal-hal tersebut diatas maka diberikan suatu standar untuk pemilihan tegangan berdasarkan daya yang dibangkitkan, sedangkan faktor daya ( cos Φ ) dipilih antara 0,85 – 0.9 tertinggal ( *lagging* ). Generator memberikan daya ke dalam grid dengan frekuensi dan tegangan rms konstan. Karena turbin berputar dengan kecepatan yang bervariasi maka motor sinkron tidak tepat untuk digunakan. Sebaliknya, dapat digunakan generator *double fed wound* rotor induksi. *Wound* rotor diberi medan magnet oleh stator menggunakan konverter dan dengan pengaturan frekuensi dan tegangan tetap yang konstan untuk berbagai macam variasi kecepatan turbin.

*Generator double field induction* generator (DFIG) dan *permanent magnet generator* (PMG) adalah dua jenis generator yang digunakan dalam sistem konversi energi terbaru, seperti sistem konversi energi Listrik. Perbandingan antara DFIG dan PMG menunjukkan bahwa PMG memiliki keunggulan efisiensi dan biaya total yang lebih rendah daripada DFIG. Selain itu, PMG memiliki daya dan fase yang lebih stabil, yang penting untuk menjaga daya dan efisiensi tinggi dalam sistem konversi energi.

## 2.5 Kategori Potensi Energi Gelombang Laut

Terdapat beberapa kategori yang disepakati oleh para ahli bidang energi laut di Indonesia dengan mengadopsi jenis kategori yang telah digunakan di Irlandia dalam Ocean Energy in Ireland: An Ocean Strategy for Ireland (Marine Institute and Sustainable Energy Ireland, 2005):

### 2.5.1 Potensi teoritis

Kandungan energi bruto dari sumber daya. Potensi teoritis ini dihasilkan dari pemodelan di wilayah laut yang berpotensi. Sehingga perhitungan potensi ini berdasarkan asumsi dan data-data lapangan.

### 2.5.2 Potensi teknis

Sumber daya teoritis yang dibatas oleh efisiensi dari alat teknologi yang tersedia. Potensi ini juga telah mempertimbangkan teknologi yang

digunakan untuk survei seperti bathimetri (kedalaman laut). Teknologi yang tersedia pun juga termasuk “proven design”

### 2.5.3. Potensi praktis

Sumber daya teknis yang dibatasi oleh faktor fisik teknologi yang tidak kompatibel (cocok). Perhitungan potensi ini juga memperhatikan bagaimana kondisi dasar laut, jalur lalu lintas kapal, jaringan pipa dasar laut, dan jarak kabel transmisi.

### 2.5.4 Potensi terakses

Sumber daya praktis yang dibatasi oleh kendala kelembagaan dan regulasi (peraturan). Isu lingkungan, konservasi, tata ruang (terumbu karang, organisme laut, budaya, pariwisata) juga merupakan faktor yang dipertimbangkan.

### 2.5.5 Potensi layak dikembangkan

Sumber daya terakses yang dibatasi oleh kelayakan ekonomi, seperti akses infrastruktur yang terdiri dari jalan, pelabuhan, jaringan grid listrik yang bisa dimanfaatkan masyarakat. Selain itu, sumber daya manusia pengelola juga harus tersedia.

## 2.6 Analisis Ekonomi

Studi potensi yang digunakan untuk memproses dan menganalisis data yang diambil dari lapangan. Investasi dan analisis keuangan terdiri dari menghitung nilai NPV, IRR PBP dan WACC. dengan menghitung analisis metode tersebut perbandingan kelayakan finansial investasi dapat dilakukan terhadap kebijakan pemerintah.

