

STUDI POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM *OSCILATING WATER COLUMN* (OWC) DI TIGA PULUH WILAYAH KELAUTAN INDONESIA

Siti Rahma Utami

Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sitikus_ayang@yahoo.com,
085693790407

Refer to the Law Number 30 Year 2007 on Energy, the development of electrical energy conversion technology by using alternative energy has become an emerging topic in last few years. This thesis discusses about the analysis of the calculation of the potential of sea wave power conversion by utilizing Oscillating Water Column (OWC) system in 30 sea areas in Indonesia. This system is chosen due to its advantages over the other systems and also its suitability towards sea and coast areas in Indonesia. From the result of the power calculation, it is found that the lowest power that can be produced is 246.0294 watt in Malaka Strait area, while the highest power that can be produced is 1,968,235 Watt in South Banten sea area to West Java, South Central Java sea area, South East Java sea area, and in Arafuru sea area. The implementation of this OCW system in Malaka Strait coast area can help to contribute electrical power supply to approximately 18 small fisherman's houses at the minimum generating condition and efficiency around 11.971%.

Keyword : *oscilating water column (OWC) wave energy, electrical energy, potential power, wavelength*

I. PENDAHULUAN

Merujuk pada Undang-undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi, mengamanatkan bahwa dalam rangka mendukung pembangunan nasional secara berkelanjutan dan meningkatkan ketahanan energi nasional, maka pengelolaan energi ditujukan untuk tercapainya kemandirian pengelolaan energi, terjaminnya ketersediaan energi dalam negeri, terjaminnya pengelolaan sumber daya energi secara optimal, terpadu, dan berkelanjutan, tercapainya peningkatan akses masyarakat, tercapainya pengembangan kemampuan industri energi dan jasa energi dalam negeri, meningkatnya profesionalisme Sumber Daya Manusia, terciptanya lapangan kerja, dan terjaganya kelestarian fungsi lingkungan hidup. Pada dasarnya prinsip kerja teknologi yang mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik adalah mengakumulasi energi gelombang laut untuk memutar turbin generator. Karena itu sangat penting memilih lokasi yang secara topografi memungkinkan akumulasi energi. Meskipun penelitian untuk mendapatkan teknologi yang optimal dalam mengkonversi energi gelombang laut masih terus dilakukan, saat ini, ada beberapa alternatif teknologi yang dapat dipilih. Salah satu alternatif teknologi itu adalah dengan menggunakan sistem kolom air berosilasi atau biasa disebut *oscilating water column* (owc).

II. PERHITUNGAN ENERGI GELOMBANG LAUT SISTEM OWC

Panjang dan Kecepatan Gelombang laut dipengaruhi oleh periode datangnya gelombang. Periode datangnya gelombang dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang disarankan oleh Kim Nielsen [1], yaitu :

$$T = 3.55\sqrt{H} \quad (2.1)$$

Dengan mengetahui prakiraan periode datangnya gelombang pada daerah perairan pantai Indonesia, maka dapat di hitung besar panjang dan kecepatan gelombangnya berdasarkan persamaan yang disarankan oleh David Ross [2] sebagai berikut :

$$\lambda = 5.12 T^2 \quad (2.2)$$

Maka, kecepatan gelombang datang dapat diperoleh dengan menggunakan rumus

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (2.3)$$

Potensi energi gelombang laut dengan lebar chamber 2,4 m (berdasarkan protipe yang telah ada), ρ air laut 1030 Kg/m³, dan gravitasi bumi 9,81 m/s², persamaan untuk menghitung energi gelombang laut yang dihasilkan cukup dengan menghitung energi potensial saja. Karena dilihat dari prototipe yang ada, pergerakan gelombang laut yang menghasilkan energi pada sistem ini merupakan energi potensial atau naik turun gelombangnya saja

$$E_w = \frac{1}{4} \cdot w \cdot \rho \cdot g \cdot a^2 \cdot \lambda \quad (J) \quad (2.4)$$

Daya yang dapat dibangkitkan dari energi gelombang laut daerah perairan pantai di Indonesia dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.5:

$$P_w = \frac{E_w}{T} \\ P_w = \frac{\frac{1}{4} \cdot w \cdot \rho \cdot g \cdot a^2 \cdot \lambda}{T} \quad (2.5)$$

III. PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT SISTEM *OSCILLATING WATER COLUMN* (OWC)

A. Penentuan Lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem *Oscillating Water Column*

Dalam menentukan lokasi PLTGL sistem OWC ini ada banyak hal yang harus dipertimbangkan, baik kriteria gelombang ataupun juga topografi daerah lokasi.

a. Tinggi Gelombang Laut

Tinggi gelombang yang dapat dimanfaatkan untuk PLTGL sistem oscillating water column ini adalah gelombang yang selalu terbentuk sepanjang tahun dengan tinggi minimal satu sampai dua meter. Gelombang yang sesuai dengan criteria tinggi tersebut adalah gelombang Swell dimana mengandung energy yang besar.

b. 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.

c. 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.

d. Keadaan Topografi Lautan

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

B. Komponen Peralatan Pembangkit Pada Pembangkit Energi Gelombang Laut

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

a. Turbin

Turbin adalah mesin penggerak awal, yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Dimana energi fluida kerjanya dipergunakan langsung untuk memutar roda turbin. Pada turbin hanya terdapat gerak rotasi. Bagian turbin yang berputar dinamakan stator atau rumah turbin. Roda turbin terletak dalam rumah turbin dan roda turbin memutar poros daya yang menggerakkan atau memutar beban seperti generator listrik.

Di dalam turbin terdapat fluida kerja yang mengalami proses ekspansi, yaitu proses penurunan tekanan dan mengalir secara terus menerus. Fluida kerja dapat berupa air, uap air atau gas.

Pada roda turbin terdapat sudu, kemudian fluida akan mengalir melalui ruang diantara sudu tersebut sehingga roda turbin berputar. Ketika roda turbin berputar maka tentu ada gaya yang bekerja pada sudu. Gaya tersebut timbul karena terjadinya perubahan momentum dari fluida kerja yang mengalir diantara sudu. Jadi sudu harus dibentuk sedemikian rupa agar terjadi perubahan momentum pada fluida kerja.

Karena sudu bergerak bersamaan dengan gerak roda turbin, maka sudu tersebut dinamakan sudu gerak, sedangkan sudu yang menyatu dengan rumah turbin sehingga tidak bergerak dinamakan sudu tetap.

Sudu tetap berfungsi mengarah aliran fluida kerja masuk ke dalam sudu gerak atau juga berfungsi sebagai nosel. Pada

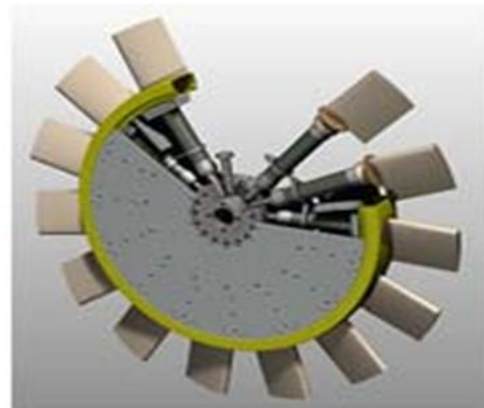
sebuah roda turbin mungkin terdapat satu baris sudu gerak saja yang disebut turbin bertingkat tunggal, dan jika terdapat beberapa baris sudu gerak disebut turbin bertingkat ganda.

b. Turbin Angin

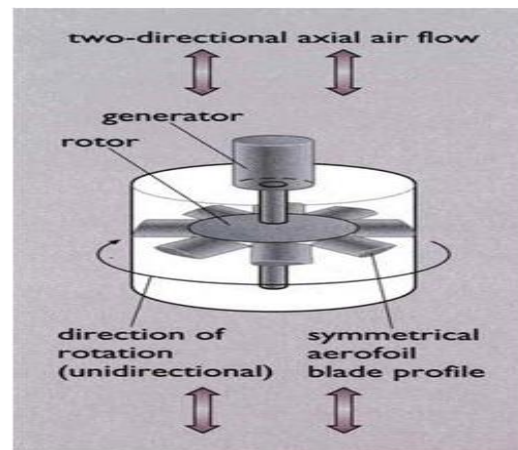
Prinsip dasar kerja dari turbin udara adalah mengubah energi mekanis dari tekanan udara menjadi energi putar pada turbin, lalu putaran turbin digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik. Umumnya daya efektif yang dapat dipanen oleh sebuah turbin angin hanya sebesar 50% - 70%.

