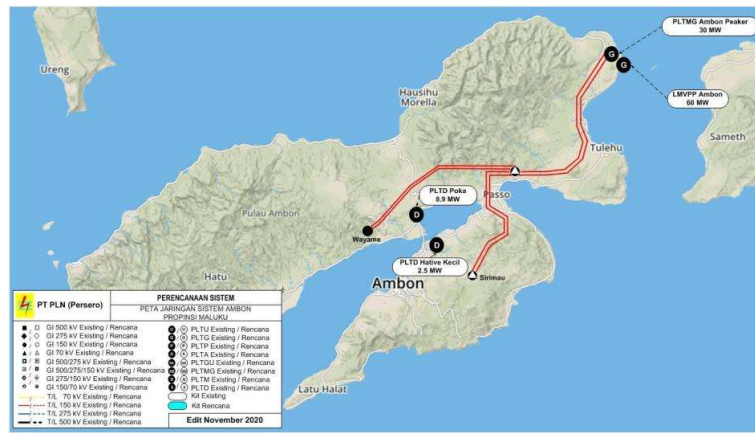


BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Ambon memiliki beberapa pembangkit listrik diantaranya PLTD Hative Kecil 2,5 MW, PLTD Poka, 8,9 MW, PLTMG Ambon Peaker 30 MW, dan LMVPP Ambon 60 MW. Kapasitas terpasang sistem transmisi di Ambon menggunakan jaringan 250 kV.



Gambar 1. Peta Sistem Tenaga Listrik Ambon

PT PLN (Persero) melalui RUPTL PLN 2021-2030 memiliki rencana untuk membangun pembangkit listrik tenaga EBT di Ambon dengan kapasitas 50 MW yang direncanakan akan COD pada tahun 2030. Sebelumnya, pada RUPTL PLN tahun 2019-2028 PLN berencana membangun PLTU Ambon dengan kapasitas 50 MW, akan tetapi dengan kebijakan peningkatan bauran energi EBT, maka rencana pembangunan PLTU Ambon ini diubah menjadi Pembangkit listrik baru terbarukan sebesar 50 MW. Salah satu potensi energi abru terbarukan di kota Ambon adalah tenaga dari lautan yang belum banyak dimanfaatkan.[1]

Berdasarkan RUPTL PLN tahun 2021-2030, Indonesia memiliki potensi energi gelombang laut sebesar 17.989 MW dan belum termanfaatkan. Sehingga, energi gelombang laut perlu di kaji dan dimanfaatkan lebih lanjut.[1]

Tabel 1. Potensi Energi Baru dan Terbarukan di Indonesia [1]

no	Jenis Energi	Potensi (MW)	Kapasitas Terpasang (MW)	Pemanfaatan
1	Panas Bumi	29.544	1.438,5	4,9%
2	Hydro	75.091	4.826,7	6,4%

3	Mini-Micro Hydro	19.385	197,4	1,0%
4	Bioenergi	32.654	1.671,0	5,1%
5	Surya	207.898	78,5	0,04%
6	Angin	60.647	3,1	0,01%
7	Gelombang Laut	17.989	0	0,0%

Sumber: RUPTL PLN 2021-2030 [1]

Menurut Rencana Usaha dan Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PLN tahun 2025 – 2034, PLN berencana untuk mengembangkan penelitian pada pembangkit Listrik tenaga energi laut di berbagai daerah, diantaranya di Selat Lantuka, Selat Sape dan Maluku. [2]

Berdasarkan RUPTL PLN tahun 2021-2030, terlihat beberapa daerah memiliki elektrifikasi yang masih cukup kecil. Diantaranya kepulauan di sebelah barat Pulau Sumatera, daerah Nusa Tenggara, Maluku dan Papua. Gambaran sebaran elektrifikasi di Indonesia dapat dilihat pada gambar di bawah ini. Untuk meningkatkan rasio elektrifikasi ini, PLN akan berencana membangun beberapa pembangkit listrik baru terbarukan [1]



Gambar 2. Peta sebaran rasio elektrifikasi di Indonesia

Pemanfaatan energi dari lautan untuk diubah menjadi energi listrik dapat dilakukan dengan beberapa jenis pembangkit listrik, diantaranya adalah dengan pemanfaatan gelombang, arus laut, pasang surut air laut, dan perbedaan temperatur air laut. Dari semua jenis pembangkit listrik dari lautan, pembangkit listrik tenaga pasang surut air laut merupakan pembangkit listrik yang paling matang terdapat di dunia dan telah beroperasi sejak 1960 di La Rance, Prancis dan masih beroperasi hingga saat ini. [3]

Energi laut merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar dan belum dimanfaatkan secara optimal, khususnya di wilayah kepulauan dan pesisir. Dibandingkan dengan sumber energi terbarukan lain seperti angin dan surya, energi laut memiliki karakteristik unik berupa ketersediaan energi yang relatif kontinu serta dipengaruhi oleh fenomena alam yang dapat diprediksi. Salah satu bentuk energi laut yang paling stabil adalah energi pasang surut, yang dihasilkan akibat interaksi gravitasi antara bumi, bulan, dan matahari. Karakteristik ini menjadikan energi pasang surut sangat menarik untuk dikaji sebagai sumber energi listrik yang andal dan berkelanjutan.

