

SKRIPSI

**POTENSI GELOMBANG LAUT PERAIRAN SPERMONDE
MAKASSAR BAGIAN BARAT UNTUK PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT (PLTGL) DENGAN
METODE *OSCILLATING WATER COLUMN* (OWC)**

Disusun dan diajukan oleh:

DINDA RAHEL AGATA

D041 20 1083



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**POTENSI GELOMBANG LAUT PERAIRAN SPERMONDE
MAKASSAR BAGIAN BARAT UNTUK PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT (PLTGL) DENGAN
METODE *OSCILLATING WATER COLUMN* (OWC)**

Disusun dan diajukan oleh

**Dinda Rahel Agata
D041201083**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 16 Oktober 2024
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Prof. Ir. Ardiaty Arief, S.T., M.T.M., Ph.D.

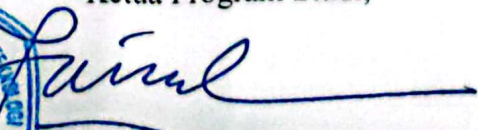
NIP. 197804242001122001


Ir. Hasniaty A, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 197412052000122001

Ketua Program Studi,




Prof. Dr. Ir. Faizal A Samman, M.T., IPU., ASEAN. Eng. ACPE.

NIP. 197506052002121004

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Dinda Rahel Agata

NIM : D041201083

Program Studi : Teknik Elektro

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**POTENSI GELOMBANG LAUT PERAIRAN SPERMONDE MAKASSAR
BAGIAN BARAT UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
GELOMBANG LAUT (PLTGL) DENGAN METODE *OSCILLATING
WATER COLUMN* (OWC)**

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, 16 Oktober 2024

Yang Menyatakan



Dinda Rahel Agata

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Potensi Gelombang Laut Perairan Spermonde Makassar Bagian Barat untuk Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) dengan Metode *Oscillating Water Column* (OWC)”

Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari tantangan yang penulis hadapi. Namun, atas kehendak Tuhan serta dukungan dan doa dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat melewati segala tantangan hingga dapat menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam menyusun dan menyelesaikan skripsi ini, antara lain :

1. Orang tua tercinta yaitu Bapak Yulianus Patabang dan Ibu Lydia Ametta yang tiada hentinya mendoakan anaknya, memberikan yang terbaik untuk anaknya, serta selalu memberikan dukungan dalam bentuk apapun sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Saudara-saudara tercinta yaitu Kakak Ayi, Kakak Haryun, Kakak Ninggar, Kakak Tiwi, dan Adek Shelo. Terima kasih karena selalu ada dalam setiap proses yang dilewati penulis khususnya dalam penulisan skripsi ini. Terima kasih atas segala bentuk perhatian yang telah diberikan agar penulis tetap semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Prof. Ir. Ardiaty Arief, S.T.,M.TM.,Ph.D dan Ibu Ir. Hasniaty A, S.T.,M.T.,Ph.D selaku dosen pembimbing penulis yang ditengah kesibukannya tetap meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan saran dan masukan selama proses pengerjaan skripsi ini.
4. Prof. Ir. M. Bachtiar Nappu, S.T.,M.T.,M.Phil.,Ph.D dan Bapak Ir. Tajuddin Waris, M.T. selaku dosen penguji yang telah menyempatkan waktu untuk hadir selama ujian dan memberikan kritik dan saran dalam menyelesaikan skripsi ini.

5. Seluruh dosen dan staf Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan dukungan selama masa perkuliahan hingga penyelesaian skripsi ini.
6. Ana, Dika, Dwi, Meisya Putri yang selalu menemani dan mendukung penulis baik dalam suka maupun duka sejak SMP hingga saat ini dan seterusnya.
7. Aisyah, Astri, Dika, Shafha, Wirda yang selalu ada dalam setiap proses yang penulis lalui sejak SMA hingga saat ini dan seterusnya.
8. Keluarga *Arrow of God* Yoflin, Rendy, Natasya, Nada, Febe, Reiky, dan yang lainnya, terima kasih telah menjadi keluarga bagi penulis sejak perkuliahan dimulai hingga saat ini dan seterusnya.
9. Yoflin, terima kasih karena telah menjadi saudara bagi penulis. Terima kasih karena selalu ada baik dalam suka maupun duka. Terima kasih karena telah menjadi pendengar dan pemberi saran yang baik, dan juga terima kasih atas segala bantuan yang diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Yola, Azal, Litha, Husni, Vani yang selalu ada baik suka maupun duka, menjadi pendengar dan pemberi saran yang baik untuk penulis.
11. “FMR” , terima kasih atas segala bantuan, dukungan, dan perhatian yang diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih karena selalu mau mendengar segala keluhan penulis, terima kasih karena selalu menemani penulis, terima kasih karena selalu sabar, tidak pernah menolak dan tidak pernah mengeluh dalam menghadapi penulis.
12. Teman-teman *Research Group Energy and Power System* Yoflin, Salsah, Febe, Muflih, Ponno, Jorgio, Anderson, Owen yang selalu mendukung dalam penyelesaian skripsi ini.
13. Teman-teman Mentor Elektro Aflah, Muflih, Nurul, Salsah yang selalu memberikan positif vibes kepada penulis, menjadi tempat sharing dan bertumbuh bagi penulis ditengah perkuliahan hingga saat ini dan seterusnya.

14. Saudara (i) PROCEZ20R atas kebersamaan, bantuan, kerja sama, dukungan, dan pengalaman dalam menjalani perkuliahan hingga saat ini dan seterusnya.
15. GPdI Filadelfia Gowa yang telah menjadi tempat pertumbuhan iman bagi penulis. Terima kasih telah menjadi wadah bagi penulis agar tetap dapat melayani Tuhan di masa perkuliahan dan juga untuk segala doa untuk mendukung penulis.
16. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan yang telah membantu dan mendukung penulis selama masa perkuliahan dan penyelesaian skripsi ini.
17. Terakhir, teruntuk penulis, terima kasih sudah mau bertahan lewati semua dinamika yang ada. Terima kasih karena tidak memilih menyerah. Terima kasih sudah berhasil patahkan segala ketakutan yang ada. Terima kasih karena tetap percaya Tuhan pasti tolong untuk lewati semuanya. *You nailed it Dinda!*

Penulis menyadari, terdapat kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran untuk dijadikan sebagai bahan evaluasi kedepannya. Penulis juga berharap dapat memberi manfaat bagi pembaca.

ABSTRAK

DINDA RAHEL AGATA. *Potensi Gelombang Laut Perairan Spermonde Makassar Bagian Barat Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) Dengan Metode Oscillating Water Column (OWC).* (dibimbing oleh Ardiaty Arief dan Hasniaty A.)

Indonesia merupakan negara yang 70% dari wilayahnya adalah laut dan merupakan negara kelautan terbesar di dunia. Besarnya potensi laut di Indonesia belum dimanfaatkan dengan optimal, khususnya dalam membangkitkan tenaga listrik. Posisi Indonesia yang diapit oleh dua samudra juga merupakan potensi yang dapat dimanfaatkan dalam pembangkitan tenaga listrik. Perairan Spermonde adalah perairan yang mengelilingi pulau Spermonde. Dangkalannya berada di sebelah barat daya Sulawesi Selatan dan terpisah dari dangkalan Sunda yang berada di seberang Selat Makassar. Area ini terletak di bagian selatan Kabupaten Takalar, Kota Makassar, Kabupaten Pangkep, dan Kabupaten Barru, yang terletak di bagian utara pantai Barat Sulawesi Selatan. Tercatat dalam prakiraan cuaca wilayah pelayanan BMKG, Perairan Spermonde Makassar bagian barat memiliki tinggi gelombang 0.25-1.25 m. Dalam studi potensi ini, metode yang digunakan adalah OWC. Konsep OWC ini memiliki keunggulan karena sederhana dan awet. Berdasarkan hasil analisa perhitungan potensi daya rata-rata yang dapat dibangkitkan adalah 27.955,79 watt dengan efisiensi 11,917%. Adapun metode analisis ekonomi yang digunakan adalah metode NPV, IRR, dan Payback Period. Dimana, nilai yang didapatkan untuk NPV adalah Rp30.462.809.401,91, IRR sebesar 25,79% dan Payback Period didapatkan setelah 5,3 tahun dengan target 10 tahun penggunaan.