### 2.6.1 *Net present value* (NPV)

Penghasilan di masa depan yang bunganya telah dibayar di muka atau dengan potongan harga dapat digambarkan dengan Nilai Sekarang Bersihnya. Tujuan metode ini adalah untuk menganalisis keuntungan proyek yang

dilaksanakan untuk mereplikasi konstruksinya di masa depan. Bentuk umum persamaan NPV (Blank *et al,* 2012) :

$$NPV = \sum_{n=0}^{T} \frac{S_n}{(1+i)^n} \quad (11)$$

Dimana,

$S_n$ = *Cash flow* ditahun ke-n

i = *Discount Rate*

n = Umur operasi proyek

Penyelesaian masalah tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan perubahan nilai uang terhadap waktu (*time value of money)* serta dapat juga mempertimbangkan nilai resiko. suatu investasi dinyatakan layak (menguntungkan) apabila NPV bernilai positif, sebaliknya NPV bernilai negative menunjukkan bahwa investasi tidak layak (tidak menguntungkan). Adapun nilai NPV = 0 menunjukkan bahwa pengembalian investasi berada pada titik minimum kelayakan atau titik impas (*break-even point)* (Blank, Iet al, 2012).

### 2.6.2 *Internal of return* (IRR)

Perhitungan IRR dapat dilakukan pada kondisi NPV = 0 dimana dapat dihitung secara *trial* dan *error* dengan menggunakan persamaan berikut (Blank *et al,* 2012) :

$$\sum_{t=0}^{T} \frac{S_n}{(1+IRR)^n} = 0 \quad (12)$$

dimana :

$S_n$ = Cashflow di tahun ke-n

IRR = Rate Of Return (%)

n = Umur Proyek

Suatu proyek investasi dianggap layak apabila nilai IRR investasi tersebut lebih besar daripada nilai MARR (Blank *et al*, 2012). Nilai MARR (Minimum Atractive of Return) ditentukan berdasarkan tingkat bunga bank atau tingkat bunga bank ditanbah risk premium yang mencerminkan tingkat resiko. dari proyek tersebut serta ditambah keuntungan yang diharapkan investor. dalam proyek

Teknik, biasanya nilai MARR berkisar antara 10% - 13%. Sebaliknya nilai IRR yang berada dibawah nilai MARR menunjukkan bahwa investasi tidak layak (tidak menguntungkan). Adapun nilai IRR = nilai MARR menunjukkan bahwa pengembalian investasi berada pada titik minimum kelayakan atau titik impas (Blank dkk, 2012)

### 2.6.3 *Payback period* (PBP)

*Payback Period* mengukur berapa lama waktu yang dibutuhkan proyek untuk menutup investasi awalnya. Untuk menghitung Payback Period, bagi pengeluaran investasi awal seluruh sistem dengan pendapatan tahunan yang dihasilkannya. Waktu Pemulihan ditentukan dengan rumus berikut :

$$PBP = Tahun\ sebelum\ PBP + \frac{Kas\ sebelum\ PBP}{Kas\ masuk\ setelah\ PBP} \quad (13)$$

Nilai PBP suatu proyek investasi menunjukkan tingkat risiko proyek. Semakin panjang nilai PBP atau waktu yang diperlukan untuk pengembalian investasi maka makin besar risiko yang dihadapi investor. sebagai contoh, untuk situasi dimana terdapat ketidakpastian yang tinggi seperti situasi di negara yang pemerintahannya tidak stabil, investor lebih baik memilih proyek-proyek yang mempunyai nilai PBP pendek (Blank dkk, 2012).

## 2.7 Emisi Karbon

Ketika bahan yang mengandung karbon dibakar, mereka meninggalkan karbon dioksida ($CO_2$) dan gas lainnya yang berkontribusi secara signifikan terhadap pemanasan global. Pengurangan emisi karbon sendiri merupakan penggantian penggunaan pembangkit listrik yang menghasilkan karbon seperti PLTD dan PLTU menjadi pembangkit listrik yang tidak menghasilkan emisi. Penggunaan PLTGL sebagai pengganti pembangkit tenaga fosil dapat mengurangi efek dari gas rumah kaca karena penggunaan PLTGL tidak menghasilkan emisi $CO_2$. Perhitungan pengurangan emisi penggantian pembangkit bahan bakar fosil adalah menghitung emisi $CO_2$. Dalam menghitung penghematan emisi karbon dapat menggunakan persamaan:

$$CO_2\ emission\ potential = \frac{Energy\ Output\ (kWh)}{Emission\ Factor\ (\frac{kg}{kWh})} \quad (14)$$

Nilai rata-rata Faktor emisi karbon yang digunakan untuk menghasilkan satu kWh listrik menggunakan Batubara adalah sebesar 0.98kg $C0_2$/kWh (Ditjen Ketenagalistrikan, 2019).

