



UNIVERSITAS INDONESIA

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

SKRIPSI

**SITI RAHMA UTAMI
0606074344**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
KEKHUSUSAN TENAGA LISTRIK
DEPOK
JUNI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

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

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata
Satu (S-1)**

**SITI RAHMA UTAMI
0606074344**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
KEKHUSUSAN TENAGA LISTRIK
DEPOK
JUNI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Seminar ini adalah hasil karya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Siti Rahma Utami

NPM : 0606074344

Tanda Tangan :

Tanggal :

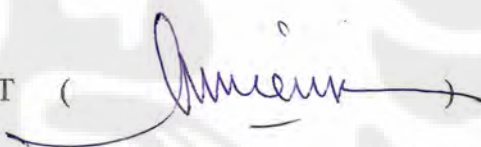
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Siti Rahma Utami
NPM : 0606074344
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Seminar : Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Menggunakan Sistem *Oscillating Water Column* (owc) di Tiga Puluh Wilayah Kelautan Indonesia

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

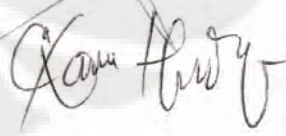
Pembimbing : Ir. Amien Rahardjo, M.T

()

Penguji : Budi Sudiarto, S.T, M.T

()

Penguji : Chairul Hudaya, S.T, M.T

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal :

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur ke hadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Menggunakan Sistem *Oscillating Water Column (owc)* di Tiga Puluh Wilayah Kelautan Indonesia” sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar kesarjanaan pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari bahwa tidak lepas dari dukungan bantuan dan bimbingan berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Amien Rahardjo, M.T, selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, dukungan dan semangat hingga terselesaikannya skripsi ini;
2. Ayah, bunda, adik dan seluruh keluarga besar saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
3. Mahasiswa Teknik Elektro pada umumnya dan angkatan 2006 pada khususnya, terutama mahasiswa peminatan tenaga listrik, yang telah banyak memberikan inspirasi dan semangat serta bantuannya hingga akhirnya skripsi ini dibuat; dan
4. Seluruh teman-teman Brownies, Debbie, Yenti, Anti, Nia, Witta, dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan namanya satu per satu yang telah banyak memberikan semangat dan do'a untuk membantu menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik untuk memperbaiki penulisan di masa yang akan datang.

Depok, Juni 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Siti Rahma Utami

NPM : 0606074344

Program Studi : Teknik Elektro

Departemen : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

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

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 15 Juni 2010

Yang menyatakan

(Siti Rahma Utami)

ABSTRAK

Nama : Siti Rahma Utami
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Sistem *Oscillating Water Column* (OWC) di Tiga Puluh Wilayah Kelautan Indonesia

Merujuk pada Undang-undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi, perkembangan teknik konversi energi listrik dengan menggunakan sumber energi alternatif menjadi menarik untuk diikuti selama beberapa tahun terakhir ini. Skripsi ini membahas mengenai analisis perhitungan potensi daya konversi tenaga gelombang laut dengan menggunakan sistem *oscillating water column* (OWC) di tiga puluh wilayah kelautan di Indonesia. Sistem ini dipilih karena memiliki banyak keuntungan dibanding sistem lainnya dan sesuai dengan wilayah kelautan dan pantai di Indonesia. Dari hasil perhitungan daya didapatkan daya terkecil yang dapat dihasilkan adalah sebesar 246,0294 Watt di daerah perairan Selat Malaka, sementara 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. Penerapan sistem *oscillating water column* di wilayah perairan pantai Selat Malaka dapat membantu memberikan kontribusi daya listrik untuk kurang lebih 18 rumah nelayan sederhana pada kondisi pembangkitan minimum dan efisiensi sebesar 11,971%.

Kata kunci : *oscillating water column* (OWC), energi gelombang laut, energi listrik, potensi daya, panjang gelombang

ABSTRACT

Name : Siti Rahma Utami
Study Program : Teknik Elektro
Title : Potential Study of Sea Wave Power System Using
Oscillating Water Column (OWC) in Thirty Marine Areas
Indonesia

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

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITASii
HALAMAN PENGESAHAN.....	..iii
KATA PENGANTAR / UCAPAN TERIMA KASIHiv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMISv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penulisan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 ENERGI GELOMBANG LAUT	4
2.1 Gelombang Laut	4
2.2 Potensi Konversi Energi Gelombang Laut Menjadi Energi Listrik	5
2.3 Teknik Konversi Energi Gelombang Menjadi Energi Listrik	6
2.4 Metode Pemanfaatan Gelombang Lat Sebagai Penghasil Energi Listrik	11
BAB 3 PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT SISTEM <i>OSCILLATING WATER COLUMN</i> (OWC)	21
3.1 Perhitungan Energi Gelombang Laut Sistem OWC	21
3.2 Penentuan Lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem <i>Oscillating Water Column</i>	21
3.3 Komponen Peralatan Pembangkit Pada Pembangkit Energi Gelombang Laut	22
3.4 Potensi Energi Gelombang Laut Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut di Indonesia	26

3.5 Studi Awal Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem OWC (<i>Oscillating Water Column</i>)	28
BAB 4 ANALISIS PERHITUNGAN DAYA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT <i>OSCILLATING WATER COLUMN</i> (OWC)	32
4.1 Data Hidro-Oseanografi	32
4.2 Panjang dan Kecepatan Gelombang Laut	32
4.3 Analisis Perhitungan Energi Gelombang Laut	36
4.4 Analisis Perhitungan Daya pada Periode 19 – 26 April 2010	39
4.5 Potensi Kontribusi Aplikasi PLTGL <i>Oscillating Water Column</i> pada Pemukiman Sederhana Tepi Pantai	43
BAB 5 KESIMPULAN.....	44
DAFTAR REFERENSI	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ilustrasi pergerakan partikel zat cair pada gelombang	4
Gambar 2.2	Energi kinetik yang terdapat pada gelombang laut digunakan untuk menggerakkan turbin	6
Gambar 2.3	Gelombang dua dimensi (atas), amplitudo pada waktu 0 (tengah) dan waktu θ (bawah)	8
Gambar 2.4	Sistem buoy	12
Gambar 2.5	Pelamis Wave Energy Converters dari Ocean Power Delivery. Proyek komersial pertama dengan kapasitas 2,25 MW telah dibangun di tengah laut 4,8 km dari tepi pantai Portugal	13
Gambar 2.6	Sirip Ikan hiu buatan yang disebut <i>biostream</i> hasil ciptaan Prof. Tim Finnigan dri Departemen Teknik Kelautan, University of Sydney	14
Gambar 2.7	Sistem Oscillating Water Column	15
Gambar 2.8	Skema Sistem Kanal	16
Gambar 2.9	Ombak masuk ke dalam muara sungai ketika terjadi pasang naik air laut	17
Gambar 2.10	Ketika surut, air mengalir keluar dari dam menuju laut sambil memutar turbin	17
Gambar 2.11	Ocean Thermal Energy Conversion Siklus Tertutup	19
Gambar 2.12	Ocean Thermal Energy Conversion Siklus Terbuka	19
Gambar 3.1	Turbin udara (Wells Turbine)	24
Gambar 3.2	Skema diagram turbin Wells	24
Gambar 3.3	Generator / <i>rectifier</i> turbin udara	25
Gambar 3.4	Prototipe Sistem <i>Oscillating Water Colum</i> (OWC)	30

