

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Berdasarkan topik skripsi yang diambil, terdapat beberapa referensi dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya guna menentukan batasan-batasan masalah yang berkaitan erat dengan topik yang sedang diambil. Referensi-referensi ini kemudian akan digunakan untuk mempertimbangkan permasalahan-permasalahan apa saja yang berhubungan dengan topik yang diambil. Adapun beberapa referensinya adalah sebagai berikut:

1. Alfian Rizal Ubaidillah et al. (2014) melakukan penelitian mengenai *Studi Potensi Pembangkit Listrik Ombak Tipe Oscillating Water Column Di Perairan Pulau Sempu Kabupaten Malang*, berdasarkan hasil analisis dan perhitungan pada penelitian ini diketahui bahwa PLTO tipe OWC di Pulau Sempu mempunyai potensi daya listrik maksimum yang dapat dibangkitkan adalah sebesar 4009,68kW dan daya minimum sebesar 1989,56kW dengan lebar kolom kolektor 8 meter.

2. Siti Rahma Utami UI (2010) melakukan penelitian tentang *Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Dengan Menggunakan Sistem Oscillating Water Column Di Tiga Puluh Wilayah Kelautan Indonesia*, menjelaskan bahwa wilayah perairan pantai di Indonesia yang memiliki

potensi untuk dapat digunakan penerapan PLTO sistem OWC yaitu di wilayah perairan selatan Banten hingga Jawa Barat, Perairan selatan Jawa Tengah, Perairan selatan Jawa Timur dan di wilayah perairan Laut Arafuru, yaitu sebesar 1.1968.235 Watt.

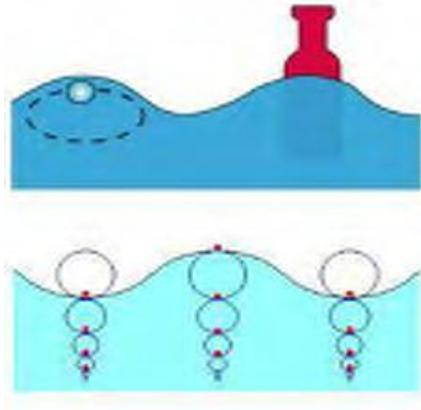
3. Toni Ragil Saputro (2014) melakukan penelitian tentang *Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Sistem Oscillating Water Column Di Daerah Puger Jember*, menjelaskan bahwa pada kondisi saat pasang dan saat surut air laut dan daerah pembentukan gelombang (*fetch*) dapat dihitung potensi daya listriknya, adapun jika diterapkan di daerah Puger didapatkan daya listrik terkecil yang dapat dihasilkan sebesar 16561,021 Watt, sedangkan daya listrik terbesar yang dapat dihasilkan sebesar 2116669,434 Watt. Dengan potensi daya listrik rata-rata perhari yaitu 615637,176 Watt dapat membantu mensuplai daya listrik di rumah rumah nelayan dan selebihnya di rumah-rumah penduduk sekitar pantai.

2.2 Gelombang Laut

Pengklasifikasian gelombang laut dapat terbedi dalam beberapa jenis tergantung pada daya yang dapat menyebabkannya, yaitu dapat dikarenakan angin, tarikan daya yang disebabkan karena interaksi bumi, bulan dan matahari (gelombang pasang surut), gempa yang dapat berupa tektonik dan vulkanik yang terjadi di dasar laut (gelombang tsunami), serta mampu disebabkan oleh karena

adanya gerakan kapal.

Perhatikan gerak dari arah pelampung dibawah ini :



Gambar 2.2 Pergerakan partikel zat cair di lautan

Sumber : <http://navale-engineering.blogspot.co.id/2013/02/definisi-gelombang-laut.html>

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa partikel air akan bergerak sesuai dengan arah pelampung terhadap naik dan turunnya pada suatu tempat yang menimbulkan gerakan orbital yang terjadi di bawah permukaan air laut, energi gerakan orbital ini akan semakin kecil pada kedalaman air yang semakin bertambah, hal inilah yang mendasari berjalannya gelombang laut tersebut dimana energi orbital ini berfungsi sebagai energi pembentukan gelombang laut . Energi orbital yang terjadi ini kian lama akan semakin mengecil juga dengan semakin dekatnya ke tepi pantai.

2.3 Potensi Pengkonversian Energi Gelombang Laut Menjadi Energi Listrik

Dari studi penelitian yang telah banyak dilakukan diberbagai negara salah satunya adalah Selandia Baru dimana dari hasil pengamatan yang dilakukan di sekitar pantai Selandia Baru tersebut diketahui bahwa dengan ketinggian ombak rata-rata dan periode yang didapatkan yaitu pada rata-rata ketinggian ombak 1 meter dengan periode 9 detik dapat membangkitkan daya listrik sebesar 4,3 kW per meter panjang ombak, sedangkan untuk rata-rata tinggi ombak 2-3 meter dapat membangkitkan daya sebesar 39 kW. Adapun dengan ketinggian ombak 100 meter dengan perioda 12 detik mampu membangkitkan daya sebesar 600 kW pada per meter panjang ombak. Hal tersebut menandakan bahwa tinggi rata-rata gelombang dan periode gelombangnya berbanding lurus terhadap kemampuan dalam membangkitkan daya listrik diaman makin tinggi rata-rata ombak dan periodenya maka daya listrik yang mampu dihasilkan akan semakin besar.