Tabel 1 dibawah ini merupakan faktor emisi karbon dari penggunaan pembangkit listrik konvensional menggunakan jenis batubara.

Tabel 1 Faktor Emisi dari bahan bakar jenis batubara

| Fuel Type | Effective $CO_2$ emissinon facotr |
|---|---|
| Anthracide | 0,983 |
| Coking Coal | 0,946 |
| Sub Bituminios Coal | 0,961 |
| Lignite | 0,101 |

(Sumber : *Asian Develompment Bank,* 2017)

Dari Tabel 1 di atas memiliki karakteristik dan sifat yang berbeda-beda sebagai berikut :

*Anthracide,* adalah jenis batubara yang memiliki tingkat kematangan tertinggi dalam proses coalification, keistimewaan antrasit terletak pada kandungan karbon yang paling melimpah dan dapat menghasilkan energi yang lebih besar. Ciri khas utama antrasit adalah warna hitam pekat yang mengkilap, mencerminkan tingkat kematangan dan kepadatan yang tinggi.

*Coking Coal* berada pada kisaran golongan batubara bituminious, c*oking coal* atau *Metallurgical Coal* lebih banyak digunakan di industri besi baja atau industri metalurgi sebagai sumber reduktor untuk mereduksi bijih besi menjadi besi. Sementara *Thermal Coal* atau *Steaming Coal* biasanya digunakan untuk sumber energi panas bagi pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Apabila dipanaskan dengan udara minim pada kisaran temperatur tertentu, *Coking Coal* akan mengembang dan kemudian terjadi resolidifikasi atau memadat kembali dan membentuk bongkah kokas yang poros. Sedangkan *Thermal Coal* tidak akan mengalami *swelling* atau mengembang sama sekali pada pemanasan tersebut.

*Sub bituminios coal* merupakan jenis batu bara yang berada pada tingkat kematangan yang lebih tinggi daripada *lignite*, meskipun tetap mempertahankan kelembutan karakteristiknya. Warna *sub-bituminous* yang cenderung coklat kehitaman menandakan bahwa batu bara ini telah mengalami proses *coalification* lebih lanjut dibandingkan dengan *lignite*.

*Lignite* yang biasa dikenal sebagai batu bara muda, merupakan bentuk awal dari proses *coalification* yang mengubah gambut menjadi batu bara. Salah satu ciri utama lignite adalah warnanya yang cenderung kecoklatan. Sebagai batu bara yang masih dalam tahap awal pembentukannya, lignite memiliki kandungan energi yang relatif rendah.

Tabel 2 dibawah ini merupakan faktor emisi karbon dari penggunaan pembangkit listrik konvensional menggunakan jenis Solar.

Tabel 2 Faktor emisi dari bahan bakar jenis solar

| Jenis | Bahan bakar | Faktor emisi $CO_2$ (kg/kWh) |
|---|---|---|
| PLTU | HSD | 1,053 |
| | MFO | 0,876 |

(Sumber : *United Nation Development Program,* 2007)

*High Speed Diesel* (HSD) merupakan BBM jenis solar yang diperuntukan untuk jenis kendaraan bermotor transportasi dan mesin industri, sedangkan *Marine Fuel Oil* (MFO) yaitu minyak bakar bukan hasil destilasi tetapi hasil dari jenis residu yang berwarna hitam yang memiliki tingkat kekentalan tinggi biasa juga disebut *Heavy Fuel Oil* (HFO). Karena sifat kekentalan dari MFO maka sebelum penggunaannya harus melalui pemanasan terlebih dahulu, berbeda dengan HSD yang dapat langsung digunakan. MFO juga mengandung polutan yang relatif lebih tinggi disbanding HSD. Karena sifat MFO tersebut maka diperlukan pengamatan pada beberapa parameternya, sehingga kinerja mesin tidak terganggu.