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Prakiraan rata-rata mingguan tinggi gelombang laut di wilayah Indonesia	27
Tabel 4.1	Hasil perhitungan periode gelombang datang	32
Tabel 4.2	Hasil perhitungan panjang gelombang datang	34
Tabel 4.3	Hasil perhitungan kecepatan gelombang datang	35
Tabel 4.4	Hasil perhitungan potensi energi gelombang laut	36
Tabel 4.5	Perhitungan daya yang dapat dibangkitkan	37
Tabel 4.6	Prakiraan rata-rata mingguan tinggi gelombang laut di wilayah Indonesia tanggal 19 – 26 April 2010	40
Tabel 4.7	Hasil perhitungan daya yang dapat dibangkitkan	41

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan pertumbuhan penduduk, pengembangan wilayah, dan pembangunan dari tahun ke tahun, kebutuhan akan pemenuhan energi listrik dan juga bahan bakar secara nasional pun semakin besar. Selama ini kebutuhan energi dunia dipenuhi oleh sumber daya tak terbarukan seperti minyak bumi dan batu bara. Namun tidak selamanya energi tersebut bisa mencukupi seluruh kebutuhan manusia dalam jangka waktu yang panjang mengingat cadangan energi yang semakin lama semakin menipis dan juga proses produksinya yang membutuhkan waktu jutaan tahun. Oleh sebab itu, dibutuhkan suatu studi yang mendalam mengenai penggunaan energi alternatif yang dapat terbarukan untuk menjawab tantangan ini. Selain dapat terbarukan, juga dibutuhkan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan dengan biaya murah.

Setelah pulih dari krisis moneter pada tahun 1998, Indonesia mengalami lonjakan hebat dalam konsumsi energi. Dari tahun 2000 hingga tahun 2004 konsumsi energi primer Indonesia meningkat sebesar 5.2 % per tahunnya. Peningkatan ini cukup signifikan apabila dibandingkan dengan peningkatan kebutuhan energi pada tahun 1995 hingga tahun 2000, yakni sebesar 2.9 % pertahun. Dengan keadaan yang seperti ini, diperkirakan kebutuhan listrik Indonesia akan terus bertambah sebesar 4.6 % setiap tahunnya, hingga diperkirakan mencapai tiga kali lipat pada tahun 2030.[1]

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.

Indonesia merupakan negara kelautan terbesar di dunia. Luas laut Indonesia mencapai 5,8 juta km², atau mendekati 70% dari luas keseluruhan negara Indonesia. Akan tetapi, belum ada pemanfaatan potensi energi kelautan secara optimum, terutama dalam membangkitkan tenaga listrik. Potensi energi laut dan samudra untuk menghasilkan listrik merupakan salah satu potensi yang belum banyak diketahui masyarakat umum.

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).

1.2 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk mengetahui potensi kemungkinan penerapan pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan menggunakan sistem *oscillating water column* atau kolom air berosilasi di wilayah perairan pantai Indonesia.

1.3 Batasan Masalah

Sistem *oscillating water column* (owc) ini membangkitkan listrik dari naik turunnya air akibat gelombang dalam sebuah pipa silindris yang berlubang. Naik turunnya kolom air ini akan mengakibatkan keluar masuknya udara di lubang bagian atas pipa dan menggerakkan turbin. Sampai saat ini telah banyak proposal tentang pemanfaatan *wave energy* yang tentunya kesemuanya mempunyai kelebihan dan kekurangan. Dalam skripsi ini, akan difokuskan pada penghitungan daya yang dapat dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan menggunakan sistem *oscillating water column* di tiga puluh wilayah perairan dan pantai Indonesia. Adapun perhitungan yang dilakukan berdasarkan data yang diambil pada tanggal 28 April – 05 Mei 2010 dan prototipe sistem owc yang

digunakan adalah berdasarkan sistem owc yang telah diterapkan di pantai Baron Yogyakarta dengan efisiensi sistem sebesar 11,917 %.

1.4 Sistematika Penulisan

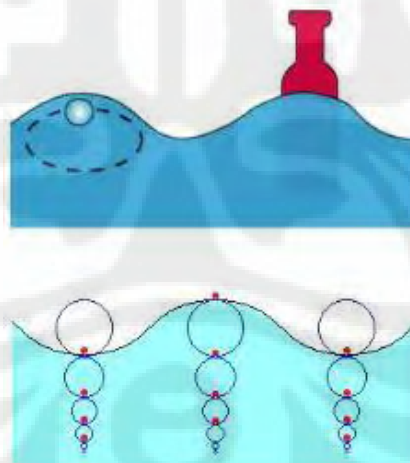
Sistematika penulisan pada skripsi ini meliputi latar belakang permasalahan, tujuan penulisan, batasan masalah dan sistematika penulisan di bab satu. Bab dua menjelaskan tentang penjelasan tentang energi gelombang laut secara umum. Bab tiga membahas tentang pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem *oscillating water column* (owc). Bab empat menguraikan analisis perhitungan daya PLTGL sistem *oscillating water column* pada tiga puluh wilayah perairan di Indonesia serta menentukan potensinya. Bab lima merupakan kesimpulan dari penulisan skripsi ini.

BAB 2 ENERGI GELOMBANG LAUT

2.1 Gelombang Laut

Gelombang/ombak yang terjadi di lautan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis tergantung dari daya yang menyebabkannya. Gelombang laut dapat disebabkan oleh angin (gelombang angin), daya tarikan bumi-bulan-matahari (gelombang pasang surut), gempa (vulkanik dan tektonik) di dasar laut (gelombang tsunami), ataupun gelombang yang disebabkan oleh gerakan kapal.

Gelombang ombak merupakan pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. Angin di atas lautan memindahkan tenaganya ke permukaan perairan, menyebabkan riak-riak, alunan/bukit, dan merubah menjadi apa yang kita sebut sebagai gelombang atau ombak. Perhatikan arah gerak pelampung pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.1 Ilustrasi pergerakan partikel zat cair pada gelombang [2]

Terlihat bahwa sebenarnya pelampung bergerak dalam satu lingkaran (*orbital*) ketika gelombang bergerak naik dan turun. Partikel air berada dalam suatu tempat,

bergerak di suatu lingkaran, naik dan turun dengan suatu gerakan kecil dari sisi satu kembali ke sisi semula. Gerakan ini memberi gambaran suatu bentuk gelombang. Pelampung yang mengapung di air pindah ke pola yang sama, naik turun di suatu lingkaran yang lambat, yang dibawa oleh pergerakan air.

Di bawah permukaan, gerakan putaran gelombang itu semakin mengecil. Pergerakan orbital yang mengecil seiring dengan kedalaman air, sehingga kemudian di dasarnya hanya akan meninggalkan suatu gerakan kecil mendatar dari sisi ke sisi yang disebut “*surge*”.