Pemanfaatan energi pasang surut dapat dilakukan melalui beberapa teknologi, di antaranya tidal barrage, tidal stream, tidal lagoon, dan dynamic tidal power. Dari berbagai teknologi tersebut, tidal barrage power plant merupakan teknologi yang paling matang dan telah diterapkan secara komersial. Tidal barrage bekerja dengan memanfaatkan perbedaan tinggi muka air laut antara kondisi pasang dan surut melalui pembangunan bendungan di muara sungai atau teluk. Air laut ditahan saat pasang dan dilepaskan melalui turbin saat surut, atau sebaliknya, sehingga energi potensial air dapat dikonversi menjadi energi listrik. Teknologi ini sangat sesuai untuk daerah yang memiliki rentang pasang surut besar dan kondisi geografis yang mendukung, seperti teluk sempit atau estuari.[4]

Dibandingkan dengan tidal stream power plant yang memanfaatkan energi kinetik arus pasang surut menggunakan turbin bawah laut, tidal barrage memiliki keunggulan dalam hal kapasitas daya dan kestabilan keluaran energi. Tidal stream tidak memerlukan bendungan sehingga dampak lingkungannya lebih kecil, namun daya yang dihasilkan per unit relatif rendah dan masih sangat bergantung pada kecepatan arus. Selain itu, teknologi tidal stream masih menghadapi tantangan teknis dalam hal instalasi dan pemeliharaan di lingkungan laut yang keras. Oleh karena itu, untuk studi teknis yang berfokus pada pembangkit berskala besar dan keandalan sistem, tidal barrage lebih unggul.

Jika dibandingkan dengan teknologi energi laut lainnya, seperti *wave energy converter*, perbedaan karakteristik semakin terlihat. Energi gelombang laut dihasilkan oleh angin dan kondisi cuaca, sehingga fluktuasinya tinggi dan sulit diprediksi. Meskipun potensi energi gelombang cukup besar, ketidakstabilan daya

keluaran serta risiko kerusakan akibat badai dan gelombang ekstrem menjadikan teknologi ini kurang cocok untuk sistem pembangkit listrik yang membutuhkan kontinuitas pasokan. Sebaliknya, energi pasang surut pada *tidal barrage* memiliki pola periodik yang sangat konsisten, sehingga lebih mudah diintegrasikan ke dalam sistem kelistrikan.

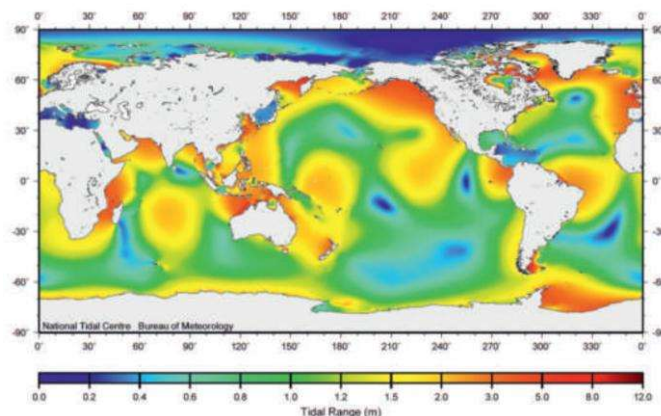
Teknologi Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) memanfaatkan perbedaan suhu antara air laut permukaan dan air laut dalam untuk menghasilkan energi listrik melalui siklus termodinamika. Walaupun potensi OTEC cukup besar di wilayah tropis, teknologi ini memiliki efisiensi yang sangat rendah dan memerlukan infrastruktur kompleks, seperti pipa laut dalam dengan diameter besar. Kompleksitas teknis dan biaya investasi yang tinggi menjadikan OTEC masih berada pada tahap pengembangan dan penelitian, sehingga belum sekompetitif *tidal barrage* dalam hal kesiapan implementasi.

Selain itu, energi laut juga dapat dimanfaatkan melalui teknologi salinity gradient power, yang memanfaatkan perbedaan salinitas antara air laut dan air tawar di muara sungai. Teknologi ini umumnya menggunakan membran khusus dalam sistem pressure retarded osmosis atau reverse electrodialysis. Meskipun secara teoritis menarik, daya yang dihasilkan relatif kecil dan sangat bergantung pada performa membran, yang saat ini masih mahal dan rentan terhadap fouling. Akibatnya, teknologi salinity gradient masih belum layak diterapkan dalam skala besar dibandingkan *tidal barrage*.