Kata Kunci : Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut, *Oscillating Water Column*, Ekonomi.

ABSTRACT

DINDA RAHEL AGATA. Potential of Ocean Waves in Spermonde Waters, West Makassar for Ocean Wave Power Plant (PLTGL) Using Oscillating Water Column (OWC) Method. (supervised by Ardiaty Arief and Hasniaty A.)

Indonesia is a country with 70% of its territory is sea and is the largest maritime country in the world. The large potential of the sea in Indonesia has not been optimally utilized, especially in generating electricity. Indonesia's position which is flanked by two oceans is also a potential that can be utilized in generating electricity. The Spermonde Waters are the waters that surround the island of Spermonde. The shallows are located southwest of South Sulawesi and are separated from the Sunda shallows which are across the Makassar Strait. This area is located in the southern part of Takalar Regency, Makassar City, Pangkep Regency, and Barru Regency, which are located in the northern part of the West coast of South Sulawesi. Recorded in the weather forecast of the BMKG service area, the Spermonde Waters of the western part of Makassar have a wave height of 0.25-1.25 m. In this potential study, the method used is OWC. The OWC concept has advantages because it is simple and durable. Based on the results of the analysis of the calculation of the average power potential that can be generated is 27,955.79 watts with an efficiency of 11.917%. The economic analysis methods used are the NPV, IRR, and Payback Period methods. Where, the value obtained for NPV is Rp30,462,809,401.91, IRR is 25.79% and Payback Period is obtained after 5.3 years with a target of 10 years of use.

Keywords: Wave Power Plant, Oscillating Water Column, Economics.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Gelombang Laut	6
2.1.1 Definisi Gelombang Laut	6
2.1.2 Parameter yang Ada pada Gelombang Laut.....	6
2.1.3 Jenis Gelombang Laut	8
2.2 Energi Gelombang Laut.....	8
2.2.1 Energi yang Terdapat pada Gelombang Laut	8
2.2.2 Faktor yang Memengaruhi Gelombang Laut.....	10
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL).....	14
2.3.1 Definisi PLTGL	14
2.3.2 Teknologi PLTGL	15
2.4 Kategori Potensi Energi Laut.....	18
2.5 Analisis Ekonomi	19
2.5.1 <i>Net Present Value (NPV)</i>	19
2.5.2 <i>Internal Rate of Return (IRR)</i>	19
2.5.3 <i>Payback Period (PBP)</i>	20
2.6 Analisis SWOT.....	21

2.6.1 Pengertian Analisis SWOT	21
2.7 Emisi Karbon	21
2.8 <i>State of Art</i>	23
BAB III METODE PENELITIAN	34
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	34
3.2 Benda Uji dan Alat	35
3.3 Teknik Pengumpulan Data	35
3.4 Teknik Analisis	35
3.5 Alur Penelitian	36
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Gambaran Umum Perairan Spermonde Makassar bagian Barat	38
4.1 Data Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG)	39
4.2 Analisis Potensi Gelombang Laut Perairan Spermonde Makassar bagian Barat	39
4.2.1 Analisis Potensi Teoritis	39
4.2.2 Analisis Potensi Teknis	48
4.2.3 Analisis Potensi Praktis	51
4.2.4 Analisis Potensi Terakses	55
4.3 Analisis Ekonomi PLTGL	56
4.3.1 Biaya Investasi untuk <i>Oscillating Water Coloumn</i>	56
4.3.2 Rata-rata Kecepatan yang Dihasilkan	57
4.3.2 Estimasi Perhitungan Energi yang Tersedia	58
4.3.4 Hubungan antara Kecepatan Gelombang dan Energi yang Dihasilkan	59
4.3.3 Perhitungan Pendapatan Energi PLTGL	60
4.3.4 <i>Net Present Value</i> (NPV) dan <i>Internal Rate Return</i> (IRR)	61
4.3.5 <i>Payback Period</i>	63
4.6 Analisis SWOT	64
4.6.1 Analisis Kekuatan (<i>Strength</i>)	64
4.6.2 Analisis Kelemahan (<i>Weakness</i>)	64
4.6.3 Analisis Peluang (<i>Opportunities</i>)	65
4.6.4 Analisis Ancaman (<i>Threats</i>)	65
4.7 Reduksi Emisi Karbon	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	69

DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN.....	73

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Faktor Emisi dan Bahan	22
Tabel 2. State of Art	23
Tabel 3 Tinggi Gelombang	39
Tabel 4 Periode Gelombang Laut	41
Tabel 5 Panjang Gelombang	42
Tabel 6 Potensi Energi Gelombang Laut	44
Tabel 7 Potensi Daya Yang Dibangkitkan	46
Tabel 8 Daya yang Dikeluarkan OWC	49
Tabel 9 Biaya Investasi untuk OWC	56
Tabel 10 Rata-Rata Kecepatan	57
Tabel 11 Estimasi Perhitungan Energi yang Tersedia	58
Tabel 12 Hubungan antara Kecepatan Gelombang dan Energi yang Dihasilkan .	59
Tabel 13 Pendapatan Energi PLTGL	61
Tabel 14 NPV dan IRR	62
Tabel 15 Payback Period	63
Tabel 16 Reduksi Emisi Karbon	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Gelombang air laut	6
Gambar 2. Refraksi Gelombang Laut	12
Gambar 3. Difraksi Gelombang di Belakang Rintangan	13
Gambar 4. Refleksi Gelombang Laut.....	13
Gambar 5. Skema Umum PLTGL	14
Gambar 6. Energi kinetik yang terdapat pada gelombang laut yang digunakan untuk menggerakkan turbin.....	16
Gambar 7. Skema Oscillating Water.....	17
Gambar 8. (a) Overtopping Device, (b) Wave Dragon	17
Gambar 9. Lokasi perairan spermonde makassar bagian barat.....	34
Gambar 10 Diagram Alur Penelitian.....	36
Gambar 11 Wilayah Perairan Spermonde Makassar bagian Barat	38
Gambar 12 Grafik Tinggi Gelombang Tahun 2023	40
Gambar 13 Grafik Hubungan Antara Rata-Rata Tinggi Gelombang Dan Periode Gelombang	41
Gambar 14 Grafik Hubungan antara Panjang Gelombang dan Periode Gelombang	43
Gambar 15 Grafik Hubungan Tinggi Gelombang dan Daya Listrik.....	48
Gambar 16 Peta Batimetri Perairan Spermonde Makassar bagian Barat.....	51
Gambar 17 Peta Alur Pelayaran Indonesia	52
Gambar 18 Lokasi Pemasangan PLTGL.....	53
Gambar 19 Prototype PLTGL OWC Baron, Yogyakarta	54
Gambar 20 PLTGL OWC Pico, Portugal	54
Gambar 21 PLTGL OWC Offshore	55
Gambar 22 Grafik Hubungan Panjang Gelombang, Periode Gelombang, dan Kecepatan Gelombang	58
Gambar 23 Hubungan antara Kecepatan Gelombang dan Energi yang Dihasilkan	60
Gambar 24 Grafik Perbandingan Reduksi Emisi Karbon	67
Gambar 25 Perbandingan Biaya PLTGL dan PLTU	68