2.2 Potensi Konversi Energi Gelombang Laut Menjadi Energi Listrik

Penelitian untuk mempelajari kemungkinan pemanfaatan energi yang tersimpan dalam ombak laut sudah mulai banyak dilakukan. Salah satu negara yang sudah banyak meneliti hal ini adalah Inggris. Berdasarkan hasil pengamatan yang ada, deretan ombak (gelombang) yang terdapat di sekitar pantai Selandia Baru dengan tinggi rata-rata 1 meter dan periode 9 detik mempunyai daya sebesar 4,3 kW per meter panjang ombak. Sedangkan deretan ombak serupa dengan tinggi 2 meter dan 3 meter dayanya sebesar 39 kW per meter panjang ombak. Untuk ombak dengan ketinggian 100 meter dan periode 12 detik menghasilkan daya 600 kW per meter.

Untuk di Indonesia sendiri, berdasarkan data dari BPPT banyak terdapat ombak yang ketinggiannya di atas 5 meter sehingga potensi energi gelombangnya dapat diteliti lebih jauh. Negara-negara maju seperti Amerika Serikat, Inggris, Jepang, Finlandia, dan Belanda, banyak menaruh perhatian pada energi ini. Lokasi potensial untuk membangun sistem energi gelombang adalah di laut lepas, daerah lintang sedang dan di perairan pantai. Energi gelombang bisa dikembangkan di Indonesia di laut selatan Pulau Jawa dan barat Pulau Sumatera.

2.3 Teknik Konversi Energi Gelombang Menjadi Energi Listrik

Ada tiga cara membangkitkan listrik dengan tenaga ombak :

a. Energi Gelombang

Energi kinetik yang terkandung pada gelombang laut digunakan untuk menggerakkan turbin. Ombak naik ke dalam ruang generator, lalu air yang naik menekan udara keluar dari ruang generator dan menyebabkan turbin berputar ketika air turun, udara bertiup dari luar ke dalam ruang generator dan memutar turbin kembali.



Gambar 2.2 Energi kinetik yang terdapat pada gelombang laut digunakan untuk menggerakkan turbin [3]

b. Pasang Surut Air Laut

Bentuk lain dari pemanfaatan energi laut dinamakan energi pasang surut. Ketika pasang datang ke pantai, air pasang ditampung di dalam reservoir. Kemudian ketika air surut, air di belakang reservoir dapat dialirkan seperti pada PLTA biasa. Agar bekerja optimal, kita membutuhkan gelombang pasang yang besar. dibutuhkan perbedaan kira-kira 16 kaki antara gelombang pasang dan gelombang surut. Hanya ada beberapa tempat yang memiliki kriteria ini. Beberapa pembangkit listrik

telah beroperasi menggunakan sistem ini. Sebuah pembangkit listrik di Prancis sudah beroperasi dan mencukupi kebutuhan listrik untuk 240.000 rumah.

c. Pemanfaatan Perbedaan Temperatur Air Laut (*Ocean Thermal Energy*)

Cara lain untuk membangkitkan listrik dengan ombak adalah dengan memanfaatkan perbedaan suhu di laut. Jika kita berenang dan menyelam di laut kita akan merasakan bahwa semakin kita menyelam suhu laut akan semakin rendah (dingin). Suhu yang lebih tinggi pada permukaan laut disebabkan sinar matahari memanasi permukaan laut. Tetapi, di bawah permukaan laut, suhu sangat dingin.

Pembangkit listrik bisa dibangun dengan memanfaatkan perbedaan suhu untuk menghasilkan energi. Perbedaan suhu yang diperlukan sekurang-kurangnya 38° fahrenheit antara suhu permukaan dan suhu bawah laut untuk keperluan ini. Cara ini dinamakan *Ocean Thermal Energy Conversion* atau OTEC. Cara ini telah digunakan di Jepang dan Hawaii dalam beberapa proyek percobaan.

Adapun mekanisme dasar pada pergerakan gelombang laut akan dijelaskan sebagai berikut:

2.3.1 Pergerakan Gelombang

Parameter-parameter yang digunakan dalam menghitung gelombang dua dimensi yang memiliki permukaan bebas dan bergantung pada gravitasi adalah :

λ = panjang gelombang [m]

a = amplitudo [m]

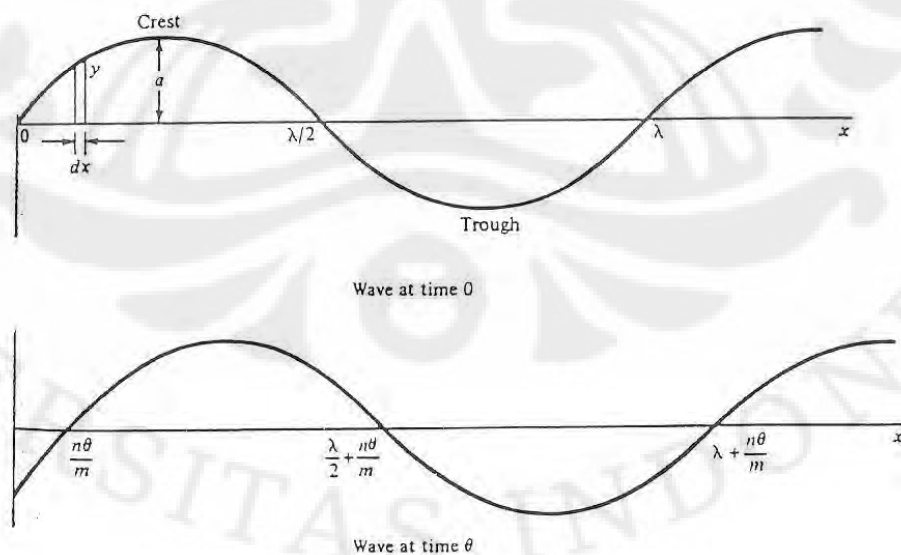
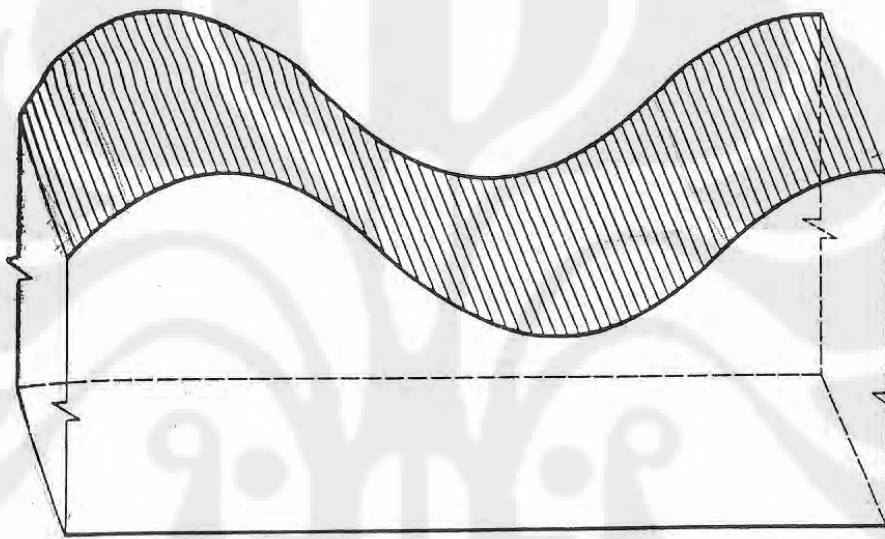
$2a$ = tinggi (dari puncak ke palung) [m]