Sistem ini terdiri dari sebuah ruangan yang dibangun di tepi pantai. Gerakan laut / 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, seperti diilustrasikan pada gambar 8. Untuk mengontrol tekanan udara di dalam sistem digunakan katup atau klep yang dipasang secara paralel (kadang-kadang secara seri) dengan turbin.



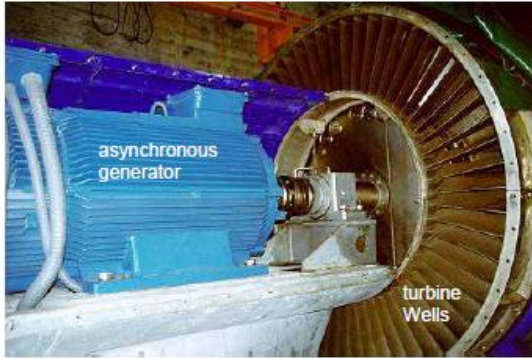
Gambar 3.1 Turbin udara (Wells Turbine) [3]



Gambar 3.2 Skema diagram turbin Wells [3]

c. Generator

Generator adalah suatu alat yang dipergunakan untuk mengkonversi energy mekanis dari prime mover menjadi energi listrik. Generator yang umum dipergunakan dalam sistem pembangkit adalah generator asinkron. Secara garis besar generator terbagi atas stator dan rotor.



Gambar 3.3 Generator / rectifier turbin udara [4]
-Stator

Stator merupakan bagian dari generator yang tidak bergerak. Stator memiliki kumparan dan inti. Biasanya inti stator terbuat dari lembaran-lembaran besi yang dilaminasi, kemudian diikat satu sama lain membentuk stator. Laminasi dimaksudkan agar rugi akibat arus Eddy kecil. Pada stator terdapat kumparan jangkar.

- Rotor

Merupakan bagian dari generator yang bergerak atau berputar. Ada dua jenis rotor pada generator asinkron yaitu :

- Rotor Dengan Kutub Menonjol (salient pole)

Biasa dipakai pada mesin-mesin dengan putaran rendah atau menengah. Kutub rotornya terbuat dari besi berlaminasi untuk mengurangi arus Eddy. Untuk mesin yang besar, kumparan rotor seringkali dibuat dari kawat persegi.

- Rotor Dengan Kutub Silinder

Biasa dipakai pada mesin dengan kecepatan tinggi. Untuk putaran rendah biasanya rotor bulat ini diameternya kecil dan panjang. Kumparan rotor diatur sedemikian rupa sehingga terdapat fluks maksimum pada suatu posisi tertentu. Rotor dengan bentuk ini biasanya lebih seimbang dengan noise yang rendah. Pada rotor terdapat kumparan medan. Arus searah untuk menghasilkan fluks pada kumparan medan dialirkan ke rotor melalui cincin geser.

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 ($\cos \Phi$) 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 induction. Wound rotor diberi medan magnet oleh stator menggunakan konverter dan dengan pengaturan frekuensi dan tegangan tetap yang konstan untuk berbagai macam variasi kecepatan turbin.

C. Potensi Energi Gelombang Laut Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut di Indonesia

Semakin menipisnya pasokan sumber energi fosil seperti minyak bumi baik di Indonesia maupun di dunia pada umumnya, maka berbagai upaya telah dilakukan untuk mengantisipasi hal tersebut. Salah satu upaya yang dilakukan adalah melakukan pengkajian terhadap sumber-sumber energi baru maupun sumber energi yang terbarukan.

Energi laut merupakan alternatif energi terbaru dan termasuk sumber daya non hayati yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan di Indonesia. Selain menjadi sumber pangan, laut juga mengandung aneka sumber daya energi yang perannya akan semakin signifikan dalam mengantisipasi berkurangnya pasokan energi konvensional. Diperkirakan potensi energi kelautan mampu memenuhi empat kali kebutuhan listrik dunia, sehingga di berbagai negara maju telah di pengembangannya berjalan dengan baik dalam skala penelitian maupun komersialnya.

Gerakan gelombang di laut dapat menjangkau jarak hingga ratusan kilometer dengan hanya mengalami sedikit pengurangan energi. Pada kondisi normal, gelombang adalah sumber energi yang intensitasnya dapat diprediksi secara akurat hingga beberapa hari sebelumnya. Balai pengkajian Dinamika Pantai, sebagai bagian dari BPPT yang mempunyai kompetensi di bidang teknologi pantai, menjawab tantangan tersebut dengan mengembangkan rancang bangun dan prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan sistem OWC (oscillating water column) yang di kembangkan di Pantai Baron – Propinsi Yogyakarta.