Sedangkan di Indonesia, melalui data tinggi ombak yang diteliti oleh BPPT menyebutkan bahwa wilayah Indonesia memiliki banyak ombak dengan ketinggian rata-rata diatas 2 meter yang mampu untuk dimanfaatkan sebagai dasar untuk penelitian lebih lanjut dalam usaha pembangkitan tenaga listrik dengan memanfaatkan energi gelombang laut.

Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh BPPT ditemukan bahwa potensi energi gelombang di Selatan Pulau Jawa sekitar 19 Kw/m panjang gelombang. Ini

berarti bahwa untuk panjang pantai 1 meter potensi energinya sebesar 19 Kw. Apabila kita tinjau untuk panjang pantai 1 km (1000 m) , maka potensinya menjadi $19 \times 1000 = 19000 \text{ Kw} = 19 \text{ Mw}$ (Mega Watt) dan seterusnya. Energi gelombang ini selalu ada setiap saat dan gratis, sehingga sangat layak untuk dieksplotai sebagai energi alternatif terbarukan.

Menurut pada referensi potensi energi gelombang minimal yang bisa dimanfaatkan secara ekonomis sebesar 15 Kw/m panjang gelombang. Hal ini berarti untuk daerah di Indonesia yang bisa diekplotasi meliputi pantai Barat Sumatra (15 Kw/m panjang gelombang), Selatan Pulau Jawa (19 Kw/m panjang gelombang), Selatan Bali dan NTB (18 Kw/m panjang Gelombang), Sebagian daerah Selatan Papua (15 Kw/m panjang gelombang).

2.4 Sistem Konversi Energi Gelombang Menjadi Energi Listrik

Terdapat tiga cara yang untuk membangkitkan energy listrik dengan tenaga ombak yaitu :

a. Energi Gelombang

Energi kinetik yang dihasilkan gelombang laut ini akan mengakibatkan ombak akan terdorong menuju kolom osilasi dimana dalam kolom tersebut ombak yang menghantam dinding chamber akan menghasilkan energi potensial dimana mengakibatkan air akan bergerak naik dan turun.

Energi gelombang inilah yang akan berguna untuk pembangkitan listrik dimana akibat air laut yang bergerak naik dan turun tersebut akan mengakibatkan tekanan udara yang kemudian akan menyebabkan turbin berputar sehingga

akhirnya dapat membuat generator dapat bekerja menghasilkan listrik.



Gambar 2.4 Energi gelombang (kinetik dan potensial) sebagai penggerak turbin.

Sumber : <https://rendyafriansyah132.wordpress.com/divisi-elektron/pembangkit-listrik-tenaga-gelombang-laut-pltgl/>

b. Pasang Surut Air Laut

Salah satu bentuk pemanfaatan lain dalam pembangkitan energi gelombang laut adalah dengan memanfaatkan energy dari pasang surut air laut tersebut, dimana dalam system ini bekerja optimal dengan membutuhkan kurang lebih 16 kaki antara gelombang pasang dan surut. Saat air laut ini pasang, airnya akan ditampung dalam reservoir sedangkan saat air laut surut maka air yang berada dalam belakang reservoir ini akan dialirkan seperti halnya pada system PLTA secara umum, dimana aliran air ini akan berguna dalam menggerakkan turbin generator sehingga generator dapat bekerja untuk menghasilkan listrik. Namun perlu diketahui pada system ini membutuhkan gelombang pasang yang relative besar agar hasil pembangkitan akan maksimal. Sistem pembangkit dengan sistem seperti telah diterapkan dan beroperasi di Perancis dimana saat ini mampu untuk mencukupi kebutuhan listrik penduduk sebesar 240.000 rumah.

c. Penggunaan Temperatur Air Laut Yang Berbeda Dalam Pembangkitan Listrik (*Ocean Thermal Energy*)

Pada sistem ini pemanfaatan lain yang digunakan adalah dengan perbedaan suhu air laut untuk membangkitkan energy listrik, yaitu suhu permukaan air laut yang panas karena sinar matahari yang memanasi lautan serta bawah permukaan air laut yang akan menjadi suhu lebih dingin. Adapaun perbedaan suhu pada pembangkit listrik ini diperlukan sekitar $3,33^{\circ}\text{C}$ atau sekitar 38°F dibandingkan dengan suhu dibawah permukaan laut.