τ = periode [s]

f = frekuensi [s^{-1}]

periode τ dan kecepatan gelombang c bergantung pada panjang gelombang dan kedalaman air. Menurut Kim Nielsen, hubungan antara panjang gelombang dan periode dapat didekati dengan sebuah nilai, yaitu :

$$\lambda = 5.12 \tau^2 \quad (\lambda \text{ dalam m, dan } \tau \text{ dalam s}) \quad (2.1)$$



Gambar 2.3 Gelombang dua dimensi (atas), amplitudo pada waktu 0 (tengah) dan waktu θ (bawah)

[4]

Gambar 2.3 di atas memperlihatkan sebuah isometrik dari gelombang progresif dua dimensi yang diwakili oleh gelombang harmonik sederhana ditampilkan pada waktu 0. Penampang gelombang yang juga ditampilkan pada waktu sama dengan 0 dan waktu sama dengan θ . Sehingga kita dapat membuat persamaan untuk gelombang menjadi :

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

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

dimana $y =$ tinggi rata-rata [m]

$\theta =$ waktu [s]

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

$(mx - n\theta) = 2\pi(x/\lambda - \theta/\tau) =$ sudut fasa

2.3.2 Energi dan Daya dari Gelombang

Energi total dari sebuah gelombang merupakan hasil penjumlahan energi potensial dan energi kinetik yang terdapat pada gelombang itu.

a. Energi potensial

Energi potensial timbul dari kenaikan air di atas tinggi rata-rata ($y = 0$). Mengingat kembali sebuah penurunan volume $y \, dx$ (lihat gambar 3), maka akan didapati sebuah tinggi rata-rata $y/2$. Energi potensialnya adalah

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

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

$g =$ percepatan gravitasi [m/s^2]

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

$\rho =$ kerapatan air [kg/m^3]

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

Kombinasikan persamaan 2.4 dan 2.3 sehingga hasil integralnya memberikan nilai energi potensial PE dalam J :

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

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

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

b. Energi Kinetik

Sesuai dengan teori dinamika hidro

$$KE = \frac{1}{4} i \rho L \frac{g}{g_c} \int \omega d\bar{\omega} \quad (2.7)$$

Dimana ω merupakan sebuah bilangan potensial kompleks dengan rumus :

$$\omega = \frac{ac}{\sin(mh)} \cos(mz - n\theta) \quad (2.8)$$

dan z merupakan besaran jarak dari sebuah titik referensi yang berubah-ubah. Integral pada persamaan 2.7 pada luas penampang yang dibatasi antara dua bidang vertikal, sehingga menghasilkan persamaan :

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

dan kerapatan energi kinetiknya adalah :

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

c. Total Energi dan Daya

Dapat dilihat bahwa energi potensial dan energi kinetik dari sebuah gelombang sinisoidal yang profresif adalah identik, oleh karena itu energi total E merupakan setengah energi potensial dan setengah energi kinetik. Kerapatan energi total adalah :

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

dan daya P energi per unit waktu yang diberikan oleh gelombang dengan frekuensi waktu energi. Dengan demikian kerapatan daya, W/m^2 dapat dirumuskan dengan persamaan :

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

2.4 Metode Pemanfaatan Gelombang Laut Sebagai Penghasil Energi Listrik

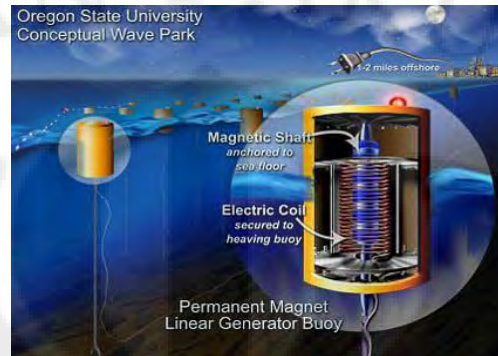
Ada bermacam-macam metode yang dapat digunakan untuk pemanfaatan gelombang laut sebagai penghasil energi listrik, diantaranya adalah :

a. *Permanent Magnet Linear Buoy*

Peneliti Universitas Oregon mempublikasikan temuan teknologi terbarunya yang diberi nama *Permanent Magnet Linear Buoy*. Diberi nama buoy karena memang pada prinsip dasarnya, teknologi terbaru tersebut dipasang untuk memanfaatkan gelombang laut di permukaan. Berbeda dengan buoy yang digunakan untuk mendeteksi gelombang laut yang menyimpan potensi tsunami. Prinsip dasar buoy penghasil listrik ini yaitu dengan mengapungkannya di permukaan. Gelombang laut yang terus mengalun dan berirama bolak-balik dalam buoy ini akan diubah menjadi gerakan harmonis listrik. Sekilas bila dilihat dari bentuknya, buoy ini mirip dengan dinamo sepeda.

Bentuknya silindris dengan perangkat penghasil listrik pada bagian dalamnya. Buoy diapungkan di permukaan laut dengan posisi sebagian tenggelam dan sebagian lagi mengapung. Kuncinya, terdapat pada perangkat elektrik yang berupa koil (kumparan yang mengelilingi batang magnet di dalam buoy). Saat ombak mencapai pelampung, maka pelampung akan bergerak naik dan turun secara relatif terhadap batang magnet sehingga bisa menimbulkan beda potensial dan listrik dibangkitkan. Agar dapat bergerak, koil tersebut ditempelkan pada pelampung yang dikaitkan ke dasar laut. Sistem ini diletakkan kurang lebih satu atau dua mil laut dari pantai. Kondisi ombak yang cukup kuat dan mengayun dengan gelombang yang lebih besar akan menghasilkan listrik dengan tegangan yang lebih tinggi. Berdasarkan hasil penelitian Universitas

Oregon, setiap pelampung mampu menghasilkan daya sebesar 250 kilowatt.



Gambar 2.4 Sistem Buoy [5]

b. Sistem Pelamis

Sistem pelamis dikembangkan oleh *ocean power delivery*, pada sistem ini terdapat tabung-tabung yang sekilas terlihat seperti ular yang mengambang di permukaan laut sebagai penghasil listrik. Setiap tabung memiliki panjang sekitar 122 meter dan terbagi menjadi empat segmen.

Setiap ombak yang melalui alat ini akan menyebabkan tabung silinder tersebut bergerak secara vertikal maupun lateral. Gerakan yang ditimbulkan akan mendorong piston diantara tiap sambungan segmen yang selanjutnya memompa cairan hidraulik bertekanan melalui sebuah motor untuk menggerakkan generator listrik.

Supaya tidak ikut terbawa arus, setiap tabung ditahan di dasar laut menggunakan jangkar khusus. Prinsipnya menggunakan gerakan naik turun dari ombak untuk menggerakkan piston yang bergerak naik turun pula di dalam sebuah silinder.