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi adalah salah satu elemen yang sangat penting dalam kehidupan manusia, dan seiring perkembangan zaman modern, setiap aktivitas manusia bergantung pada energi untuk berhasil. Ini terutama berlaku untuk sektor perekonomian, sosial, kesehatan, rumah tangga, industri, bisnis, pendidikan, dan hiburan (Harahap, 2019). Seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan jumlah penduduk di Indonesia, kebutuhan listrik terus meningkat (Safitri dkk., 2016). Berdasarkan asumsi dan target yang digunakan dalam RUKN 2023-2060, dilakukan pemodelan sehingga menghasilkan proyeksi kebutuhan tenaga listrik tahun 2023 sebesar 379 TWh meningkat menjadi 1.849 TWh pada tahun 2060 (rata-rata pertumbuhan sekitar 4,8% per tahun) (Ditjen Ketenagalistrikan Kemen ESDM, 2023). Indonesia memiliki permintaan listrik yang terus meningkat setiap tahunnya. Penyebab utamanya adalah peningkatan perekonomian dan jumlah penduduk masyarakat, serta kemajuan teknologi yang telah meningkatkan standar kenyamanan hidup masyarakat.

Energi yang tak terbarukan, seperti minyak bumi dan batu bara, telah lama digunakan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Namun, karena cadangan energi semakin menipis dan proses produksinya membutuhkan jutaan tahun, sumber daya ini tidak dapat mencukupi kebutuhan manusia dalam jangka panjang (Rahma Utami, 2010). Selain itu, bahan bakar fosil ini akan meninggalkan residu ketika digunakan. Residu yang disebabkan oleh bahan bakar fosil ini kemudian tidak dapat digunakan lagi yang kemudian akan menyebabkan pencemaran lingkungan (Saputra, 2020). Oleh karena itu, dibutuhkan energi alternatif yang dapat memenuhi kebutuhan masyarakat yang meningkat dan juga yang tidak mencemari lingkungan.

Ditengah penggunaan bahan bakar konvensional yang sebenarnya memiliki dampak negatif bagi kehidupan, pada dasarnya masih tersedia banyak sumber

energi terbarukan yang dapat mengurangi pencemaran yang disebabkan oleh penggunaan bahan bakar konvensional. Dengan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil, maka polusi yang dihasilkan akan berkurang (Saputra, 2020). Di Indonesia, batu bara digunakan sebagai pembangkit listrik. Jika hanya mengandalkan batu bara, maka seiring berjalannya waktu batu bara di Indonesia akan habis.

Selain bahan bakar batu bara, ada banyak sumber energi lainnya yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik. Contohnya adalah Sumber energi terbarukan seperti air, angin, surya, dan gelombang laut yang tidak dapat mencemarkan lingkungan dan sekitarnya. Hal ini sesuai dengan pertimbangan pada Undang-Undang Nomor 112 tahun 2022 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.

Indonesia merupakan negara yang 70% dari wilayahnya adalah laut dan merupakan negara kelautan terbesar di dunia. Besarnya potensi laut di Indonesia belum dimanfaatkan dengan optimal, khususnya dalam membangkitkan tenaga listrik (Rahma Utami, 2010). Posisi Indonesia yang diapit oleh dua samudra juga merupakan potensi yang dapat dimanfaatkan dalam pembangkitan tenaga listrik. Dapat dilihat dari posisinya yang mengakibatkan angin berhembus di bibir pantai yang berhadapan dengan samudra membuat potensi untuk membangkitkan gelombang yang besar. Gelombang yang terjadi terus-menerus merupakan energi yang dapat dieksploitasi (Mukhtasor, 2014).

Gelombang laut adalah pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. Gelombang laut disebabkan oleh angin. Angin di atas lautan mentransfer energinya ke perairan, menyebabkan riak-riak, alun/bukit, dan berubah menjadi gelombang. Gelombang laut ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk pembangkit listrik, oleh karena itu perlu dilakukan studi terkait pengembangan gelombang laut ini sebagai sumber energi pembangkit listrik (Saputra, 2020).

Perairan Spermonde adalah perairan yang mengelilingi pulau Spermonde. Dangkalannya berada di sebelah barat daya Sulawesi Selatan dan terpisah dari dangkalan Sunda yang berada di seberang Selat Makassar. Area ini terletak di bagian selatan Kabupaten Takalar, Kota Makassar, Kabupaten Pangkep, dan Kabupaten Barru, yang terletak di bagian utara pantai Barat Sulawesi Selatan (A. R. Jalil, 2013). Lokasinya di Selat Makassar memengaruhi perairan dan aktivitas di dalamnya (Jalil dkk., 2020). Tercatat dalam prakiraan cuaca wilayah pelayanan BMKG, Perairan Spermonde Makassar bagian barat memiliki tinggi gelombang 0.25-1.25 m.

Oscillating Water Column adalah salah satu teknologi dimana listrik yang dihasilkan dari naik turunnya air dari gelombang laut dalam pipa silindris yang berlubang sehingga mengakibatkan keluar masuknya udara di lubang bagian atas pipa dan menggerakkan turbin. Sistem OWC ini lebih sederhana dibandingkan teknologi lainnya karena komponen utama yang digunakan berupa piston hidrolik, turbin, generator, *submarine tower*, dan pipa kabel bawah tanah (Shintawati, 2019).

Oscillating Water Column memiliki ruang di bawah permukaan air yang terbuka ke laut. Ketika hempasan gelombang sampai ke alat tersebut, air masuk ke dalam ruangan dan menahan udara di dalamnya. Turbin mengangkat udara ke atmosfer saat air gelombang mundur. Karena turbin bertekanan rendah dapat berputar dalam arah yang sama terlepas dari arah aliran, mereka menghilangkan kebutuhan untuk mengarahkan kembali aliran udara, yang membuatnya sering digunakan pada alat ini. Konsep OWC ini memiliki keunggulan karena sederhana dan awet (Mumtaz, 2020).

Sesuai dengan kebijakan pemerintah untuk mengembangkan dan memanfaatkan lebih banyak energi terbarukan, untuk itu dalam pengembangan proyek energi terbarukan seperti panas bumi, angin, surya, biomassa, dan tenaga air keekonomian proyek tetap dipertimbangkan untuk mengurangi biaya pokok penyediaan (BPP) tenaga listrik di wilayah tersebut (Ditjen Ketenagalistrikan Kemes ESDM, 2023).