Berikut prakiraan rata-rata mingguan tinggi gelombang laut di wilayah Indonesia yang berlaku tanggal 28 April – 5 Mei 2010

Tabel 3.1. Prakiraan rata-rata mingguan tinggi gelombang laut di wilayah Indonesia [5]

No	Lokasi	Angin 10 m Rata – Rata (Knot)	Tinggi Signifikan Rata – Rata (meter)	Tinggi Maximum Rata – Rata (meter)	Frekuensi Gel. > 3 Meter %
1	Perairan utara Aceh	3 – 10	0.2 – 1.25	0.4 – 1.6	0 – 5 %

2	Perairan barat Aceh hingga Sumatera Utara	3 - 8	0.3 - 1.3	0.7 - 2.0	0 - 5 %
3	Perairan barat Sumatera Barat	3 - 11	0.4 - 1.5	0.7 - 2.0	0 - 5 %
4	Perairan barat Bengkulu hingga Lampung	5 - 15	0.4 - 1.9	0.7 - 2.4	0 - 5 %
5	Selat Sunda	2 - 12	0.3 - 1.7	0.4 - 2.2	0 - 5 %
6	Perairan selatan Banten hingga Jawa Barat	5 - 15	0.5 - 2.0	0.7 - 2.5	0 - 5 %
7	Perairan selatan Jawa Tengah	5 - 18	0.5 - 2.0	0.7 - 2.5	0 - 5 %
8	Perairan selatan Jatim	4 - 17	0.5 - 2.0	0.7 - 2.5	0 - 5 %
9	Perairan selatan Bali hingga NTB	4 - 17	0.4 - 1.5	0.6 - 2.0	0 - 5 %
10	Laut Sawu	4 - 12	0.4 - 1.4	0.6 - 2.0	0 - 5 %
11	Laut Timor	3 - 15	0.4 - 1.3	0.6 - 2.0	0 - 5 %
12	Selat Malaka	2 - 7	0.1 - 0.4	0.2 - 0.5	0 - 5 %
13	Laut Natuna	3 - 10	0.4 - 1.25	0.6 - 1.4	0 - 5 %
14	Selat Karimata	3 - 10	0.2 - 0.8	0.4 - 1.25	0 - 5 %
15	Perairan selatan Kalimantan	3 - 15	0.2 - 0.8	0.4 - 1.3	0 - 5 %
16	Perairan Kepulauan Seribu	3 - 13	0.2 - 0.8	0.4 - 1.3	0 - 5 %
17	Laut Jawa	4 - 15	0.3 - 1.2	0.4 - 1.3	0 - 5 %
18	Laut Bali	3 - 10	0.2 - 0.8	0.3 - 1.2	0 - 5 %
19	Laut Flores	3 - 12	0.2 - 1.0	0.4 - 1.2	0 - 5 %
20	Selat Makasar bagian Selatan	2 - 11	0.1 - 0.8	0.3 - 1.3	0 - 5 %
21	Perairan selatan Sulawesi	4 - 14	0.2 - 0.8	0.3 - 1.3	0 - 5 %
22	Laut Maluku	3 - 10	0.4 - 1.3	0.6 - 1.6	0 - 5 %
23	Laut Buru - Laut Seram	2 - 8	0.3 - 1.1	0.4 - 1.3	0 - 5 %
24	Laut Sulawesi	4 - 15	0.4 - 1.25	0.7 - 2.0	0 - 5 %
25	Perairan Kep. Sangahe Talaud	6 - 15	0.6 - 1.5	1.2 - 2.0	0 - 5 %
26	Laut Halmahera	3 - 11	0.4 - 1.25	0.6 - 1.8	0 - 5 %
27	Perairan utara Papua	3 - 10	0.4 - 1.25	0.6 - 1.5	0 - 5 %
28	Laut Banda	4 - 15	0.5 - 1.25	0.7 - 1.4	0 - 5 %
29	Perairan	2 -	0.2 -	0.4 -	0 - 5 %

	Kepulauan Aru	10	1.2	1.5	
30	Laut Arafuru	5 - 18	0.8 - 2.0	1.0 - 2.5	0 - 5 %

D. Studi Awal Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem OWC (Oscillating Water Colum)

Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Laut dengan memanfaatkan energi gelombang laut meliputi :

a. Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder di peroleh dari berbagai hasil penelitian, publikasi dan stastik yang akan menunjang penelitian dan akan digunakan sebagai data pendukung pada tahapan pemrosesan dan kompilasi data. Data-data sekunder yang di perlukan dalam pemanfaatan energi gelombang laut sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut adalah :