Adapun sistem perbedaan suhu air laut dalam pembangkitan energi listrik ini dinamakan dengan OTEC atau *Ocean Thermal Energy Conversion*. Cara ini mulai banyak digunakan pada negara-negara maju seperti di Jepang dengan banyak percobaan proyek pembangkit yang telah dilakukan. Adapun mekanisme dalam pergerakan gelombang laut ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

2.5 Pergerakan Gelombang

Indikator dalam perhitungan gelombang yang bergantung terhadap gravitasi dan mempunyai permukaan bebas adalah sebagai berikut :

a : amplitudo (m)

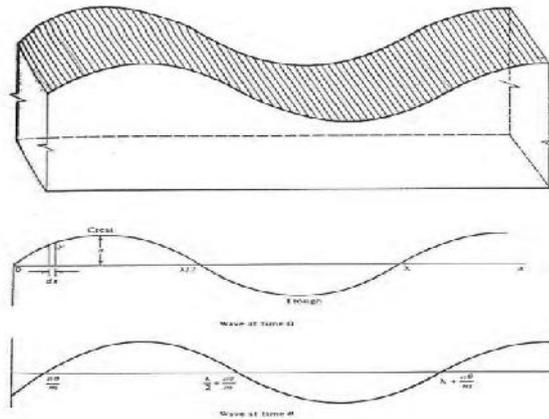
λ : panjang gelombang (m)

$2a$: tinggi (dari puncak ke lembah)

f : frekuensi (s^{-1})

: periode (s)

Dimana panjang gelombang dan periodenya saling berhubungan yang dapat dirumuskan oleh nilai yaitu, $v = 5.12 \text{ }^2$ (dimana dalam m, dan dalam s) (2.1)



Gambar 2.5 Menggambarkan hubungan antara gelombang 2 dimensi (atas), amplitudo pada waktu 0 (tengah) dan waktu () bawah.

Sumber : <https://eckoeffendi.wordpress.com/2011/10/28/wave/>

Gambar 2.5 merupakan penggambaran gelombang yang bersifat progresif yang mempunyai 2 dimensi dimana pada saat waktu sama dengan 0 dan waktu sama dengan yang mewakili sebuah gelombang harmonik sederhana, maka dengan ini dapat membentuk suatu persamaan gelombang menjadi sebagai berikut yaitu :

$$y = a \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda} x - \frac{2\pi}{T} t \right) \quad (2.2)$$

atau
$$y = a \sin m (m - n) \quad (2.3)$$

dimana y = tinggi rata-rata [m]

= waktu [s]

$$m = 2 \pi / \lambda \text{ [m}^{-1}\text{]}$$

$$(m - n) = 2 \pi (x/\lambda - \theta/\tau) = \text{sudut fasa}$$

2.6 Energi Gelombang dan Daya Gelombang

Energi potensial serta energi kinetik dalam gelombang merupakan energi total dari gelombang tersebut dimana $E_{\text{total}} = EP + EK$

a. Energi potensial

Energi potensial ini timbul akibat kenaikan air yang terjadi di atas tinggi rata-rata ($y = 0$). Dimana mengingat sebuah penurunan volume $y \, dx$ (pada gambar 3), maka akan didapati bahwa sebuah tinggi rata-rata $y/2$. Energi potensialnya adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} d &= m \frac{y}{2g_c} = (\rho \, dx \, L) \frac{y}{2g_c} \\ &= \frac{\rho}{2} y^2 dx \frac{L}{g_c} \end{aligned} \quad (2.4)$$

dimana m = massa cairan dalam $y \, dx$ [Kg]

g = percepatan gravitasi [m/s^2]

g_c = faktor konversi, $1.0 \text{ kg.m}/(\text{N.s}^2)$

ρ = kerapatan air [kg/m^3]

L = perubahan lebar gelombang dua dimensi, tegak lurus dengan arah gelombang x , dengan satuan m.

Dengan pengkombinasikan persamaan antara 2.4 dan 2.3 sehingga hasil integralnya akan memberikan nilai energi potensial (PE) dalam J :

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\rho a^2 g}{2 g_c} \int_0^\lambda \sin^2(m x - n \theta) dx \\
 &= \frac{\rho a^2 g}{2m g_c} \left(\frac{1}{2} m x - \frac{1}{4} \sin 2m x \right) \Big|_0^\lambda \\
 &= \frac{\rho a^2 g}{2m g_c} \left[\frac{m\lambda}{2} \right] = \frac{1}{4} \rho a^2 \lambda L \frac{g}{g_c} \quad (2.5)
 \end{aligned}$$

Kerapatan energi potensial yang terjadi pada per unit area adalah PE/A , dimana $A = L$, dengan satuan J/m^2 ini diberikan oleh persamaan :

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{4} \rho a^2 \frac{g}{g_c} \quad (2.6)$$

b. Energi Kinetik

Adapun sesuai pada teori dinamika hidro,

$$K = \frac{1}{4} \rho a^2 \int \omega^2 d\omega \quad (2.7)$$

Dimana ω adalah merupakan sebuah bilangan potensial kompleks dengan rumus sebagai berikut :

$$\omega = \frac{a}{s} \cos(m - n) \quad (2.8)$$

dan z ialah merupakan besaran jarak yang terjadi pada sebuah titik referensi yang terjadi secara berubah-ubah. Integral pada persamaan 2.7 ini pada luas penampang dibatasi diantara dua bidang vertikal, sehingga mampu menghasilkan persamaan :

$$K = \frac{1}{4} \rho a^2 \lambda \frac{g}{g_c} \quad (2.9)$$

dengan kerapatan energi kinetiknya adalah sebagai berikut :