Sebagai tahap awal dari pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) maka diperlukan studi awal untuk menghitung seberapa besar potensi energi gelombang untuk PLTGL. Untuk itu, pada penelitian “Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan metode OWC pada Perairan Spermonde Makassar Bagian Barat” ini kita akan mengetahui potensi dari penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan metode OWC di wilayah perairan Perairan Spermonde Makassar Bagian Barat.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana potensi penerapan pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan menggunakan sistem OWC di wilayah Perairan Spermonde Makassar Bagian Barat?
2. Bagaimana analisis ekonomi dari penerapan pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan menggunakan sistem OWC di wilayah Perairan Spermonde Makassar Bagian Barat?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui potensi penerapan pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan menggunakan sistem OWC di wilayah Perairan Spermonde Makassar Bagian Barat.
2. Untuk mengetahui skema pembiayaan penerapan pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan menggunakan sistem OWC di wilayah Perairan Spermonde Makassar Bagian Barat.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Secara akademik sebagai penunjang ilmu teknologi yang sudah ada sebelumnya
2. Memberikan informasi terkait potensi kemungkinan penerapan pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan menggunakan sistem OWC di wilayah Perairan Spermonde Makassar Bagian Barat
3. Sebagai suatu rekomendasi awal untuk lokasi potensi energi gelombang di Indonesia yang nantinya dapat digunakan untuk kegiatan survei selanjutnya

4. Mengetahui dampak PLTGL bagi lingkungan sekitar Perairan Spermonde Makassar Bagian Barat

1.5 Batasan Masalah

1. Metode yang digunakan ialah *Oscillating Water Column* (OWC)
2. Dibatasi pada perhitungan daya yang dapat dihasilkan oleh PLTGL dengan OWC
3. Terbatas pada wilayah Perairan Spermonde Makassar bagian Barat
4. Dilakukan berdasarkan data yang diambil pada tahun 2023
5. Dibatasi pada prototype yang dipasang di Yogyakarta dan Pico
6. Analisis keekonomian dibatasi pada metode NPV, IRR, PBP, dan harga investasi berdasarkan data yang tersedia.

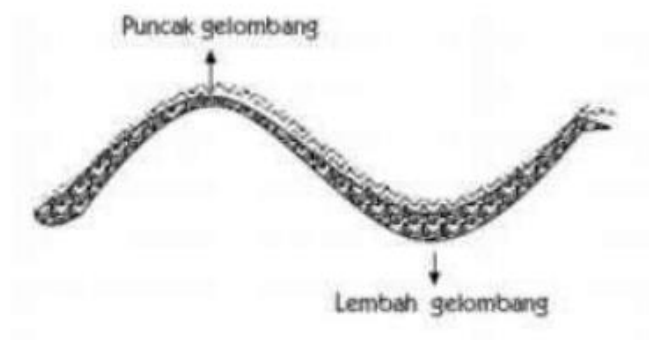
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang Laut

2.1.1 Definisi Gelombang Laut

Gelombang laut adalah fenomena lautan yang dimana gerakan muka air laut tegak lurus ke permukaan air (Mukhtasor, 2014). Jenis gelombang di laut berbeda-beda berdasarkan gaya pembangkitannya. Beberapa jenis gelombang tersebut termasuk gelombang angin yang dihasilkan oleh tiupan angin di permukaan laut; gelombang pasang surut, yang dihasilkan oleh gaya tarik benda langit, terutama matahari dan bulan, terhadap bumi; gelombang tsunami, yang dihasilkan oleh letusan gunung berapi atau gempa bumi; kapal yang bergerak; dan sebagainya (Triatmodjo, 1999). Gelombang adalah gerakan vertikal air laut, seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 (Suryanata, 2023).



Gambar 1. Gelombang air laut (sumber : Waldopo, 2008)

Pada dasarnya, pergerakan angin menggerakkan air laut, menyebabkan gelombang kecil di permukaan air. Ombak menjadi lebih besar ketika kecepatan angin naik, dan ketika angin terus bertiup, ombak pun keluar. Semakin lama dan kuat angin, semakin besar ombaknya (Suryanata, 2023).

2.1.2 Parameter yang Ada pada Gelombang Laut

Energi gelombang laut dihasilkan oleh beda tinggi gelombang laut. Selain itu, juga dipengaruhi oleh panjang gelombang, dan periode waktu yang mempengaruhi jumlah energi gelombang laut yang dihasilkan.

Parameter-parameter yang digunakan dalam menghitung gelombang yang memiliki permukaan bebas dan juga bergantung pada gravitasi, antara lain :

λ : panjang gelombang (m)

a : amplitude (m)

2a : tinggi (dari puncak ke palung) (m)

T : periode (s)

f : frekuensi (Hz)

Kedalaman air dan panjang gelombang memengaruhi Periode dan kecepatan gelombang (Faulincia, 2016) . Sementara itu, hubungan antara panjang gelombang dan periode dapat diperkirakan dengan persamaan, yaitu

$$\lambda = 5.12 T^2 \quad (\lambda \text{ dalam m, dan } t \text{ dalam s}) \quad (1)$$

Dimana :

λ : Panjang gelombang (m)

T : Periode (s)

Periode gelombang dapat dihitung dengan persamaan Nielsen (Vidura, 2019):

$$T = 3.55\sqrt{h} \text{ (s)} \quad (2)$$

Panjang gelombang (L) adalah jarak horizontal dalam meter antara dua punggung atau lembah gelombang yang berurutan, dan periode gelombang (T) adalah waktu tempuh (dalam detik) antara dua punggung atau lembah gelombang yang berurutan. Tinggi gelombang (H) diukur sebagai jarak vertikal dalam meter antara puncaknya dan lembahnya. Kecepatan rambat gelombang (C) dapat dihitung dengan membagi panjang gelombang (L) dengan periode gelombang (T), atau $C = L/T$ (Suryanata, 2023).

2.1.3 Jenis Gelombang Laut

Gelombang laut terbagi menjadi berbagai kategori berdasarkan gaya pembangkitnya. Gelombang termasuk gelombang angin yang disebabkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut yang disebabkan oleh gaya tarik benda langit, terutama matahari dan bulan, terhadap bumi, gelombang yang disebabkan oleh kapal yang bergerak, dan gelombang lainnya (Triatmodjo, 1999).

Sesuai dengan WMO Sea State Code, kriteria tinggi gelombang yang digunakan dalam Prakiraan Gelombang laut dan cuaca harian, antara lain (BMKG, 2023) :

1. Tinggi gelombang 0.5 – 1.25m (*slight sea*)
2. Tinggi gelombang 1.25 – 2.5m (*moderate sea*)
3. Tinggi gelombang 2.5 – 4.0m (*rough sea*)

2.2 Energi Gelombang Laut

2.2.1 Energi yang Terdapat pada Gelombang Laut

Hasil penjumlahan dari energi potensial dan energi kinetik yang terdapat pada gelombang merupakan energi total dari gelombang tersebut. Adapun energi gelombang laut tersebut, antara lain (Faulincia, 2016) :

1. Energi Potensial

Kenaikan air di atas tinggi rata-raya ($y=0$) merupakan penyebab timbulnya energi potensial.

$$\frac{PE}{A} = \frac{1}{4} \rho \alpha^2 \frac{g}{gc} \quad (1)$$

2. Energi Kinetik

$$\frac{EK}{A} = \frac{1}{4} \rho \alpha^2 \quad (2)$$

3. Total Energi dan Daya

Sebuah gelombang sinusoidal profresif memiliki energi potensial dan energi kinetik yang sama. Oleh karena itu, total energi E adalah jumlah energi potensial dan energi kinetik. Sehingga, kerapatan energi total adalah :

$$\frac{E}{A} = \frac{1}{2} \rho \alpha^2 \frac{g}{gc} \quad (3)$$

Selain itu, daya P energi per unit waktu yang diberikan oleh gelombang yang memiliki frekuensi waktu energi. Sehingga, kerapatan daya W/m^2 dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho \alpha^2 f \frac{g}{gc} \quad (4)$$

$$E_w = \frac{1}{2} \cdot w \cdot \rho \cdot g \cdot a^2 \cdot \lambda \quad (5)$$

Dimana,

E_w = Total Energi (J)

w = Lebar ruang (m)

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

a = Tinggi gelombang (m)

λ = Panjang gelombang (m)