- Data Angin

Karena investasi dan mobilisasi alat yang relatif mahal dan sulit untuk daerah-daerah pedalaman pantai, maka biasanya data angin diperoleh dari stasiun meteorologi setempat. Data angin minimal yang diperlukan adalah untuk kurun waktu sepuluh tahun, sehingga prediksi gelombang tahunan bisa didapat dan cukup representatif untuk segala fluktuasi yang berlaku.

- Peta, Foto Udara dan Citra Satelit

Data ini diperlukan dalam rangka prioritas penentuan lokasi ideal, baik itu secara teknis dengan output daya yang dihasilkan,maupun pada kemudahan akses jalan dan prasarana penunjang pada waktu pelaksanaannya.

b. Survey Lapangan

Survey lapangan dilakukan pada wilayah lokasi pantai dan daratan pantai, adapun data-data yang diperlukan pada survei lapangan adalah sebagai berikut:

- Data Hidro Oseanografi

Data Hidro Oseanografi meliputi informasi tentang tinggi gelombang laut,periode gelombang laut, dan bathimetri (kedalaman).

- Karakteristik Air

Sifat – sifat korosif air laut akan berpengaruh terhadap reliabilitas dan life cycle material logam turbin converter energi. Konduktivitas , viskositas dan turbiditas air laut juga mempengaruhi rasio efisiensi turbin converter. Konduktivitas air laut bergantung pada jumlah ion – ion terlarut per volumenya dan mobilitas ion – ion tersebut. Satuannya adalah mS/cm (mili-Second per Centimeter). Konduktivitas bertambah dengan jumlah yang sama dengan bertambahnya salinitas sebesar 0,01, temperatur sebesar 0,01 dan kedalaman sebesar 20 meter. Secara umum, faktor yang paling dominan dalam perubahan konduktivitas di laut adalah temperature.

- Karakteristik Sedimen

Proses sedimentasi, baik itu yang disebabkan suspense air laut maupun transportasi sedimen dasar akan mengganggu operasional turbin, sehingga harus diantisipasi sedini mungkin.

- Data Jenis Tanah

Jenis tanah dasar di perairan pantai akan berpengaruh langsung terhadap jenis dan model konstruksi dasar struktur

yang akan di bangun.

c. Analisis Data

Melalui proses analisis dan kompilasi dari pengumpulan data sekunder dan survei lapangan akan diperoleh informasi utuh dan terpadu tentang karakteristik fisik daerah pengamatan serta interaksinya satu dengan yang lain. Sifat- sifat data lapangan yang hanya mencatat waktu sesaat pengukuran akan dilengkapi dengan informasi dari pengumpulan data sekunder untuk jangka waktu panjang sehingga validitas data lebih bisa dipertanggungjawabkan.

d. Rekayasa Prototipe

Rekayasa konstruksi fisik yang akan diimplementasikan adalah berupa prototipe konversi energi, berupa chamber serta turbin gerak dalam sistem oscillating water column (OWC). OWC merupakan salah satu sistem yang dapat mengubah energi gelombang laut menjadi energi listrik dengan menggunakan kolom osilasi. Sistem OWC ini akan menangkap energi gelombang yang melalui lubang pintu kolom (chamber) OWC, sehingga terjadi fluktuasi atau osilasi gerakan air dalam ruang OWC, kemudian tekanan udara yang dihasilkan dari gerakan air dalam kolom ini akan menggerakkan baling-baling turbin yang dihubungkan dengan generator listrik sehingga menghasilkan listrik.



Gambar 3.4 Prototipe Sistem Oscillating Water Colum (OWC) [3]

e. Implementasi Prototipe

Implementasi prototipe ,akan mencakup beberapa jenis pekerjaan konstruksi antara lain:

- Pekerjaan Konstruksi Lapangan

Pekerjaan lapangan yang akan dilakukan adalah pembuatan konstruksi di lapangan yang akan digunakan sebagai struktur bangunan OWC

- Pekerjaan Konstruksi Konversi Energi

Konversi energi adalah mesin/alat yang akan diterapkan dilapangan yang berfungsi untuk membangkitkan energi listrik yang bersumber pada energi kinetik dan energy potensial gelombang laut dan flutuasi pasang surut air laut.