Tabel 3 *State of the art*

| Penulis | Judul Penelitian | Metode yang digunakan | Hasil yang dicapai | Perbedaan dengan penelitian yang diusulkan |
|---|---|---|---|---|
| Faulincia (2016) | Kajian Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Wilayah Perairan Kendari | OWC | 1. Didapatkan potensi daya yang dihasilkan gelombang laut pada perairan Kendari sebesar 348.53watt/hari sampai 1.086.414watt/hari<br>2. Didapatkan potensi terbesar berada pada perairan laut araufuru bagian barat dan laut araufuru bagian Tengah | 1. Tempat yang diteliti berada pada perairan Kendari sedangkan pada penelitian ini berada pada perairan barat selayar |
| Parjiman, M. Rif'an (2017) | Model Simulasi Gelombang Laut Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut | Metode numerik | 1. Simulasi blok diagram gelombang, energi gelombang yang dibangkitkan, media konversi, dan energi kinetic yang dihasilkan. | 1. Melakukan simulasi gelombang laut untuk PLTGL sedangkan pada penelitian ini melakukan studi potensi PLTGL menggunakan metode OWC |

Lanjutan Tabel 3 : *State-of-the-art*

| Penulis | Judul Penelitian | Metode yang digunakan | Hasil yang dicapai | Perbedaan dengan penelitian yang diusulkan |
|---|---|---|---|---|
| Zainuddin dan Edy Ervianto (2016) | Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Pasang Surut Laut di Perairan Kabupaten Karimun Kepulauan Riau | Pasang surut air laut | 1. Didapatkan potensi daya pembangkit listrik pasang surut sebesar 108,3414kWh dan terendah sebesar 84, 08124kWh<br>2. Potensi pembangkit listrik tenaga pasang surut dengan luasan danau 29,96 Ha rata-rata sebesar 46,910,6 Kwh pada tahun 2013. Potensi pembangkit listrik tenaga pasang surut dengan luasan danau 29,96 Ha didapat rata-rata sebesar 46,605,4 Kwh pada tahun 2014.<br>3. Perancangan generator sinkron terkopel dengan turbin yang memilki putaran rotor 1500 rpm didapat frekuensi 50 Hz dengan efesiensi 81%. Dengan daya keluaran 39,889,7 Kw. | 1. Metode yang digunakan yaitu energi pasang surut air laut sedangkan penelitian ini menggunakan metode OWC<br>2. Tempat yang diteliti berada pada wilayah Karimun Kepulauan Riau sedangkan penelitian ini berada pada perairan barat selayar |

Lanjutan Tabel 3 : *State of the art*

| Penulis | Judul Penelitian | Metode yang digunakan | Hasil yang dicapai | Perbedaan dengan penelitian yang diusulkan |
|---|---|---|---|---|
| Muhammad Yasyril Mumtaz (2020) | Studi Potensi Energi Gelombang Laut di Pantai Selatan Banyuwangi Menggunakan Sumber Data ERA5 (ECMWF) Dan Pengukuran Lapangan | Pemodelan Numerik | 1. Didapatkan bahwa tinggi gelombang dipantai selatan banyuwangi pada Bulan Desember 2018 s.d. November 2019 dengan rentang 0,4m s.d 1,8m<br>2. Besar potensi daya gelombang laut di Pantai Selatan Banyuwangi memiliki rentang 0,3─27,5 kW/m dengan rata-rata daya sebesar 8,7 kW/m<br>3. Total potensi energi gelombang laut di lokasi kajian selama setahun sebesar 76,48 MWh/m; potensi energi gelombang laut tiap bulannya memiliki rentang 1,42─11,35 MWh/m dengan akumulasi potensi energi paling sedikit ditemukan pada Bulan Februari 2019 dan paling besar pada Bulan Juli 2019 | 1. Data yang digunakan berdasarkan data dari ERA5 (ECMWF) sedangkan pada penelitian ini menggunakan data dari BMKG<br>2. Metode yang digunakan yaitu pemodelan numerik berdasarkan data dari ERA5 sedangkan pada penelitian ini menggunakan metode OWC<br>3. Lokasi penelitian berada pada Pantai Selatan Banyuwangi sedangkan pada penelitian ini berada pada perairan barat selayar |