Gambar 2.5 Pelamis Wave Energy Converters dari Ocean Power Delivery. Proyek komersial pertama dengan kapasitas 2,25 MW telah dibangun di tengah laut 4,8 km dari tepi pantai Portugal [6]

c. Sistem sirip ikan hiu buatan

Sistem ini dikembangkan oleh perusahaan inovatif *BioPower System* yang mengembangkan sirip ikan hiu buatan dan rumput laut mekanik untuk menangkap energi dari ombak. Ketika arus ombak menggoyang sirip ekor mekanik dari samping ke samping, sebuah kotak gir akan mengubah gerakan osilasi tersebut menjadi gerakan searah yang menggerakkan sebuah generator magnetik. Rumput laut mekaniknya pun bekerja dengan cara yang sama, yaitu dengan menangkap arus ombak di permukaan laut dan menggunakan generator yang serupa untuk merubah pergerakan laut menjadi listrik.

Dalam konfigurasi ini, mekanisme pendorong dibalik dan energi yang terdapat pada arus yang mengalir digunakan untuk mendorong gerakan perangkat terhadap torsi penahan dari sebuah generator listrik.

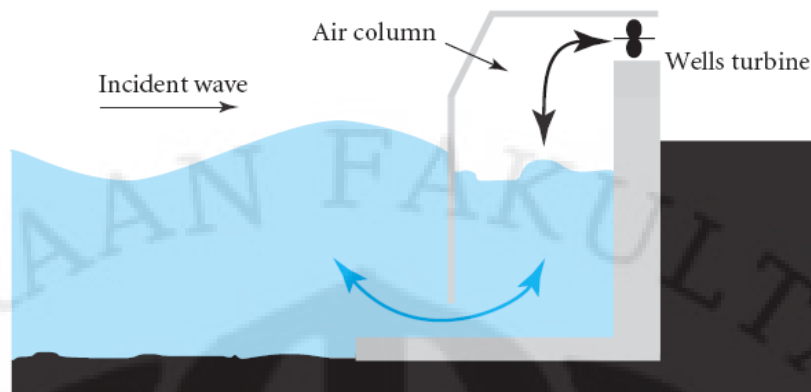


Gambar 2.6 Sirip Ikan hiu buatan yang disebut *biostream* hasil ciptaan Prof. Tim Finnigan dari Departemen Teknik Kelautan, University of Sydney [7]

Karena satu titik rotasi, perangkat ini dapat bekerja pada aliran ke segala arah, dan dapat menghindari kelebihan beban dalam kondisi ekstrim. Sistem ini masih dikembangkan untuk kapasitas 250kW, 500kW, dan 1000kW yang disesuaikan di berbagai lokasi.

d. Sistem Oscillating Water column

Sistem ini membangkitkan listrik dari naik turunnya air laut akibat gelombang laut yang masuk kedalam sebuah kolom osilasi yang berlubang. Naik turunnya air laut ini akan mengakibatkan keluar masuknya udara di lubang bagian atas kolom dan tekanan yang dihasilkan dari naik turunnya air laut dalam kolom tersebut akan menggerakkan turbin.



Gambar 2.7 Sistem Oscillating Water Column [5]

Tenaga mekanik yang dihasilkan dari sistem-sistem tersebut ada yang akan mengaktifkan generator secara langsung atau mentransfernya ke dalam fluida udara, yang selanjutnya akan menggerakkan turbin atau generator.

Sistem *Oscillating Water Column* (OWC) merupakan sistem dengan konstruksi yang terdiri dari dua komponen utama, yaitu ruang udara (*Air Chamber*) dan Turbin Udara Generator (*air turbine generator*). Kesemuanya ini di rencanakan untuk membangkitkan energi listrik melalui turbin generator yang dapat berputar karena tekanan udara yang di sebabkan oleh gerakan naik turunnya gelombang didalam ruang udara tetap.

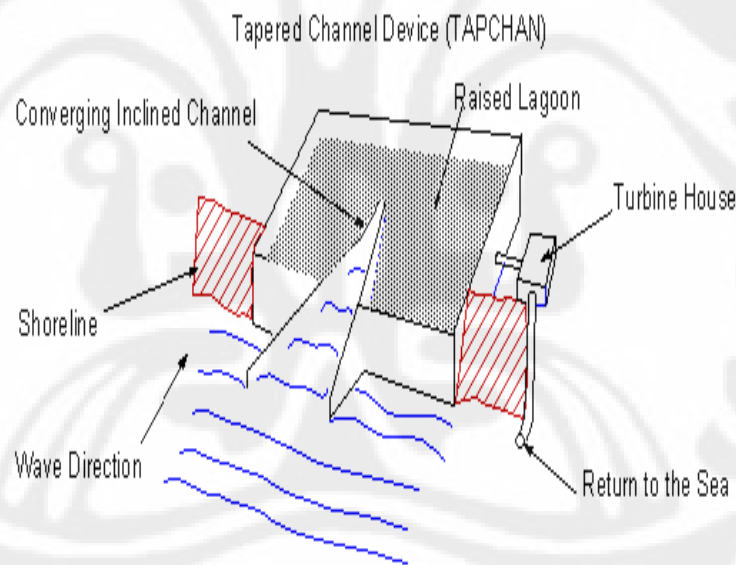
Gerakan naik turunnya air pada kolom osilasi diasumsikan sebagai piston hidraulik. Piston ini selanjutnya menekan udara yang berfungsi sebagai fluida udara. Udara yang bertekanan tersebut akan menggerakkan turbin udara yang selanjutnya menggerakkan generator listrik.

Proses perubahan dari energi gerak gelombang kepada energi potensial tekanan udara berlangsung secara isothermis. Pendekatan ini dipilih karena dalam proses kompresi ini dianggap tidak terjadi peningkatan temperature yang berarti. Besarnya kompresi tergantung kepada panjang langkah piston, sedangkan panjang langkah piston

dipengaruhi oleh tinggi gelombang (H) dan efisiensi absorpsi gelombang pada kolom osilasi.

e. Sistem Kanal

Peralatan ini biasa juga disebut sebagai *tapered channel* atau kanal meruncing atau dapat juga disebut sistem *tapchan*, sistem ini dipasang pada sebuah struktur kanal yang dibangun di pantai untuk mengkonsentrasikan gelombang dan membawanya ke dalam kolam penampung yang ditinggikan. Air yang mengalir keluar dari kolam penampung ini yang akan digunakan untuk membangkitkan listrik dengan menggunakan teknologi standar *hydropower* (prinsip dasar PLTA) dengan menyalurkan gelombang ke dalam *reservoir* atau kolam.