Setelah total energy gelombang didapatkan, maka dapat dihitung daya yang dihasilkan oleh gelombang dengan persamaan berikut

$$P_w = \frac{E_w}{T} \quad (6)$$

Dimana,

P_w = Daya (W)

E_w = Total Energi (J)

T = Periode (S)

Selanjutnya, untuk menghitung daya dengan mempertimbangkan factor efisiensi gelombang laut yang dapat dirumuskan sebagai berikut

$$P = P_w \times \eta_{OWC} \quad (7)$$

Dimana,

P = Daya setelah mempertimbangkan factor efisiensi (W)

P_w = Daya sebelum mempertimbangkan factor efisiensi (W)

η_{OWC} = Faktor efisiensi (%)

2.2.2 Faktor yang Memengaruhi Gelombang Laut

Terdapat beberapa faktor yang memengaruhi gelombang laut, antara lain (Suryanata, 2023) :

1. Angin

Salah satu faktor yang memengaruhi timbulnya gelombang laut adalah angin. Angin ini memengaruhi tinggi dan lama timbulnya gelombang laut. Gelombang laut normal (*swell*) tergantung pada :

- a. Kecepatan angin;
- b. Durasi angin;
- c. Panjang daerah persentuhan angin dengan permukaan air laut (panjang *fetch*).

Ketiga faktor utama diatas menentukan tinggi dan lama gelombang normal laut. Ketika angin bertiup dengan kecepatan konstan, ketinggian gelombang meningkat, sebanding dengan periode gelombang. Setelah itu, gelombang menyebar secara teratur dari jarak beberapa ratus meter dari tempat asalnya, menurunkan tingginya di sepanjang jalan, sementara durasi gelombang meningkat.

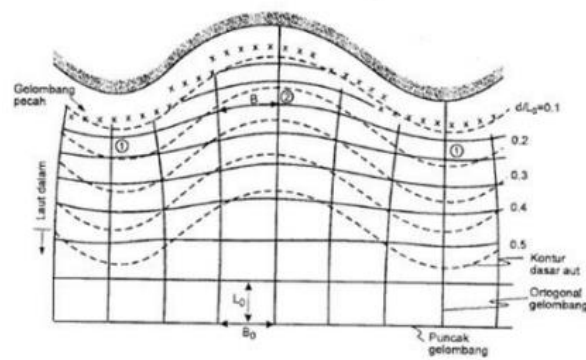
2. Batrimetri

Batimetri (berasal dari bahasa Yunani: βάθος yang berarti "kedalaman", μέτρον yang berarti "pengukuran") adalah studi kedalaman dalam air dan studi dari tiga dimensi lantai laut atau danau. Batimetri juga dapat sebagai penjelasan tentang undulasi dasar laut dan perbedaan penampilan dan karakteristik dasar laut. "Bathy" berarti kedalaman dan "Metry" berarti ilmu pengukuran. Oleh karena itu, "survei dangkal" secara harfiah berarti ukuran kedalaman dasar laut dari kedua sisi elevasi dan kedalaman. Ini memberikan informasi dan penjelasan tentang struktur dan dasar laut (Anugrah, 2021). Bagan batimetri sendiri merupakan peta yang menunjukkan bentuk komposisi dasar laut dengan nilai kedalaman numerik dan garis kontur.

a. Refraksi

Pembelokan arah rambat gelombang fisika dan elektromagnetik yang terjadi ketika gelombang melewati antarmuka antara dua media yang memiliki indeks bias yang berbeda, yang menunjukkan kepadatan medium, disebut refraksi. Cahaya bergerak dari udara ke air yang membelokkan arah rambatnya, misalnya. Refraksi gelombang laut disebabkan oleh perbedaan kedalaman laut. Pembiasan tidak mempengaruhi jalannya gelombang laut di perairan dalam, tetapi di laut dangkal dan laut transisi, dasar laut mempengaruhi jalannya gelombang laut. Karena puncak menyebar lebih lambat di perairan dangkal dan laut transisi, cobalah untuk mencocokkan kontur dasar laut. Fenomena ini dapat digambarkan sebagai cahaya yang melalui dua media yang berbeda dalam hal massa.

Karena kedalaman laut berkurang, kecepatan gelombang juga berkurang secara linier. Ketika gelombang naik ke atas, kecepatan rambatnya bervariasi dan membentuk sudut tetap terhadap dasar laut. Berdasarkan karakteristik gelombang datang, refraksi dan pendangkalan gelombang, juga dikenal sebagai wave shoaling, mempengaruhi arah dan ketinggian gelombang. Refraksi juga mempengaruhi bagaimana energi gelombang tersebar di sepanjang pantai. Pembiasan mengubah arah gelombang dan menyebabkan energi gelombang konvergensi (penutupan) atau divergensi (perambatan). Hal ini berdampak pada energi gelombang saat mencapai pantai.

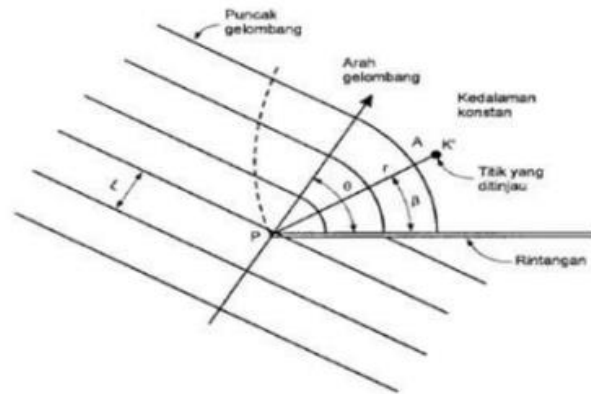


Gambar 2. Refraksi Gelombang Laut (sumber : Triatmojo dan Bambang, 1999)

Dapat dilihat pada gambar di atas, puncak gelombang berubah sesuai dengan kontur dasar laut dan garis pantai. Gelombang ortogonal merambat dalam arah tegak lurus terhadap kontur. Di titik 1, garis gelombang ortogonal bertemu dan di titik garis ortogonal mengembang. Energi antara dua garis ortogonal adalah konstan. Pada lokasi 1 energi yang terkandung lebih besar daripada lokasi karena jarak antar garis orthogonal pada lokasi 1 lebih pendek dibandingkan lokasi 2.

b. Difraksi

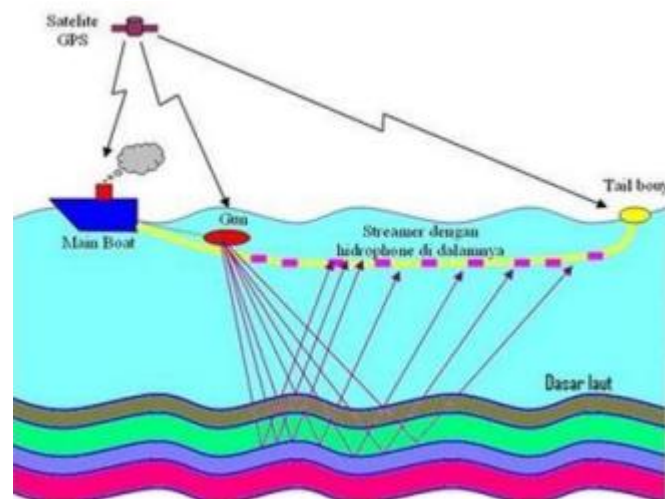
Jika gelombang dihalangi oleh rintangan, gelombang tersebut mengitari ujung rintangan dan memasuki area lindung di belakangnya. Difraksi adalah ketika energi ditransfer dalam arah tegak lurus terhadap rambat gelombang radio ke area yang dilindungi. Jika tidak difraksi, gelombang di belakang penghalang akan tenang, tetapi gelombang yang datang mempengaruhi area ini. Perpindahan energi ke wilayah lindung menyebabkan gelombang.