Lanjutan Tabel 3 : *State of the art*

| Penulis | Judul Penelitian | Metode yang digunakan | Hasil yang dicapai | Perbedaan dengan penelitian yang diusulkan |
|---|---|---|---|---|
| Lelly Erlita Safitri, Muh. Ishak Jumarang dan Apriansyah (2016) | Studi Potensi Energi Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem *Oscillating Water Coloumn* (OWC) Di Perairan Pesisir Kalimantan Barat | OWC | 1. Rata-rata daya Listrik yang dihasilkan untuk musim barat berkisar 831,53 s.d. 229.404,42 Watt, untuk peralihan I berkisar 161,35 s.d. 22.585,14 Watt. Sedangkan untuk musim timur berkisar 301,35 s.d. 265.620,97 Watt dan untuk peralihan II berkisar 139,64 s.d. 164.495,99 Watt.<br>2. Daya listrik tertinggi berada di Pantai Pulau Karimata, Kab. Kayong Utara pada musim barat dengan nilai sebesar 831.370,47 Watt. Sedangkan daya listrik terendah berada di Pantai Pulau Datok, Kab. Kayong Utara pada kondisi peralihan I dengan nilai sebesar 0,007 Watt. | 1. Lokasi penelitian berada pada pesisir perairan Kalimantan Barat sedangkan pada penelitian ini berada pada perairan Barat Selayar |

Lanjutan Tabel 3 : *State of the art*

| Penulis | Judul Penelitian | Metode yang digunakan | Hasil yang dicapai | Perbedaan dengan penelitian yang diusulkan |
|---|---|---|---|---|
| Muhammad Rifki Azizie, Sofia Ariyani dan Aji Brahma Nurgroho (2020) | Analisis Energi Gelombang Air Laut Menggunakan Teknologi *Oscillating Water Coloumn* | OWC | 1. Didaptkan energi paliing rendah 1,27 Joule dan paling besar 30,02 Joule dengan tinggi gelombang 2,4cm-6,46cm<br>2. Analisa pada energi densitasnya paling rendah sebesar 2,42 Joule/ $m^2$ dan serta analisa pada energi densitasnya paling besar 20,02 Joule/ $m^2$ | 1. Dilakukan suatu perancangan prototipe dengan sistem OWC sedangkan pada penelitian yaitu melakukan perhitungan potensi gelombang laut di Perairan Barat Selayar |
| Siti Rohmaniatul Adafiah, Artdhita Fajar Pratiwi dan Saepul Rahmat (2021) | Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Sistem *Oscillating Water Coloumn* | OWC | 1. Tegangan dan arus terbesar didapatkan ketika kecepatan angin di chamber mencapai 7,7 m/s dan kecepatan putar puli terbesar yaitu 31,9 rpm pada level air 17 cm adalah sebesar 3,03 V DC dan 6,07 mA. | 1. dilakukan suatu perancangan prototipe dengan sistem OWC sedangkan pada penelitian yaitu melakukan perhitungan potensi gelombang laut di Perairan Barat Selayar |