Gambar 2.8 Skema Sistem Kanal [5]

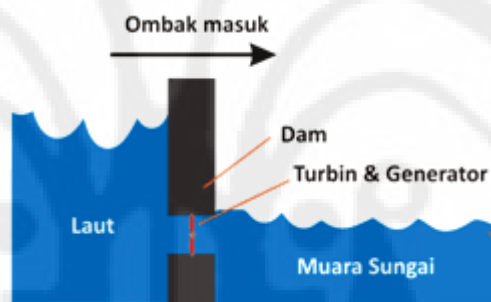
f. Sistem Pelampung

Sistem pelampung adalah sistem yang akan membangkitkan listrik dari hasil gerakan vertikal dan rotasional pelampung. Alat ini dapat

ditambatkan pada sebuah rakit yang mengambang atau alat yang tertambat di dasar laut yang dapat menggerakkan pompa hidrolik.

g. Energi Pasang Surut Air Laut

Bentuk lain dari energi kelautan yang dapat dimanfaatkan untuk dikonversi menjadi energi listrik dinamakan energi pasang surut. Ketika pasang datang ke pantai, air pasang tersebut ditampung di dalam reservoir. Kemudian ketika air surut, air di belakang reservoir dapat dialirkan seperti pada PLTA biasa. Agar bekerja optimal, kita membutuhkan gelombang pasang yang besar. dibutuhkan perbedaan kira-kira 16 kaki antara gelombang pasang dan gelombang surut.



Gambar 2.9 Ombak masuk ke dalam muara sungai ketika terjadi pasang naik air laut [6]



Gambar 2.10 Ketika surut, air mengalir keluar dari dam menuju laut sambil memutar turbin [6]

h. *Ocean Thermal Energy*

Cara lain untuk membangkitkan listrik dari energi yang ada di laut adalah dengan memanfaatkan perbedaan suhu di permukaan dan dasar laut. Jika kita berenang dan menyelam di laut kita akan merasakan bahwa semakin kita menyelam suhu laut akan semakin rendah (dingin).

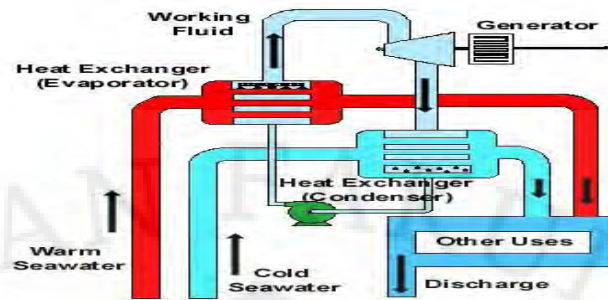
Suhu yang lebih tinggi pada permukaan laut disebabkan sinar matahari memanasi permukaan laut. Tetapi, di bawah permukaan laut, suhu sangat dingin. Itulah sebabnya penyelam menggunakan baju khusus ketika mereka menyelam. Baju tersebut akan menjaga agar suhu tubuh mereka tetap hangat.

Pembangkit listrik energi panas air laut bisa dibangun dengan memanfaatkan perbedaan suhu untuk menghasilkan energi. Perbedaan suhu yang diperlukan sekurang-kurangnya 38° fahrenheit antara suhu permukaan dan suhu bawah laut untuk keperluan ini. Cara ini dinamakan *Ocean Thermal Energy Conversion* atau OTEC.

Berdasarkan siklus yang digunakan, OTEC dapat dibedakan menjadi tiga macam :

a. Siklus Tertutup

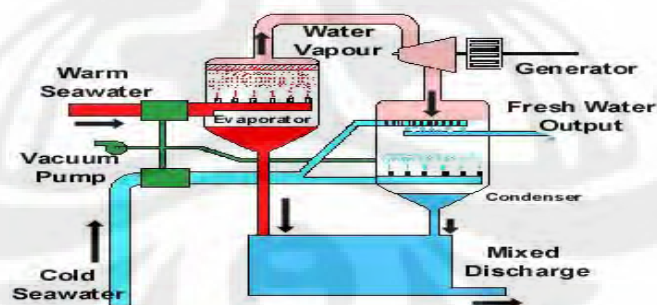
Pada alat OTEC dengan siklus tertutup, air laut permukaan yang hangat dimasukkan ke dalam alat penukar panas untuk menguapkan fluida yang mudah menguap misalnya seperti amonia. Uap amonia akan memutar turbin yang menggerakkan generator. Uap amonia keluaran turbin selanjutnya dikondensasi dengan air laut yang lebih dingin dan dikembalikan untuk diuapkan kembali.



Gambar 1.11 Ocean Thermal Energy Conversion Siklus Tertutup [5]

b. Siklus Terbuka

Pada siklus terbuka, air laut pada permukaan yang hangat langsung diuapkan pada ruang khusus bertekanan rendah. Uap yang dihasilkan digunakan sebagai fluida penggerak turbin bertekanan rendah. Fluida uap keluaran turbin selanjutnya dikondensasi dengan air laut yang lebih dingin dan sebagai hasilnya diperoleh air desalinasi.



Gambar 2.12 Ocean Thermal Energy Conversion Siklus Terbuka [5]

c. Siklus Gabungan

Pada siklus gabungan, air laut yang hangat masuk ke dalam ruang vakum untuk diuapkan dalam sekejap (*flash-evaporated*) menjadi uap (seperti siklus terbuka). Fluida uap tersebut kemudian menguapkan fluida kerja yang memutar turbin (seperti siklus tertutup). Selanjutnya Fluida kembali dikondensasi menjadi air desalinasi.

Fluida kerja yang populer digunakan adalah amonia karena tersedia dalam jumlah besar, murah, dan mudah ditransportasikan. Namun, amonia beracun dan mudah terbakar. Senyawa seperti CFC dan HCFC juga merupakan pilihan yang baik, sayangnya menimbulkan efek penipisan lapisan ozon. Hidrokarbon juga dapat digunakan, akan tetapi menjadi tidak ekonomis karena menjadikan OTEC sulit bersaing dengan pemanfaatan hidrokarbon secara langsung. Selain itu, yang juga perlu diperhatikan adalah ukuran pembangkit listrik OTEC bergantung pada tekanan uap dari fluida kerja yang digunakan. Semakin tinggi tekanan uapnya maka semakin kecil ukuran turbin dan alat penukar panas yang dibutuhkan, sementara ukuran tebal pipa dan alat penukar panas bertambah untuk menahan tingginya tekanan terutama pada bagian *evaporator*.

BAB 3

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

3.1 Perhitungan Energi Gelombang Laut Sistem OWC [4]

Energi gelombang yang dapat dibangkitkan oleh pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem owc ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan yang mengacu pada Bab II, yaitu sebagai berikut :

Perhitungan energi gelombang per satu periode,

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

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

maka energi total satu periode (E_w) adalah

$$E_w = PE + KE \quad (3.1)$$

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

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

Dengan kerapatan energi per m^2 :

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

Daya yang dapat dibangkitkan :

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

3.2 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

3.3 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 mekanik 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.