Gambar 3. Difraksi Gelombang di Belakang Rintangan (sumber :
Triatmojo dan Banbang, 1999)

c. Refleksi

Saat gelombang laut membentur rintangan vertikal, seperti dinding pantai, tenaga ombak akan sebagian diserap oleh dinding. Namun, dalam kenyataannya, tenaga nir tidak diserap tetapi dipantulkan, sehingga refleksi merupakan pemantulan tenaga gelombang yang membentur rintangan.



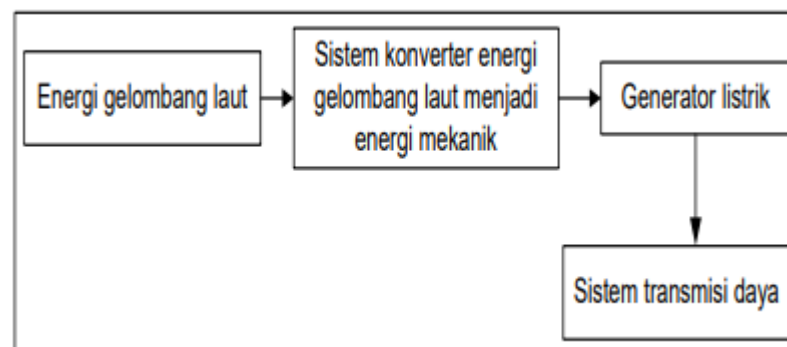
Gambar 4. Refleksi Gelombang Laut (sumber : Triatmojo dan
Bambang, 1999)

2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL)

2.3.1 Definisi PLTGL

Pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) merupakan pembangkit listrik yang terletak di lingkungan perairan atau lepas pantai salah satu jenis pembangkit yang biasanya bekerja dengan mengubah energi gelombang laut menjadi energi mekanik, yang kemudian diubah menjadi energi listrik (Aminuddin dkk., 2015).

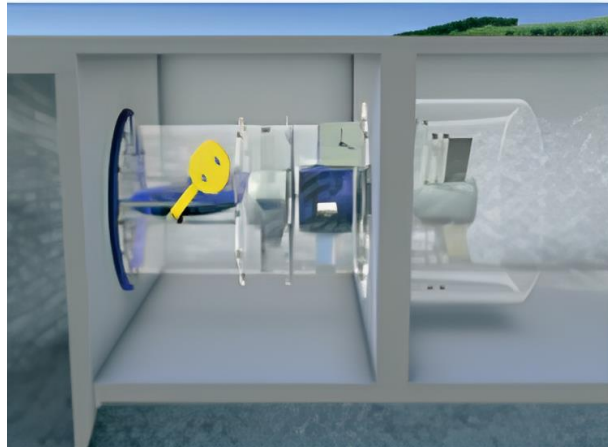
Secara umum, Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) terdiri atas 4 (empat) komponen utama, yaitu energi gelombang, sistem konverter yang merubah energi gelombang menjadi energi mekanik, generator listrik, dan transmisi. Secara skematik yang dapat dilihat pada gambar 5, sistem kerja PLTGL dimulai dari gelombang laut yang bergerak membawa energi yang dikonversi oleh mesin konversi menjadi energi kinetik sebagai pemutar sistem turbin, sedangkan turbin memutar generator untuk menghasilkan energi listrik melalui energi mekanik.



Gambar 5. Skema Umum PLTGL (sumber : Aminuddin dkk, 2015)

Generator berfungsi untuk merubah energy mekanik yang berasal dari turbin menjadi energy listrik. Generator inilah yang disebut konverter energy. Jenis generator yang digunakan pada PLTGL ialah jenis Generator Asinkron (generator tak-serempak) yang merupakan motor induksi yang dirubah menjadi generator, generator ini dipilih karena PLTGL sebagai energi alternatif tidak banyak membutuhkan perawatan seperti halnya generator sinkron, lebih kuat, handal, harga lebih murah dan tidak membutuhkan bahan bakar pada saat diaplikasikan di lapangan, tapi cukup bergantung pada sumber energi terbarukan

seperti air, angin, dan lain – lain sebagai prime over (penggerak mula). Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabel jaringan listrik untuk akhirnya digunakan oleh masyarakat. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (Alternating Current).



Gambar 6 Turbin dan Generator (sumber : Ramadhanti, 2014)

2.3.2 Teknologi PLTGL

Ada beberapa teknologi yang digunakan pada PLTGL, antara lain (Rahma Utami, 2010) :

1. Energi Gelombang

Pada gelombang laut, terkandung energi kinetik yang digunakan untuk menggerakkan turbin. Prosesnya dimulai dari ombak yang naik ke dalam ruang generator, kemudian air tersebut naik menekan udara keluar dari ruang generator sehingga ketika air turun turbin akan berputar, udara yang bertiup ke dalam ruang generator dan turbin berputar kembali.



Gambar 7. Energi kinetik yang terdapat pada gelombang laut yang digunakan untuk menggerakkan turbin (sumber : Rodrigues, 2005)

2. Pasang Surut Air Laut

Ketika air sedang pasang, air pasang tersebut ditampung dalam reservoir. Kemudian ketika air sedang surut, air yang berada di belakang reservoir dapat dialirkan seperti pada PLTA. Gelombang pasang yang besar dibutuhkan agar dapat bekerja dengan optimal. Perbedaan antara gelombang pasang dan gelombang surut yang dibutuhkan kira kira 16 kaki.

3. *Ocean Thermal Energy Conversion*

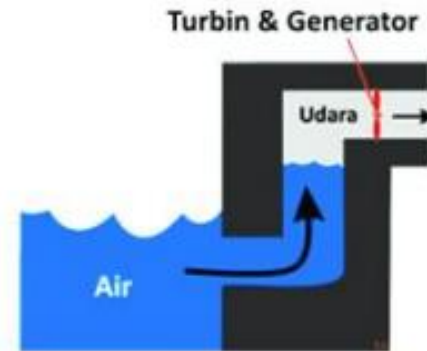
Perbedaan suhu di laut dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik. Semakin menuju ke dasar laut maka suhu laut akan semakin rendah. Sedangkan, semakin menuju ke permukaan maka suhu laut akan semakin tinggi dikarenakan sinar matahari.

Perbedaan suhu ini dapat digunakan untuk menghasilkan energi yang dapat membangkitkan listrik. Perbedaan suhu yang diperlukan minimal 38°F antara suhu permukaan dan suhu bawa laut.

4. *Oscillating Water Column (OWC)*

Oscillating Water Column adalah salah satu teknologi dimana listrik yang dihasilkan dari naik turunnya air dari gelombang laut dalam pipa silindris yang berlubang sehingga mengakibatkan keluar masuknya udara di lubang bagian atas pipa dan menggerakkan turbin. Sistem OWC ini lebih sederhana dibandingkan teknologi lainna karena komponen utama yang digunakan berupa piston hidrolik, turbin,

generator, *submarine tower*, dan pipa kabel bawah tanah. Adapun skema pada pengoperasian OWC ini dapat dilihat pada gambar 7 (Shintawati, 2019).



Gambar 8. Skema Oscillating Water (sumber : Shintawati, 2019)

5. *Overtopping Device*

Overtopping Device merupakan peralatan penjebak air laut ke dalam suatu tempat di tengah laut. Air yang terkumpul nantinya akan digunakan untuk memutar turbin yang berada di bawah *Overtopping Device*.