Lanjutan Tabel 3 : *State of the art*

| Penulis | Judul Penelitian | Metode yang digunakan | Hasil yang dicapai | Perbedaan dengan penelitian yang diusulkan |
|---|---|---|---|---|
| Setiyawan, Yuli Asmi Rahman, Muh. Sarjan, dan Nurhani Amin (2021) | Pemilihan Tipe Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Pelampung Di Pantai Salubomba Kabupaten Donggala | Pelampung | 1. Didapatkan Tinggi gelombang yang diperoleh dari peramalan gelombang metode SMB (Sverdrup Munk-Bretschneider) di Pantai Salubomba termasuk dalam persyarat untuk dibangunkan Pembangkit Litrik Tenaga Gelombang Laut, tinggi gelombang yang diperoleh yaitu 0,52 – 3,37 meter<br>2. Tipe pasang surut di Salubomba yaitu mixed tide prevailing diurnal dengan bilangan Formzahl 1,77. Tipe ini terjadi 1 atau 2 kali pasang dan 2 kali surut. Untuk kedalaman gelombang pecah terjadi pada kedalaman 3,95 meter. | 1. Tipe PLTGL yang digunakan adalah tipe pelampung sedangkan pada penelitian ini menggunakan tipe kolom air berosilasi.<br>2. Lokasi penelitian berada pada Kabupaten Donggala sedangkan penelitian ini berada Sekitar Perairan Barat Selayar. |

Lanjutan Tabel 3 : *State of the art*

| Penulis | Judul Penelitian | Metode yang digunakan | Hasil yang dicapai | Perbedaan dengan penelitian yang diusulkan |
|---|---|---|---|---|
| Arfi Suryanata (2023) | Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) Berbasis Piston | Piston | 1. Ketika air laut surut didapatkan tinggi gelombang yaitu 24,3 cm dan 25,3 cm serta ketika air laut pasang didapatkan 48,4 cm dan 49,8 cm<br>2. Daya yang dihasilkan dari keluaran generator rata-rata tegangan sebesar 5,163 V saat surut dan 12,228 V saat pasang dengan tegangan DC mampu menyalakan lampu DC 3 watt sampai 9 watt | 1. Dilakukan Perancangan alat berbasis piston sedangkan penelitian ini melakukan studi potensi gelombang laut dengan sistem OWC di sekitar Perairan Barat Selayar |

Lanjutan Tabel 3 : *State of the art*

| Penulis | Judul Penelitian | Metode yang digunakan | Hasil yang dicapai | Perbedaan dengan penelitian yang diusulkan |
|---|---|---|---|---|
| I Wayan Arta Wijaya (2010) | Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Teknologi Oscilating Water Column Di Perairan Bali | OWC | 1. Didapatkan bahwa dengan penggunaan pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan teknologi oscilatting water column (PLTGL-OWC) di laut di kawasan Jimbaran dapat dihasilkan energi yang tertinggi adalah sebesar 16.478.982,17 Joule dan yang terendah adalah sebesar 92,5897 Joule<br>2. Daya listrik yang mampu dihasilkan dengan penggunaan pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan dengan teknologi oscilatting water column (PLTGL-OWC) di lokasi tersebut yang tertinggi adalah sebesar 4.174.007,641 Watt dan yang terendah adalah sebesar 175,892 Watt. | 1. Lokasi Penelitian berada pda perairan Bali sedangkan pada penilitian ini hanya dilakukan pada perairan Barat Selayar |

Lanjutan Tabel 3 : *State of the art*

| Penulis | Judul Penelitian | Metode yang digunakan | Hasil yang dicapai | Perbedaan dengan penelitian yang diusulkan |
|---|---|---|---|---|
| Setiyawan dan N.Abdulrahim (2021) | Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Teknologi *Oscilating Water Column* (OWC) di Perairan Marana | OWC | 1. Didapatkan tinggi gelombang 0,204 m yang mengahsilkan daya sebesar 0,688 watt dengan rata-rata daya sebesar 0,097 watt.<br>2. Dari hasil perhitungan potensi listrik gelombang laut dapat disimpulkan bahwa di perairan Marana tidak berpotensi untuk dibangun Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem OWC dikarenakan daya listrik sangat kecil. | 1. Lokasi Penelitian berada pada perairan Bali sedangkan pada penilitian ini hanya dilakukan pada perairan Barat Selayar |