Berdasarkan perbandingan tersebut, *tidal barrage power plant* dipilih dalam analisis potensi dan teknis karena memiliki tingkat kematangan teknologi yang tinggi, kapasitas daya yang besar, serta karakteristik keluaran energi yang stabil dan dapat diprediksi. Selain itu, teknologi ini memungkinkan analisis teknis yang lebih komprehensif, meliputi aspek hidrodinamika, desain turbin, dan struktur bendungan. Dengan mempertimbangkan faktor teknis, ekonomi, dan keandalan jangka panjang, *tidal barrage* merupakan pilihan yang paling rasional dan realistis dibandingkan teknologi energi laut lainnya untuk dikaji dan dikembangkan pada tahap saat ini.

Pemilihan teknologi Tidal Barrage untuk analisis potensi dan teknis di teluk Ambon, Mauluku didasarkan pada beberapa karakteristik. Karakteristik oseanografi lokasi yang memiliki teluk dengan rentang pasang surut dan luas reservoir yang cukup, sehingga sangat ideal untuk skema bendungan. Pembangkit listrik dengan tipe *tidal barrage* dapat memproduksi Listrik dengan cukup andal dan dapat diprediksi. Pertimbangan multi-manfaat proyek seperti tepat wisata dan penambahan jalan penghubung yang tidak didapat dari tipe lain. [5]

Wilayah Indonesia bagian timur merupakan daerah di Indonesia yang memiliki potensi energi pasang surut terbesar dibandingkan daerah lainnya di Indonesia. Oleh sebab itu, teluk Ambon diperkirakan merupakan tempat yang cocok dibangun pembangkit listrik tenaga pasang surut air laut sebagai salah satu energi baru terbarukan.[6] Gambar di bawah ini menggambarkan beberapa daerah yang memiliki potensial pasang surut untuk dikembangkan dan dimanfaatkan menjadi energi listrik.



Gambar 3. Potensi Pasang Surut di dunia

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Bagaimana potensi energi pasang surut air laut di teluk ambon?
- b) Bagaimana aspek teknik perencanaan pembangunan pembangkit listrik tenaga pasang surut air laut dibangun di Teluk Ambon?
- c) Bagaimana aspek ke-ekonomian dari perencanaan pembangunan pembangkit listrik tenaga pasang surut air laut?

1.3. Tujuan

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk:

- a) Mengetahui potensi energi pasang surut air laut sepanjang tahun di teluk Ambon, Maluku.
- b) Asesmen teknik perencanaan pembangkit listrik tenaga pasang surut air laut di teluk Ambon, Maluku.
- c) Analisis ke-ekonomian perencanaan pembangunan pembangkit listrik tenaga pasang surut air laut di teluk Ambon, Maluku.

1.4. Manfaat

Adapun manfaat dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Meningkatkan bauran energi EBT dalam energi nasional sesuai dengan program penurunan emisi gas CO₂.
- b) Menurunkan ketergantungan penggunaan bahan bakar minyak dan gas.
- c) Memanfaatkan potensi sumber daya alam laut Indonesia sebagai negara maritim

1.5. Kebaruan

Penelitian ini menghadirkan kebaruan dalam asesmen tekno-ekonomi pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Pasang Surut Air Laut (*Tidal Barrage*) di Teluk Ambon, Indonesia yang secara spesifik belum pernah dikaji dengan tingkat kedalaman dan kelengkapan seperti yang dilakukan dalam studi ini. Berbeda dari penelitian sebelumnya yang lebih banyak berfokus pada asesmen potensi energi pasang surut secara umum di wilayah timur Indonesia atau hanya terbatas pada pemodelan teknis tanpa analisis kelayakan investasi yang komprehensif, penelitian ini mengintegrasikan pendekatan multidimensi yang mencakup karakteristik hidrodinamika perairan Teluk Ambon yang unik, analisis teknis berbasis data sekunder pasang surut, serta evaluasi ekonomi yang mencakup *Capital Cost* dan *Levelized Cost of Energy* (LCOE). Dari segi metodologi, penelitian ini tidak membangun pendekatan dari awal, melainkan secara komprehensif mengadopsi, menyintesis, dan menyempurnakan berbagai

metode tekno-ekonomi yang telah teruji dari penelitian-penelitian terdahulu. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mengisi kekosongan kajian tekno-ekonomi yang aplikatif dan kontekstual untuk Teluk Ambon, tetapi juga menawarkan kerangka kerja yang dapat direplikasi untuk pengembangan energi pasang surut di lokasi lain yang memiliki karakteristik serupa di Indonesia.