$$\frac{K}{A} = \frac{1}{4} \rho a^2 \frac{g}{g_c} \quad (2.10)$$

c. Total Energi Daya

Dapat dilihat bahwa energi potensial serta energi kinetik dari sebuah gelombang sinisoidal adalah merupakan sesuatu yang identik, oleh sebab itu maka energi total merupakan setengah dari energi potensial serta setengah energi dari kinetik. Adapun kerapatan energi total ini adalah sebagai berikut :

$$\frac{E}{A} = \frac{1}{2} \rho a^2 \frac{g}{g_c} \quad (2.11)$$

dengan daya (P), energi per unit waktu yang diberikan oleh ombak/gelombang laut dengan frekuensi waktu energy, maka dengan demikian kerapatan daya, W/m^2 ini mampu dirumuskan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho a^2 f \frac{g}{g_c} \quad (2.12)$$

2.7 Metode Pemanfaatan Gelombang Laut Sebagai Penghasil Energi Listrik

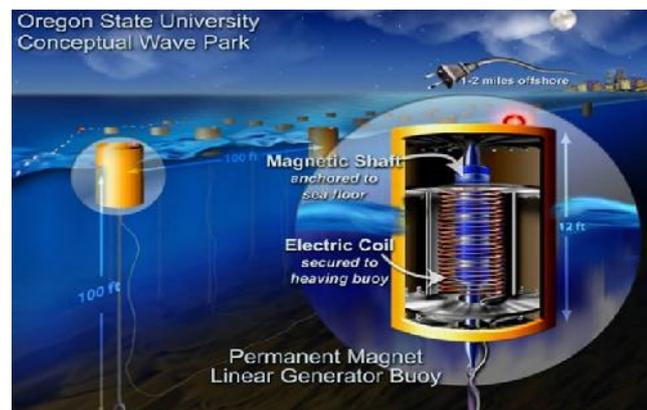
Terdapat berbagai macam metode yang dapat untuk digunakan sebagai pemanfaatan ombak/gelombang laut sebagai penghasil energi listrik, diantaranya adalah sebagai berikut ini :

2.7.1 Permanent Magnet Linear Buoy

Sistem pembangkitan macam ini pada dasarnya ialah dengan menggunakan prinsip dimana dalam usaha pembangkitan energi listriknya dengan memanfaatkan gelombang yang berada pada permukaan laut yaitu dengan mengapungkannya di permukaan laut tersebut. Dengan memanfaatkan gelombang laut yang senantiasa membentuk gerakan naik turun secara harmonis maka kemudian akan diubah menjadi gerakan harmonis listrik. Adapun peneliti yang telah mempublikasikan penemuan ini adalah dari para peneliti Universitas Oregon

Peletakan sistem pembangkitan ini yang memiliki bentuk silindris yaitu dengan cara diapungkan di permukaan laut dimana posisinya berada setengah mengapung yaitu sebagian diapungkan di permukaan laut sedangkan sebagiannya lagi akan tenggelam, sementara bagian dalam dari alat ini memiliki penghasil energi listrik yaitu yang berupa kumparan batang magnet. Dimana cara kerjanya yaitu agar koil ini dapat bergerak maka akan ditempelkan pada pelampung yang kemudian dikaitkan kedalam dasar laut, yaitu saat gelombang laut menuju pelampung maka akan mengakibatkan bergerakna pelampung tersebut naik dan turun secara relatif terhadap kumparan batang magnet (koil) didalam *buoy*, yang kemudian akan menimbulkan beda potensial dan akhirnya listrik dapat dihasilkan. Bentuknya silindris, memiliki perangkat penghasil energi listrik di bagian dalamnya. *Buoy* ini akan diapungkan di permukaan laut dengan posisi sebagian tenggelam serta sebagian lagi akan mengapung.

Sistem macam ini akan cocok jika diletakan pada kondisi ombak yang memiliki kekuatan yang lumayan kuat untuk mengayun pelampung yang terhubung dengan koil dengan kriteria peletakan kurang lebih antara 1-2 mil dari tepi pantai, karena dengan semakin kuatnya gelombang laut mengayun koil ini maka energi listrik yang dapat dihasilkan juga akan semakin besar. Dimana hasil penelitian dari Universitas Oregon, sistem ini dapat menghasilkan energi listrik sebesar 250 kW.



Gambar 2.7.1 Skema Pemasangan Pelampung yang dikaitkan dengan Sistem Buoy

Sumber : <http://smart-pustaka.blogspot.co.id/2011/03/energi-gelombang-laut.html>

2.7.2 Sistem Pelamis

Sistem ini kurang lebih sama seperti pada sistem *buoy* diatas dengan pengembangannya dilakukan oleh *Ocean Power Delivery* yang terletak di Portugal dimana penempatan pembangkit ini diletakan pada tengah laut kurang lebih 4,8 km dengan cara mengapungkannya diatas permukaan air laut namun yang membedakannya adalah dari sistemnya menggunakan gerakan yang timbul akibat dorongan piston akibat ombak yang datang pada tabung silinder yang akan bergerak secara vertikal, dorongan ini selanjutnya akan menggerakkan sebuah motor untuk dapat menggerakkan generator listrik yang didahului dengan pemompaan cairan hidrolis yang mempunyai tekanan ke sebuah motor hasil dari dorongan piston pada tiap sambungan tersebut, dengan hasil pembangkitan yang

telah tercapai yaitu sebesar 2,25 MW.