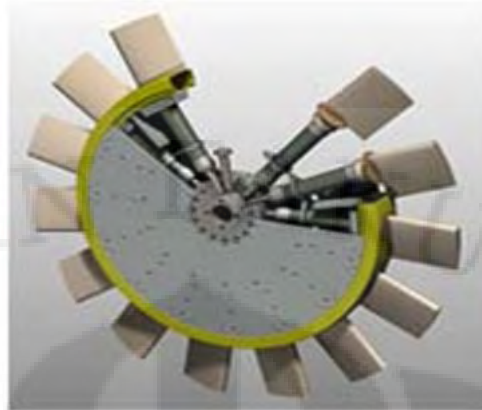
Sudu tetap berfungsi mengarah aliran fluida kerja masuk ke dalam sudu gerak atau juga berfungsi sebagai *nosel*. Pada sebuah roda turbin mungkin terdapat satu baris sudu gerak saja yang disebut turbin bertingkat tunggal, dan jika terdapat beberapa baris sudu gerak disebut turbin bertingkat ganda.

b. Turbin Angin

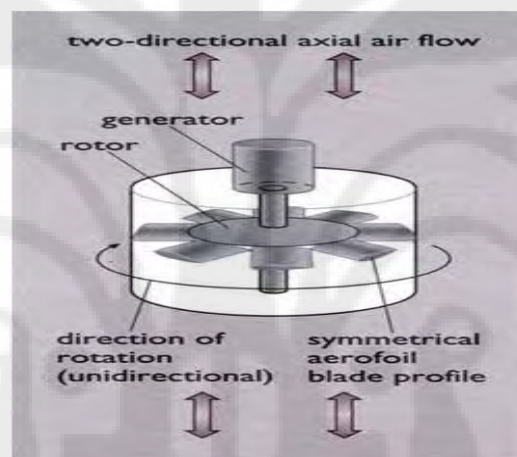
Prinsip dasar kerja dari turbin udara adalah mengubah energi mekanis dari tekanan udara menjadi energi putar pada turbin, lalu putaran turbin digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik. Umumnya daya efektif yang dapat dipanen oleh sebuah turbin angin hanya sebesar 50%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



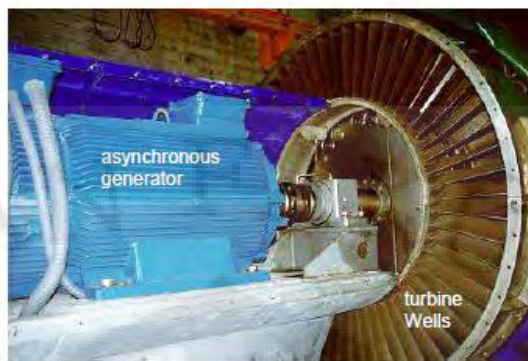
Gambar 3.1 Turbin udara (Wells Turbine) [5]



Gambar 3.2 Skema diagram turbin Wells [5]

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 [3]

- 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.

3.4 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 [8]

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 %

No	Lokasi	Angin 10 m Rata – Rata (Knot)	Tinggi Signifikan Rata – Rata (meter)	Tinggi Maximum Rata – Rata (meter)	Frekuensi Gel. > 3 Meter
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. Sangihe 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 Kepulauan Aru	2 - 10	0.2 – 1.2	0.4 – 1.5	0 -5 %
30	Laut Arafuru	5 - 18	0.8 – 2.0	1.0 – 2.5	0 -5 %

3.5 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 suspensi 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) [5]

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 di lapangan yang berfungsi untuk membangkitkan energi listrik yang bersumber pada energi kinetik dan energi potensial gelombang laut dan flutuasi pasang surut air laut.

BAB 4
ANALISIS PERHITUNGAN DAYA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
GELOMBANG LAUT SISTEM *OSCILLATING WATER COLUMN*
(OWC)

4.1 Data Hidro-Oseanografi

Data hidro-oseanografi meliputi data gelombang laut di 30 wilayah di Indonesia. Data ini sangat menentukan perkiraan awal besarnya daya yang dapat dibangkitkan oleh PLTGL sistem *Oscillating Water Column* (OWC). Data tinggi gelombang laut di wilayah Indonesia ini diperoleh melalui badan meteorologi klimatologi dan geofisika pada tanggal 28 April – 05 Mei 2010 dapat dilihat pada tabel 1 bab 3.

4.2 Panjang dan Kecepatan Gelombang Laut

Panjang dan Kecepatan Gelombang laut dipengaruhi oleh periode datangnya gelombang. Periode datangnya gelombang dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang disarankan oleh Kim Nielsen [9], yaitu :

$$T = 3.55\sqrt{H} \quad (4.1)$$

Dari data tinggi signifikan rata-rata gelombang laut, maka kita dapat mengetahui periode masing-masing daerah, dengan contoh perhitungan periode gelombang datang pada perairan utara Aceh pada kondisi minimum, yaitu

$$T = 3.55\sqrt{0,2} = 1,59$$

Tabel 4.1 Hasil perhitungan periode gelombang datang

No	Lokasi	Tinggi Signifikan Rata – Rata (meter)		Periode gelombang datang (detik)	
		min	Maks	min	maks
1	Perairan utara Aceh	0,2	1,25	1,59	3,97
2	Perairan barat Aceh hingga Sumatera Utara	0,3	1,3	1,94	4,05
3	Perairan barat Sumatera Barat	0,4	1,4	2,25	4,2
4	Perairan barat Bengkulu hingga Lampung	0,4	1,9	2,25	4,89

No	Lokasi	Tinggi Signifikan Rata – Rata (meter)		Periode gelombang datang (detik)	
		min	Maks	min	maks
5	Selat Sunda	0,3	1,7	1,94	4,63
6	Perairan selatan Banten hingga Jawa Barat	0,5	2	2,51	5,02
7	Perairan selatan Jawa Tengah	0,5	2	2,51	5,02
8	Perairan selatan Jatim	0,5	2	2,51	5,02
9	Perairan selatan Bali hingga NTB	0,4	1,5	2,25	4,35
10	Laut Sawu	0,4	1,4	2,25	4,2
11	Laut Timor	0,4	1,3	2,25	4,05
12	Selat Malaka	0,1	0,4	1,12	2,25
13	Laut Natuna	0,4	1,25	2,25	3,97
14	Selat Karimata	0,2	0,8	1,59	3,18
15	Perairan selatan Kalimantan	0,2	0,8	1,59	3,18
16	Perairan Kepulauan Seribu	0,2	0,8	1,59	3,18
17	Laut Jawa	0,3	1,2	1,94	3,89
18	Laut Bali	0,2	0,8	1,59	3,18
19	Laut Flores	0,2	1	1,59	3,55
20	Selat Makasar bagian Selatan	0,1	0,8	1,12	3,18
21	Perairan selatan Sulawesi	0,2	0,8	1,59	3,18
22	Laut Maluku	0,4	1,3	2,25	4,05
23	Laut Buru - Laut Seram	0,3	1,1	1,94	3,72
24	Laut Sulawesi	0,4	1,25	2,25	3,97
25	Perairan Kep. Sangihe Talaud	0,6	1,5	2,75	4,35
26	Laut Halmahera	0,4	1,25	2,25	3,97
27	Perairan utara Papua	0,4	1,25	2,25	3,97
28	Laut Banda	0,5	1,25	2,51	3,97
29	Perairan Kepulauan Aru	0,2	1,2	1,59	3,89
30	Laut Arafuru	0,8	2	3,18	5,02