IV. HASIL PERHITUNGAN PERHITUNGAN ENERGI GELOMBANG LAUT

Potensi energi gelombang laut dengan lebar chamber 2,4 m (berdasarkan protipe yang telah ada), ρ air laut 1030 Kg/m^3 , dan gravitasi bumi 9,81 m/s^2 , persamaan untuk menghitung energi gelombang laut yang dihasilkan cukup dengan menghitung energi potensial saja. Karena dilihat dari prototipe yang ada, pergerakan gelombang laut yang menghasilkan energi pada sistem ini merupakan energi potensial atau naik turun gelombangnya saja. Sementara untuk gerakan gelombang laut yang maju mundur tidak menghasilkan energi maka persamaan 3.3 tidak digunakan, tapi menggunakan persamaan 2.5 :

$$E_w = \frac{1}{4} \cdot w \cdot \rho \cdot g \cdot a^2 \cdot \lambda \text{ (J)}$$

Contoh perhitungan pada pantai perairan Aceh pada kondisi A

$$E_w = \frac{1}{4} \cdot 2,4 \text{ m} \cdot 1030 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (0,2\text{m})^2 \cdot 12,9\text{m} \text{ (J)}$$

$$E_w = 3129,494 \text{ (J)}$$

Tabel 3.2. Hasil perhitungan Potensi energi gelombang laut

No	Lokasi	Potensi Energi gelombang laut Kondisi min (J)	Potensi Energi gelombang laut Kondisi maks (J)
1	Perairan utara Aceh	3129,494	764036,6
2	Perairan barat Aceh hingga Sumatera Utara	10562,05	859437,3
3	Perairan barat Sumatera Barat	25035,96	1073416
4	Perairan barat Bengkulu hingga Lampung	25035,96	2683150
5	Selat Sunda	10562,05	1921901
6	Perairan selatan Banten hingga Jawa Barat	48898,35	3129494
7	Perairan selatan Jawa Tengah	48898,35	3129494
8	Perairan selatan Jatim	48898,35	3129494
9	Perairan selatan Bali hingga NTB	25035,96	1320255
10	Laut Sawu	25035,96	1073416
11	Laut Timor	25035,96	859437,3
12	Selat Malaka	391,1868	25035,95
13	Laut Natuna	25035,96	764036,6
14	Selat Karimata	3129,494	200287,6
15	Perairan selatan Kalimantan	3129,494	200287,6
16	Perairan Kepulauan Seribu	3129,494	200287,6
17	Laut Jawa	10562,05	675970,7
18	Laut Bali	3129,494	200287,6
19	Laut Flores	3129,494	391186,8
20	Selat Makasar bagian Selatan	391,1868	200287,6
21	Perairan selatan Sulawesi	3129,494	200287,6
22	Laut Maluku	25035,96	859437,3
23	Laut Buru - Laut Seram	10562,05	520669,6
24	Laut Sulawesi	25035,96	764036,6

25	Perairan Kep. Sangihe Talaud	84496,35	1320255
26	Laut Halmahera	25035,96	764036,6
27	Perairan utara Papua	25035,96	764036,6
28	Laut Banda	48898,35	764036,6
29	Perairan Kepulauan Aru	3129,494	675970,7
30	Laut Arafuru	200287,6	3129494

Daya yang dapat dibangkitkan dari energi gelombang laut daerah perairan pantai di Indonesia dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.5:

$$P_w = \frac{E_w}{T}$$

$$P_w = \frac{1}{4} \cdot w \cdot \rho \cdot g \cdot a^2 \cdot \lambda$$

Contoh perhitungan pada perairan utara Aceh kondisi A :