Adapun tiap tabung silinder dalam sistem ini mempunyai panjang sekitar 122 meter yang terbagi dalam empat bagian diaman pada tiap tabung tersebut dikaitkan ke dalam dasar laut untuk ditahan dengan menggunakan jangkar agar tidak terbawa arus.

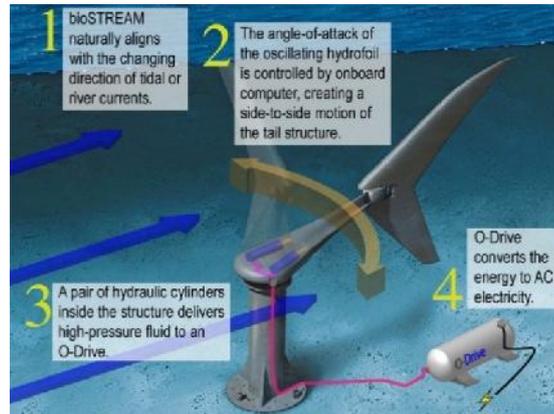


Gambar 2.7.2 Skema Sistem Pelamis di Portugal

Sumber : <http://www.green-group.rs/index.php?r=1777>

2.7.3 Sistem *BioStream Tidal Energy*

Sistem bioStream yang dikembangkan oleh *Bio Power System* ini merupakan sistem yang unik dimana dapat mengkonversi energi pasang surut air laut menjadi energi listrik, sistem ini memiliki konsep berdasarkan sifat spesies laut untuk mengoptimalkan efisiensinya dalam pembangkitan energi listrik. Adapun sistemnya menyerupai sirip ikan hiu yang bergerak secara harmonis sesuai dorongan energi gelombang laut. Untuk lebih mengetahui prinsip kerjanya dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.7.3 Skema Sistem *BioStream*

Sumber : <https://www.nextnature.net/2009/03/biostream/>

Sirip *BioStream* secara natural akan mengikuti perpindahan arah gerakan dari energi pasang surut air laut, dimana gerakannya ini diatur oleh *onboard computer* yang akan mengatur gerakan sisi ke sisi dari struktur sirip tersebut. Kemudian sepasang silinder hidrolik yang terdapat pada bagian dalam struktur sistem akan mentransfer cairan bertekanan tinggi ke O-Drive, dimana dalam O-Drive ini kemudian energi dari tekanan tinggi tersebut akan dikonversi menjadi energi listrik.



Gambar 2.7.3.1 Skema Alat *BioStream Tidal Energy*

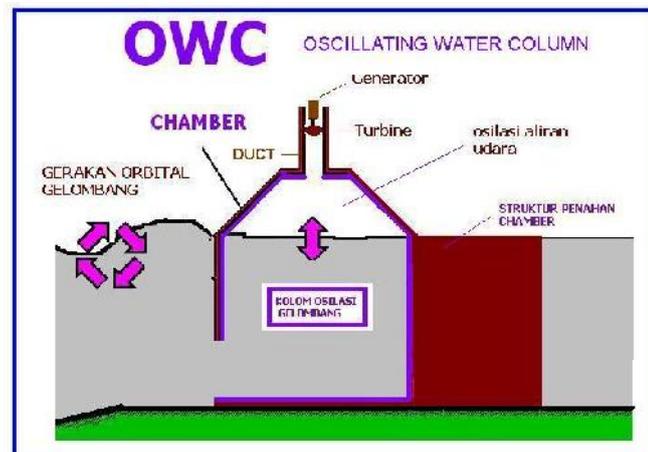
Sumber : <https://www.nextnature.net/2009/03/biostream/>

Sistem ini menggunakan konstruksi bahan ringan yang memiliki kekuatan yang tinggi terhadap korosi dan masih dalam proses penyempurnaan untuk pengembangan kapasitas yang bervariasi antara lain 250 kW, 500 kW, serta 1000 kW diberbagai kondisi lokasi.

2.7.4 Sistem Kolom Air Berosilasi (OWC)

Prinsip kerja dari OWC (*Oscillating Water Column*) untuk konversi energi gelombang adalah memanfaatkan tenaga gelombang laut yang masuk ke dalam suatu kolom, sehingga air yang berada di dalam kolom tersebut akan berfluktuasi/berosilasi, bergerak naik turun dan mendesak udara di atasnya sehingga tekanan udara tersebut mengakibatkan turbin yang terpasang pada kolom berputar. Turbin yang berputar itu dihubungkan dengan generator yang akan menghasilkan listrik. Jenis turbin yang digunakan adalah Wells Turbine dan mempunyai arah putar yang sama , baik untuk arah aliran udara dari bawah keatas

(waktu fluktuasi air di dalam chamber OWC naik ke atas) maupun saat udara luar masuk ke dalam chamber (saat fluktuasi air di dalam chamber turun ke bawah).