Wave Dragon merupakan salah satu bentuk pemanfaatan penjebak air laut. Dengan menggunakan penangkap gelombang, air laut akan diarahkan ke tempat penampungan air, kemudian dikontrol penggunaannya untuk memutar turbin yang berada di bawah alat konversi (Parjiman dkk., 2015).



(a)

(b)

Gambar 9. (a) *Overtopping Device*, (b) *Wave Dragon* (sumber : Parjiman dkk., 2015)

2.4 Kategori Potensi Energi Laut

Berdasarkan kesepakatan 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, kategori tersebut yaitu (Marine Institute and Sustainable Energy Ireland, 2005) :

1. Potensi teoritis

Kandungan energi bruto dari sumber daya. Dari pemodelan di wilayah laut yang berpotensi maka dihasilkan potensi teoritis ini. Perhitungan potensi ini berdasarkan asumsi dan data-data lapangan.

2. Potensi teknis

Adanya efisiensi dari alat teknologi yang tersedia membuat sumber daya teoritis ini dibatasi. Potensi ini juga telah mempertimbangkan teknologi yang digunakan untuk survey seperti bathimetri (kedalaman laut). Teknologi yang tersedia pun juga termasuk "*proven design*".

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.

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.

5. Potensi operasional

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.

2.5 Analisis Ekonomi

Pada penelitian ini, analisis ekonomi digunakan untuk menghitung berapa biaya yang diperlukan untuk realisasi PLTGL dengan metode OWC baik itu nilai investasi yang diperlukan hingga waktu yang dibutuhkan agar biaya investasi dapat kembali.

2.5.1 Net Present Value (NPV)

Penghasilan di masa depan yang bunganya telah dibayar di muka atau dengan potongan harga dapat digambarkan dengan NPV. Tujuan dari metode ini adalah untuk menganalisis keuntungan proyek yang dilaksanakan untuk mereplikasi konstruksinya di masa depan. Adapun persamaan untuk menentukan NPV adalah sebagai berikut (Blankk *et al*, 2012)

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{S_n}{(1+i)^n} = 0 \quad (8)$$

Dimana :

S_n = *Cashflow* tahun 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 jika NPV bernilai negative maka dapat dikatakan bahwa investasi tersebut tidak layak (tidak menguntungkan). Adapun nilai NPV = 0 menunjukkan bahwa pengembalian investasi berada pada titik minimum kelayakan atau titik impas (*break-even point*). (Blank *et al*, 2012).

2.5.2 Internal Rate of Return (IRR)

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

$$\sum_{t=0}^T \frac{S_n}{(1+IRR)^n} = 0 \quad (9)$$

Dimana :

S_n = *Cashflow* tahun ke- n

IRR = *Internal Rate of Return (%)*

n = Umur operasi 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 ditambah 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 pada titik minimum kelayakan atau titik impas. (Blank *et al*, 2012).

2.5.3 Payback Period (PBP)

Payback Period mengukur berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk proyek menutupi investasi awalnya. Untuk menghitung payback period, bagi pengeluaran investasi awal seluruh system dengan pendapatan tahunan yang dihasilkannya. Waktu pemulihan ditentukan dengan rumus berikut

$$PBP = \text{Tahun sebelum PBP} + \frac{\text{Kas sebelum PBP}}{\text{Kas masuk setelah PBP}} \quad (10)$$

Nilai PBP suatu proyek investasi menunjukkan tingkat resiko proyek. Semakin panjang nilai PBP atau waktu yang diperlukan untuk pengembalian investasi maka makin besar resiko 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 yang pendek. (Blank *et al*, 2012).

2.6 Analisis SWOT

2.6.1 Pengertian Analisis SWOT

Salah satu pendekatan yang dapat dipergunakan sebagai instrument dalam pemilihan strategi dasar adalah melalui analisis SWOT. SWOT adalah identifikasi berbagai faktor secara sistematis untuk merumuskan strategi organisasi. Analisis ini didasarkan pada logika yang dapat memaksimalkan kekuatan (*strengths*) dan peluang (*opportunities*), namun secara bersamaan dapat meminimalkan kelemahan (*weakness*) dan ancaman (*threats*). (Wiswata dkk, 2018)

SWOT adalah metode perencanaan model, strategis, dan pengembangan usaha yang digunakan untuk mengevaluasi kekuatan (*strengths*), kelemahan (*weakness*), peluang (*opportunities*) dan ancaman (*threats*) dalam suatu proyek atau suatu spekulasi bisnis. Keempat faktor itulah yang membentuk akronim SWOT (*strengths, weakness, opportunities, threats*). (Wiswata dkk, 2018)

Pendekatan SWOT melibatkan penentuan tujuan yang spesifik dari spekulasi bisnis atau proyek dan mengidentifikasi faktor internal dan eksternal yang mendukung dan yang tidak dalam mencapai tujuan tersebut. Analisis SWOT dapat diterapkan dengan cara menganalisis dan memilah berbagai hal yang mempengaruhi keempat faktornya, kemudian menerapkannya dalam gambar matrik SWOT, di mana aplikasinya adalah bagaimana kekuatan (*strengths*) mampu mengambil keuntungan dari peluang (*opportunities*) yang ada, bagaimana cara mengatasi kelemahan (*weaknesses*) yang mencegah keuntungan dari peluang (*opportunities*), selanjutnya bagaimana kekuatan (*strengths*) mampu menghadapi ancaman (*threats*) yang ada, dan terakhir adalah bagaimana cara mengatasi kelemahan (*weaknesses*) yang mampu membuat ancaman (*threats*) menjadi nyata atau menciptakan sebuah ancaman baru. (Wiswata dkk, 2018).

2.7 Emisi Karbon

Karbon dioksida (CO₂) sangat berkontribusi secara signifikan terhadap pemanasan global. Di sektor ketenagalistrikan, emisi gas rumah kaca PLTU merupakan yang terbesar dengan kisaran emisi di Indonesia mencapai antara 800-1200 kgCO₂e/MWh. Jalan menuju net-zero emissions mengharuskan transformasi dari sistem energi global. Pengurangan emisi karbon sendiri merupakan penggantian

penggunaan pembangkit listrik yang menghasilkan karbon seperti PLTU menjadi pembangkit listrik yang tidak menghasilkan emisi.

PLTGL hadir sebagai pengganti pembangkit listrik tenaga fosik yang dapat menjadi langkah dalam mengurangi efek dari gas rumah kaca karena tidak menghasilkan emisi CO₂. Untuk menghitung pengurangan emisi karbon dapat menggunakan persamaan :

$$CO_2 \text{ Emission Potential} = \frac{\text{Energy Output (kWh)}}{\text{Emission Factor } \left(\frac{\text{kg}}{\text{kWh}}\right)} \quad (11)$$

Nilai rata- rata faktor emisi karbon yang digunakan untuk menghasilkan satu kWh listrik menggunakan batu bara adalah sebesar 0,98 kg CO₂/kWh (Ditjen Ketenagalistrikan, 2019).