$$P_w = \frac{E_w}{T}$$

$$P_w = \frac{3129,494}{1,59} = 1968,235 \text{ Watt}$$

Tabel 3.3 Hasil perhitungan daya yang dapat dibangkitkan

No	Lokasi	Potensi Energi gelombang laut (J)		Periode Gelombang (s)		Daya (Watt)	
		min	maks	min	maks	min	Maks
1	Perairan utara Aceh	3129,494	764036,6	1,59	3,97	1968,235	480526,2
2	Perairan barat Aceh hingga Sumatera Utara	10562,05	859437,3	1,94	4,05	6642,796	540526,6
3	Perairan barat Sumatera Barat	25035,96	1073416	2,25	4,2	15745,88	675104,7
4	Perairan barat Bengkulu hingga Lampung	25035,96	2683150	2,25	4,89	15745,88	1687516
5	Selat Sunda	10562,05	1921901	1,94	4,63	6642,796	1208742
6	Perairan selatan Banten hingga Jawa Barat	48898,35	3129494	2,51	5,02	30753,68	1968235
7	Perairan selatan Jawa Tengah	48898,35	3129494	2,51	5,02	30753,68	1968235
8	Perairan selatan Jatim	48898,35	3129494	2,51	5,02	30753,68	1968235
9	Perairan selatan Bali hingga NTB	25035,96	1320255	2,25	4,35	15745,88	830349,3
10	Laut Sawu	25035,96	1073416	2,25	4,2	15745,88	675104,7
11	Laut Timor	25035,96	859437,3	2,25	4,05	15745,88	540526,6

12	Selat Malaka	391,1868	25035,95	1,12	2,25	246,0294	15745,88
13	Laut Natuna	25035,96	764036,6	2,25	3,97	15745,88	480526,2
14	Selat Karimata	3129,494	200287,6	1,59	3,18	1968,235	125967,1
15	Perairan selatan Kalimantan	3129,494	200287,6	1,59	3,18	1968,235	125967,1
16	Perairan Kepulauan Seribu	3129,494	200287,6	1,59	3,18	1968,235	125967,1
17	Laut Jawa	10562,05	675970,7	1,94	3,89	6642,796	425138,8
18	Laut Bali	3129,494	200287,6	1,59	3,18	1968,235	125967,1
19	Laut Flores	3129,494	391186,8	1,59	3,55	1968,235	246029,4
20	Selat Makasar bagian selatan	391,1868	200287,6	1,12	3,18	246,0294	125967,1
21	Perairan selatan Sulawesi	3129,494	200287,6	1,59	3,18	1968,235	125967,1
22	Laut Maluku	25035,96	859437,3	2,25	4,05	15745,88	540526,6
23	Laut Buru - Laut Seram	10562,05	520669,6	1,94	3,72	6642,796	327465,1
24	Laut Sulawesi	25035,96	764036,6	2,25	3,97	15745,88	480526,2
25	Perairan Kep. Sangihe Talaud	84496,35	1320255	2,75	4,35	53142,36	830349,3
26	Laut Halmahera	25035,96	764036,6	2,25	3,97	15745,88	480526,2
27	Perairan utara Papua	25035,96	764036,6	2,25	3,97	15745,88	480526,2
28	Laut Banda	48898,35	764036,6	2,51	3,97	30753,68	480526,2
29	Perairan Kepulauan Aru	3129,494	675970,7	1,59	3,89	1968,235	425138,8
30	Laut Arafuru	200287,6	3129494	3,18	5,02	125967	1968235

Dari hasil perhitungan di atas, dapat dilihat bahwa, pada kondisi minimum daya terkecil yang dapat dibangkitkan adalah sebesar 246,0294 Watt, yaitu di daerah perairan Selat Malaka dan Selat Makasar bagian selatan. Sementara daya terbesar yang dapat dihasilkan yaitu sebesar 125967 Watt yaitu di wilayah perairan laut Arafuru.

Pada kondisi maksimum, daya terkecil yang dapat dibangkitkan adalah sebesar 15745,88 Watt di Selat Malaka, Sedangkan daya terbesar yang dapat dihasilkan sebesar 1968235 Watt di daerah Perairan selatan Banten hingga Jawa Barat, Perairan selatan Jawa Tengah, Perairan selatan Jatim dan di wilayah perairan Laut Arafuru.

Adapun kondisi cuaca pada periode 28 April hingga 5 Mei 2010 yang digambarkan pada Citra Satelit Cuaca terlihat adanya tekanan rendah di Samudera Hindia Barat Daya Sumatera dan Laut Sulu. Angin diatas wilayah Perairan Indoanesia umumnya bertiup dari arah Timur Laut sampai Selatan, kecepatan angin berkisar antara 3 sampai 20 knot. Khusus tanggal 29 April 2010 daerah Tekanan Rendah Lemah 1010 HPA di Perairan Barat Pilipinna bagian Selatan dalam keadaan Stasioner dan Daerah Liputan Awan dan Hujan, sebagian konsentrasi Awan dan Hujan masih berada di Indonesia Barat bagian Timur terutama Sekitar Khatulistiwa dan sebagian Indonesia Tengah Sekitar Selatan Khatulistiwa Sedangkan Indonesia Timur bagian Barat dan Timur sekitar dan sebelah Selatan