Gambar 2.7.4 Mekanisme konversi gelombang laut dengan sistem owc

Sumber : <https://keprofhmm.wordpress.com/2010/07/08/energi-laut-sebagai-sumber-energi-alternatif/>

2.7.5 Indikator Penempatan Lokasi yang Baik Pada PLTO Sistem OWC

Dalam menentukan lokasi PLTO sistem OWC ini ada banyak hal yang harus dipertimbangkan, baik kriteria gelombangnya ataupun juga topografi daerah lokasi antaranya adalah :

1. Tinggi Ombak/Gelombang Laut

Tinggi ombak/gelombang laut yang mampu untuk dimanfaatkan dalam sistem ini adalah ombak yang selalu terbentuk sepanjang tahun yang memiliki tinggi antara 1-2 m. Ombak laut yang sesuai dengan tinggi tersebut adalah gelombang *Swell*, gelombang ini mengandung energi yang besar.

2. Arah Datang Gelombang

Mulut kolom pipa/konektor ini harus sesuai terhadap arah datangnya ombak, jika salah memasangnya maka energi ombak laut yang masuk akan berkurang dikarenakan banyak yang hilang.

3. Syarat Gelombang Baik

Syarat gelombang laut yang baik adalah ketika gelombang laut ini tidak pecah akibat pendangkalan. Ketika gelombang laut ini terpecah maka akan ada energi yang terbuang karena massa air ini akan mengandung gelembung udara yang dapat berpengaruh kepada besar kerapatan massa.

4. Keadaan Topografi Lautan

Pengoptimalisasian pembangkit dengan sistem *owc* ini akan tergantung pada topografi kelautan. Jika kondisi dalam dasar lautan ataupun permukaannya masih kurang untuk memenuhi persyaratan yang berlaku maka dapat dilakukan pengerukan atau penambalan.

2.7.6 Mekanisme Komponen Sistem OWC

Secara umum alat/komponen sistem *owc* adalah sebagai berikut :

1. *Chamber* dengan lubang di depannya

Chamber atau kolom air ini berfungsi sebagai pintu masuk dari gelombang laut yang datang, dimana ukuran dari *chamber* ini akan berpengaruh terhadap hasil

keluaran energi listrik yang dihasilkan dengan semakin lebar chambernya maka ombak yang masuk kedalam akan semakin besar untuk menghasilkan energy listrik, namun untuk penentuan lebarnya chamber tersebut harus sesuai terhadap rencana pemodelan. Adapun lebar chamber yang telah digunakan dalam prototype pembangkit sistem owc di pantai baron adalah sebesar 2,4 m dimana mampu dapat menghasilkan efisiensi pembangkitan sebesar 11%.

2. *Duct*

Duct merupakan bangunan yang dibangun diatas chamber dimana berisi turbin generator, bangunan ini berfungsi sebagai rumah dari turbin generator untuk melindungi turbin generator dari luar. Didalam bangunan inilah hasil energi potensial gelombang yang naik turun dikarenakan energi mekanik yang mendorong energi gelombang tersebut yang kemudian menyebabkan udara bertekanan tinggi akan memutar turbin diatasnya sehingga dapat membuat generator dapat bekerja untuk membangkitkan listrik.

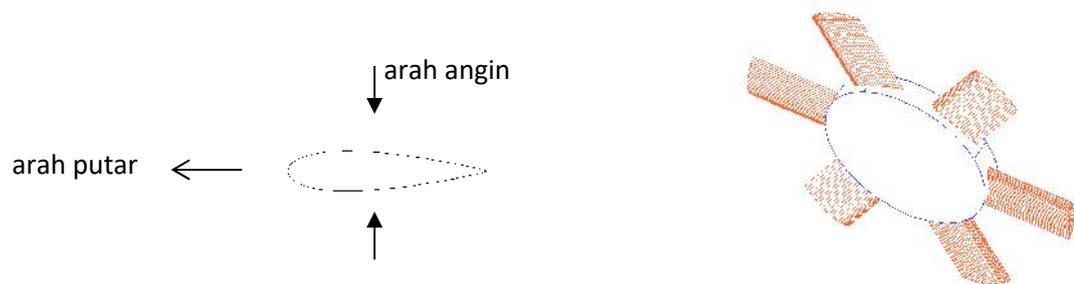
b. Turbin/Baling-Baling

Turbin yang dipakai di dalam sistem OWC ini berbeda dengan turbin konvensional, terutama dalam dua hal yaitu :

1. Turbin konvensional berputar dengan memanfaatkan udara yang mengalir dengan arah yang sama sepanjang waktu. Sedangkan turbin di dalam OWC dituntut berputar satu arah di dalam aliran udara dua arah.
2. Turbin konvensional biasanya dioperasikan di dalam steady-flow

environment dengan kecepatan tertentu, sedangkan dalam OWC, aliran udara sebagai sumber energy untuk menggerakkan turbin tidak dapat dipastikan kecepatannya, arahnya, bahkan jeda waktu antara keberadaannya (sangat tergantung tinggi dan periode gelombang laut).