Untuk nilai faktor emisi dan bahan bakar dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1 Faktor Emisi dan Bahan

Fuel Type	Effective CO ₂ Emission Factor
Anthracide	0,983
Coking Coal	0,946
Sub Bituminios Coal	0,961
Lignite	0,101
Brown Coal Briquettes	0,975
Coke	0,107
Other Bituminious Coal	0,946

(Sumber : Asian Development Bank, 2017)

2.8 State of Art

Tabel 2. State of Art

NO	Penulis	Judul Penelitian	Metode atau Sistem yang Digunakan	Hasil yang Dicapai	Perbedaan dengan Penelitian yang Diajukan
1	Muhammad Yasyril Mumtaz (2020)	STUDI POTENSI ENERGI GELOMBANG LAUT DI PANTAI SELATAN BANYUWANGI MENGGUNAKAN SUMBER DATA ERA5 (ECMWF) DAN PENGUKURAN LAPANGAN	Pemodelan Numerik	1. Tinggi gelombang di Pantai Selatan Banyuwangi pada bulan desember 2018 s.d. november 2019 berada di rentang 0,4. s.d 1,8. 2. Pantai Selatan Banyuwangi memiliki besar potensi daya gelombang laut dengan rentang 0,3-27,5 kW/m dengan rata-rata daya sebesar 8,7 kW/m	1. Metode yang digunakan yaitu pemodelan numerik berdasarkan data dari ERA5 sedangkan pada penelitian ini menggunakan metode OWC 2. Lokasi penelitian berada pada Pantai Selatan Banyuwangi sedangkan pada penelitian ini berada pada Perairan

				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	Spermonde Makassar bagian Barat. 3. Data diperoleh dari ERA5 (ECMWF) sedangkan pada penelitian ini data diperoleh dari BMKG
2	Arfi Suryanata (2023)	Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) Berbasis Piston	Piston	1. Daya yang dihasilkan dari keluaran generator rata-rata tegangan sebesar 5,163 V saat surut dan 12,228 V	1. Dilakukan perancangan alat berbasis piston sedangkan pada penelitian ini

				saat pasang dengan tegangan DC mampu menyalakan lampu DC 3 watt sampai 9 watt.	dilakukan studi potensi gelombang laut dengan sistem OWC
3	Faulincia (2016)	Kajian Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Wilayah Perairan Kendari Dengan Metode Kolom Air Berosilasi	OWC	1. Potensi daya yang dihasilkan perairan kendari sebesar 348,53 Watt/hari sampai 1.086.414 Watt/hari 2. Potensi terbesar terletak di Perairan Laut Araufuru bagian Barat dan Laut Araufuru bagian Tengah	1. Lokasi yang diteliti berada di perairan Kendari sedangkan pada penelitian ini lokasi yang diteliti berada di Perairan Spermonde Makassar bagian Barat.
4	DHEA WIPADMA SHINTAWATI (2019)	STUDI POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT SISTEM	OWC	1. Diperoleh daya terkecil yang dibangkitkan sebesar 19.479,6 Watt, sedangkan daya terbesar	1. Meneliti beberapa kelautan yang ada di Indonesia sedangkan pada penelitian ini lokasi yang diteliti

		OSCILLATING WATER COLUMN (OWC) DI KELAUTAN INDONESIA		sebesar 1.088.944,7 Watt. 2. Daerah yang mempunyai potensi terbesar diterapkannya Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut sistem kolom air berosilasi terletak di Samudera Hindia Selatan Banten – NTB dengan tinggi maksimum rata- rata gelombang dapat mencapai 7 meter.	berfokus pada perairan Spermonde Makassar bagian Barat.
5	Ahmad Vidura (2019)	STUDI POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT DENGAN SISTEM <i>OVERTOPPING</i> DI PULAU PARI	<i>Overtopping</i>	1. Konverter energi gelombang berpotensi menghasilkan energi hingga 28 MJ dan daya hingga 6 MW 2. PLTGL tipe <i>overtopping</i> Wave Dragon mampu	1. Penelitian dilakukan di pulau pari sedangkan pada penelitian ini lokasinya berada di Perairan Spremonde

				memenuhi kebutuhan daya listrik di Pulau Pari dengan dua opsi, yaitu menggunakan 35 unit WD 1 di pesisir Pulau Pari dengan jarak 500 m dari pemukiman atau menggunakan 6 unit WD 2 dengan lokasi penempatannya berada di wilayah timur laut Pulau Pari yang berjarak 18 Km dari pemukiman Pulau Pari.	Makassar bagian Barat 2. Penelitian dilakukan dengan sistem <i>overtopping</i> sedangkan pada penelitian ini dilakukan dengan metode OWC
6	Ramadhan Wahyu Saputra (2020)	STUDI POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT (PLTGL) MENGGUNAKAN METODA OSCILLATING	OWC	1. Potensi daya terkecil yang dapat dibangkitkan adalah sebesar 210.332 Watt pada bulan Februari dan Maret di Banten. Sedangkan untuk potensi daya terbesar yang dapat dibangkitkan adalah	1. Lokasi penelitian dilakukan di perairan selatan Jawa Indonesia sedangkan pada penelitian ini dilakukan di perairan

		WATER COLOUMN (OWC) DI PERAIRAN SELATAN JAWA INDONESIA		sebesar 2.373.665 Watt pada bulan Juni dan Juli di Yogyakarta.	Spermonde Makassar bagian Barat
7	Lelly Erlita Safitria, Muh. Ishak Jumaranga, Apriansyah	Studi Potensi Energi Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Oscillating Water Column (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. 2. Berdasarkan daya listrik yang telah dikaji, lokasi yang berpotensi besar menghasilkan daya listrik adalah Pantai	1. Menggunakan data kecepatan angin tahun 2006 s.d. 2014 sedangkan pada penelitian ini data yang digunakan merupakan data tahun 2023 2. Penelitian dilakukan di Perairan Pesisir Kalimantan Barat sedangkan pada penelitian ini lokasinya berada di Perairan Spermonde Makassar bagian Barat.

				Temajuk Kab. Sambas, Pantai Pulau Karimata Kab. Kayong Utara dan Pantai Pulau Bawal Kab. Ketapang	
8	Zainuddin dan Edy Ervianto (2016)	Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Pasang Surut Laut di Perairan Kabupaten Karimun Kepulauan Riau	Pasang surut air laut	1. Potensi daya pembangkit listrik pasang surut sebesar 108,3414kWh dan terendah sebesar 84,08124kWh 2. Potensi pembangkit listrik tenaga pasang surut dengan luasan danau 29,96 Ha rata-rata sebesar	1. Metode yang digunakan yaitu energi pasang surut air laut sedangkan penelitian ini menggunakan metode OWC 2. Lokasi penelitian berada pada wilayah Karimun Kepulauan Riau sedangkan penelitian ini berada pada

				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. 3. Perancangan generator sinkron terkopel dengan turbin yang memiliki putaran rotor 1500 rpm didapat frekuensi 50 Hz dengan	perairan Spermonde Makassar Bagaian Barat
--	--	--	--	--	--

				efesiensi 81%. Dengan daya keluaran 39,889,7 Kw.	
9	Siti Rohmaniatul Adafiah, Artdhita Fajar Pratiwi dan Saepul Rahmat (2021)	Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Sistem <i>Oscillating Water Coloumn</i>	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. Membuat suatu perancangan prototipe dengan sistem OWC sedangkan pada penelitian yaitu melakukan perhitungan potensi gelombang laut di Perairan Spermonde Makassar bagian Barat

10	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 persyaratan untuk dibangun Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut, tinggi gelombang yang diperoleh yaitu 0,52 – 3,37 meter 2. Tipe pasang surut	1. Metode yang digunakan adalah metode pelampung sedangkan pada penelitian ini menggunakan metode kolom air berosilasi 2. Lokasi penelitian berada pada Kabupaten Donggala sedangkan penelitian ini berada di Perairan Spermonde Makassar bagian Barat.
----	---	--	-----------	--	---

				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.	
--	--	--	--	---	--