Khatulistiwa. Angin diatas wilayah Perairan Indonesia Barat Utara Khatulistiwa umumnya bertiup dari arah Utara sampai Tenggara, terkecuali di Samudera Hindia Barat Sumatera angin dari arah selatan hingga barat daya memiliki kecepatan angin berkisar antara 5 sampai 20 knot atau 10 sampai 36 Km / Jam. [5]

Dari hasil perhitungan di atas, dengan mengabaikan rugi-rugi daya yang terjadi dan efisiensi pada prototipe sistem owc yang telah diterapkan di pantai Baron Yogyakarta sebesar 11,917% maka daya terkecil yang dapat dibangkitkan oleh sistem ini yang diterapkan di Selat Malaka untuk keadaan minimum adalah sebesar :

$$246,0924 \text{ W} \times 11,917\% = 29,32 \text{ W}$$

dan dengan daya maksimum yang dapat dibangkitkan kurang lebih sebesar :

$$15745,88 \text{ W} \times 11,917\% = 1876,437 \text{ W}$$

Kemampuan membangkitkan daya sebesar 246,0294 Watt atau sekitar 245 Watt dapat digunakan untuk memberikan pasokan daya listrik baru bagi penggunaan listrik di sekitar pantai wilayah perairan Selat Malaka.

Daya yang dihasilkan bisa digunakan untuk penerangan pada rumah nelayan sederhana. Jika 1 rumah nelayan sederhana membutuhkan pasokan daya listrik sekitar 100 Watt (6 bola lampu 5 Watt dan 1 tv 14 inchi 65 Watt), maka keberadaan pembangkit ini di wilayah perairan Selat Malaka dapat menghidupkan sebanyak kurang lebih 18 rumah nelayan sederhana di sekitar wilayah perairan Selat Malaka, saat pembangkitan daya maksimum sebesar 1876,437 Watt.

Selain bisa digunakan untuk menghidupkan listrik di rumah nelayan, potensi daya yang ada dapat juga digunakan untuk menghidupkan lampu pada mercusuar yang ada di sekitar pantai atau digunakan pada penyedia jasa resort atau wisata di sekitar pantai.

Perlu diperhatikan bahwa, selain tinggi gelombang datang dan periodenya, lebar chamber pada sistem pembangkitan juga sangat berperan besar dalam menentukan besar daya yang bisa dihasilkan.

V. KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan perhitungan dapat disimpulkan :

1. Wilayah perairan Pantai di Indonesia memiliki potensi yang bisa digunakan untuk menerapkan PLTGL sistem kolom air berosilasi.
2. Daya terkecil yang dapat dihasilkan adalah sebesar 246,0294 Watt di daerah perairan Selat Malaka.
3. Daya terbesar yang dapat dihasilkan adalah sebesar 1.968.235 Watt di daerah perairan selatan Banten hingga Jawa Barat, Perairan selatan Jawa Tengah, Perairan selatan Jawa Timur dan di wilayah perairan Laut Arafuru.
4. Potensi terbesar untuk diterapkannya sistem ini terdapat pada perairan selatan Banten hingga Jawa Barat, Perairan selatan Jawa Tengah, Perairan selatan Jawa Timur dan di wilayah perairan Laut Arafuru.
5. Penerapan sistem *oscillating water column* di wilayah perairan pantai Selat Malaka dapat membantu memberikan kontribusi daya listrik untuk kurang

lebih 18 rumah nelayan pada kondisi pembangkitan maksimum dan efisiensi sebesar 11,971%.

REFERENSI

- [1] Kim Nielsen, "On the Performance of Wave Power Converter." Int. Sym. Util.of Ocean Waves, Jun-86
- [2] David Ross, "Energy From The Waves." 2nd Edition Revised & Enlarged, Perganon Press, 1980
- [3] Budi Murdani. "Analisa Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Sistem *Oscillating Water Column* di Pantai Baron Yogyakarta." Jakarta, 2008.
- [4] Rodrigues Leão. "Wave power conversion systems for electrical energy production", Department of Electrical Engineering Faculty of Science and Technology Nova University of Lisbon, Portugal 2005.
- [5] <http://www.dkp.go.id/index.php/ind/news/2623/berita-prakiraan-cuaca-maritim-untuk-pelayaran>