Sehingga, turbin yang sering banyak dipakai untuk konversi energi gelombang dengan sistem OWC ini adalah jenis turbin *wells*, karena memiliki konfigurasi sederhana, berbutar dalam arah yang sama kemanapun arah aliran udara, serta relatif murah. Turbin wells memiliki beberapa sudu dengan profil airfoil yang simetris dan dipasang lurus pada hub atau pusat tanpa membentuk sudut. Dengan demikian, turbin ini akan berputar searah di dalam aliran udara dua arah.

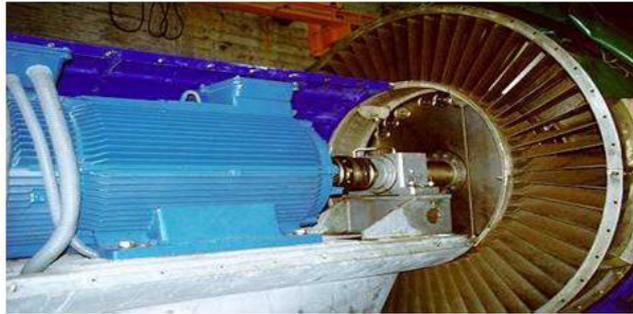


Gambar 2.7.6 Skema turbin *wells*

Sumber : <http://owcwaveenergy.weebly.com/generating-power.html>

c. Generator

Dalam pengkonversian energi mekanik dari tekanan udara yang disebabkan adanya gerakan ombak yang naik turun didalam chamber yang memutar turbin, digunakan generator yang terhubung dengan turbin, saat turbin ini berputar maka akan membuat generator dapat bekerja sehingga dapat menghasilkan listrik. Secara garis besar generator terbagi atas stator dan rotor.



Gambar 2.7.6.1 Generator listrik

Sumber : <http://generatorowc.weebly.com/power-take-off.html>

Daya listrik yang dapat dibangkitkan oleh pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan sistem *oscillating water column* (owc) ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

Perhitungan energi gelombang per satu periode,

$$P = \frac{1}{4} \rho a^2 \lambda \frac{g}{g_c} \quad (2.5)$$

$$K = \frac{1}{4} a^2 \lambda \frac{g}{g_c} \quad (2.9)$$

Maka energi total satu periode (E_w) adalah

$$E = P + K \quad (3.1)$$

$$E = \frac{1}{4} \rho a^2 \lambda \frac{g}{g_c} + \frac{1}{4} \rho a^2 \lambda \frac{g}{g_c} \quad (3.2)$$

$$E = \frac{1}{2} \rho a^2 \lambda \frac{g}{g_c} \quad (3.3)$$

Dengan kerapatan per m^2 :

$$E = \frac{1}{2} \rho a^2 \frac{g}{g_c} \quad (3.4)$$

Daya yang dapat dibangkitkan :

$$P = \frac{E}{T} \quad (3.5)$$

Sementara untuk mengetahui daya yang terkandung dalam energi gelombang laut ini dapat dihitung berdasarkan persamaan Hulls sebagai berikut ini :

$$P = \rho \cdot g \cdot T \cdot \frac{H^2}{64} \cdot \pi$$

Keterangan :

P = daya gelombang laut (Watt/m)

ρ = massa jenis air laut (Kg/m^3)

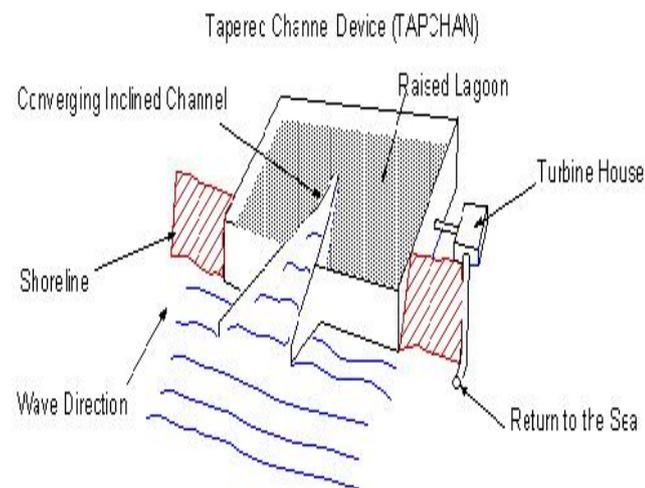
g = gravitasi bumi (m/s^2)

T = periode gelombang laut (m/s^2)

H = tinggi gelombang laut rata-rata (m)

2.7.7 Sistem Kanal

Sistem ini secara umum memiliki prinsip dimana air laut akan ditampung dalam reservoir dengan memanfaatkan pasang surut air laut. Air yang tertampung dalam reservoir akan disimpan saat terjadi pasang air laut, dengan pengaliran airnya sesuai pada cara kerja PLTA dimana air ini akan dialirkan ke saluran untuk dapat memutar turbin sehingga generator dapat berfungsi menghasilkan listrik.



Gambar 2.7.7 Skema Sistem *Tapered Channel*

Sumber : <http://taperedchannelwaveenergy.weebly.com/how-does-it-work.html>

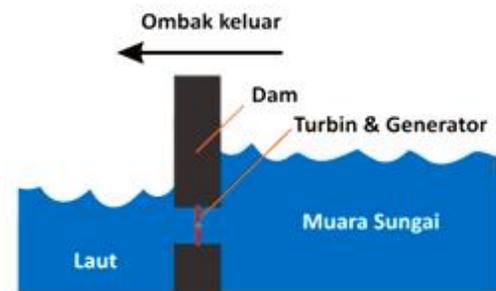
2.7.8 Sistem Pelampung

Secara umum sistem pelampung ini memiliki prinsip kerja kurang lebih sama dengan sistem pelamis dimana dengan memanfaatkan gerakan vertikal pelampung untuk dapat menggerakkan pompa hidrolik. Sistem ini dikaitkan dengan rakit yang diapungkan dan ditambatkan dalam dasar laut.



Gambar 2.7.8 Skema pembangkitan saat ombak masuk

Sumber : <http://hendratetro.blogspot.co.id/2012/06/pembangkit-listrik-tenaga-ombak.html>



Gambar 2.7.8.1 Skema air laut yang keluar menggerakkan turbin

Sumber : <http://hendratetro.blogspot.co.id/2012/06/pembangkit-listrik-tenaga-ombak.html>

2.7.9 *Ocean Thermal Energy*

Pembangkitan energy listrik menggunakan sistem pada prinsipnya adalah dengan memanfaatkan perbedaan temperature yang terjadi antara permukaan laut dan dasar laut. Yaitu suhu panas yang terjadi di permukaan laut yang diakibatkan sinar matahari yang memanasi permukaan laut dan suhu yang lebih dingin yang berada dibawah permukaan laut.

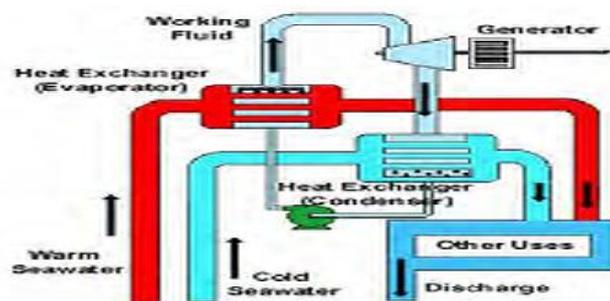
Adapun perbedaan suhu yang diperlukan pada sistem seperti ini kurang

lebih 38° F, yaitu antara permukaan laut serta dibawah permukaan laut. Cara penggunaan sistem seperti ini dinamakan dengan *Ocean Thermal Energy* atau disingkat dengan OTEC.

Sistem OTEC ini memiliki 2 macam siklus, yang diantaranya adalah sebagai berikut :

a. Siklus Tertutup

Pada siklus ini menggunakan yaitu dengan menggunakan fluida dengan titik didih rendah dalam memutar turbin untuk menghasilkan listrik. Prinsip kerjanya yaitu air yang hangat akan dipompa kedalam penukar panas dimana fluida yang bertitik rendah ini dididihkan. Kemudian fluida akan mengalami perubahan wujud menjadi uap yang bertekanan ini, uap yang bertekanan tinggi inilah yang akan berfungsi dalam menghasilkan listrik dimana akan dialirkan untuk menggerakkan turbin. Untuk kemudian uap ini akan didinginkan kembali dengan air dingin dari laut dalam dan akan memulai siklusnya kembali.

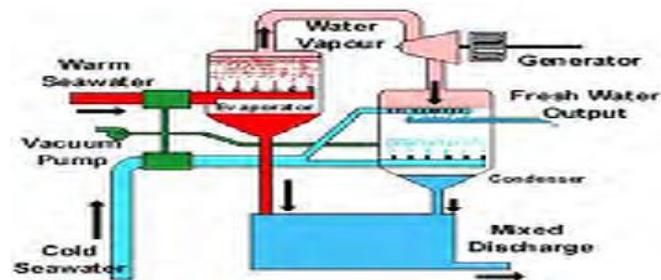


Gambar 2.7.9.1 OTEC Siklus Tertutup

Sumber : <http://www.energy-without-carbon.org/OceanThermal>

b. Siklus Terbuka

Sementara pada siklus terbuka, air laut lah yang digunakan dalam membangkitkan energi listrik. Air laut ini akan dimasukkan dalam tangka bertekanan rendah sehingga akan menguap. Uap hasil ini yang akan digunakan dalam menghasilkan listrik, dimana akan dialirkan untuk memutar turbin. Hasil uap air laut ini akan menghasilkan mineral laut seperti garam dan lain sebagainya, sehingga dapat dimanfaatkan dalam menghasilkan air tawar untuk diminum dan untuk irigasi. Uap hasil sistem ini kemudian akan dikondensasi sehingga dapat dialirkan ke laut kembali dan siklus akan berjalan lagi.



Gambar 2.7.9.2 OTEC Siklus Terbuka

Sumber : <http://www.energy-without-carbon.org/OceanThermal>