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 [10] sebagai berikut :

$$\lambda = 5.12 T^2 \quad (4.2)$$

contoh perhitungan panjang gelombang datang pada perairan utara Aceh :

$$\lambda = 5.12 T^2 = 5,12 (1,59)^2 = 12,9$$

Tabel 4.2 Hasil perhitungan panjang gelombang datang

No	Lokasi	Periode gelombang datang (detik)		Panjang gelombang datang (meter)	
		min	maks	min	maks
1	Perairan utara Aceh	1,59	3,97	12,9	80,66
2	Perairan barat Aceh hingga Sumatera Utara	1,94	4,05	19,36	83,88
3	Perairan barat Sumatera Barat	2,25	4,2	25,81	90,33
4	Perairan barat Bengkulu hingga Lampung	2,25	4,89	25,81	122,6
5	Selat Sunda	1,94	4,63	19,36	109,7
6	Perairan selatan Banten hingga Jawa Barat	2,51	5,02	32,26	129
7	Perairan selatan Jawa Tengah	2,51	5,02	32,26	129
8	Perairan selatan Jatim	2,51	5,02	32,26	129
9	Perairan selatan Bali hingga NTB	2,25	4,35	25,81	96,79
10	Laut Sawu	2,25	4,2	25,81	90,33
11	Laut Timor	2,25	4,05	25,81	83,88
12	Selat Malaka	1,12	2,25	6,452	25,81
13	Laut Natuna	2,25	3,97	25,81	80,66
14	Selat Karimata	1,59	3,18	12,9	51,62
15	Perairan selatan Kalimantan	1,59	3,18	12,9	51,62
16	Perairan Kepulauan Seribu	1,59	3,18	12,9	51,62
17	Laut Jawa	1,94	3,89	19,36	77,43
18	Laut Bali	1,59	3,18	12,9	51,62
19	Laut Flores	1,59	3,55	12,9	64,52
20	Selat Makasar bagian Selatan	1,12	3,18	6,452	51,62
21	Perairan selatan Sulawesi	1,59	3,18	12,9	51,62
22	Laut Maluku	2,25	4,05	25,81	83,88
23	Laut Buru - Laut Seram	1,94	3,72	19,36	70,98
24	Laut Sulawesi	2,25	3,97	25,81	80,66
25	Perairan Kep. Sangihe Talaud	2,75	4,35	38,71	96,79
26	Laut Halmahera	2,25	3,97	25,81	80,66
27	Perairan utara Papua	2,25	3,97	25,81	80,66
28	Laut Banda	2,51	3,97	32,26	80,66
29	Perairan Kepulauan Aru	1,59	3,89	12,9	77,43
30	Laut Arafuru	3,18	5,02	51,62	129

Maka, kecepatan gelombang datang dapat diperoleh dengan menggunakan rumus

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (4.3)$$

Berikut contoh perhitungan kecepatan gelombang datang pada perairan utara

$$\text{Aceh : } v = \frac{\lambda}{T} = \frac{12,9}{1,9} = 8,129$$

Tabel 4.3 Hasil perhitungan kecepatan gelombang datang

No	Lokasi	Periode gelombang datang (detik)		Panjang gelombang datang (meter)		Kecepatan gelombang datang (meter/detik)	
		A	B	A	B	A	B
1	Perairan utara Aceh	1,59	3,97	12,9	80,66	8,129	20,32
2	Perairan barat Aceh hingga Sumatera Utara	1,94	4,05	19,36	83,88	9,955	20,72
3	Perairan barat Sumatera Barat	2,25	4,2	25,81	90,33	11,5	21,51
4	Perairan barat Bengkulu hingga Lampung	2,25	4,89	25,81	122,6	11,5	25,05
5	Selat Sunda	1,94	4,63	19,36	109,7	9,955	23,7
6	Perairan selatan Banten hingga Jawa Barat	2,51	5,02	32,26	129	12,85	25,7
7	Perairan selatan Jawa Tengah	2,51	5,02	32,26	129	12,85	25,7
8	Perairan selatan Jatim	2,51	5,02	32,26	129	12,85	25,7
9	Perairan selatan Bali hingga NTB	2,25	4,35	25,81	96,79	11,5	22,26
10	Laut Sawu	2,25	4,2	25,81	90,33	11,5	21,51
11	Laut Timor	2,25	4,05	25,81	83,88	11,5	20,72
12	Selat Malaka	1,12	2,25	6,452	25,81	5,748	11,5
13	Laut Natuna	2,25	3,97	25,81	80,66	11,5	20,32
14	Selat Karimata	1,59	3,18	12,9	51,62	8,129	16,26
15	Perairan selatan Kalimantan	1,59	3,18	12,9	51,62	8,129	16,26
16	Perairan Kepulauan Seribu	1,59	3,18	12,9	51,62	8,129	16,26
17	Laut Jawa	1,94	3,89	19,36	77,43	9,955	19,91
18	Laut Bali	1,59	3,18	12,9	51,62	8,129	16,26
19	Laut Flores	1,59	3,55	12,9	64,52	8,129	18,18
20	Selat Makasar bagian Selatan	1,12	3,18	6,452	51,62	5,748	16,26
21	Perairan selatan Sulawesi	1,59	3,18	12,9	51,62	8,129	16,26
22	Laut Maluku	2,25	4,05	25,81	83,88	11,5	20,72
23	Laut Buru - Laut Seram	1,94	3,72	19,36	70,98	9,955	19,06
24	Laut Sulawesi	2,25	3,97	25,81	80,66	11,5	20,32
25	Perairan Kep. Sangihe Talaud	2,75	4,35	38,71	96,79	14,08	22,26
26	Laut Halmahera	2,25	3,97	25,81	80,66	11,5	20,32
27	Perairan utara Papua	2,25	3,97	25,81	80,66	11,5	20,32
28	Laut Banda	2,51	3,97	32,26	80,66	12,85	20,32
29	Perairan Kepulauan Aru	1,59	3,89	12,9	77,43	8,129	19,91
30	Laut Arafuru	3,18	5,02	51,62	129	16,26	25,7

keterangan :

λ = panjang gelombang [m]

v = kecepatan gelombang [m/s]

T = periode gelombang [s]

H = tinggi gelombang [m]

4.3 Analisis 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 $9,81 \text{ m/s}^2$, 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

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

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

Tabel 4.4 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

No	Lokasi	Potensi Energi gelombang laut Kondisi min (J)	Potensi Energi gelombang laut Kondisi maks (J)
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 3.5:

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

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

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 4.5 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 di atas wilayah Perairan Indonesia 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 Filipina 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 di atas 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. [11]

4.4 Analisis Perhitungan Daya pada Periode 19 – 26 April 2010

Berikutnya data pada tanggal 28 April hingga 5 Mei akan dibandingkan dengan data prakiraan tinggi gelombang laut periode 19 – 26 April 2010.

Tabel 4.6 Prakiraan rata-rata mingguan tinggi gelombang laut di wilayah Indonesia tanggal 19 – 26 April 2010 [12]

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	2 – 10	0.1 – 0.7	0.3 – 1.0	0 – 5 %
2	Perairan barat Aceh hingga Sumatera Utara	2 - 9	0.3 – 1.0	0.5 – 1.2	0 – 5 %
3	Perairan barat Sumatera Barat	3 - 10	0.3 – 1.1	0.5 – 1.2	0 – 5 %
4	Perairan barat Bengkulu hingga Lampung	3 - 12	0.3 – 1.2	0.5 – 1.6	0 – 5 %
5	Selat Sunda	4 - 11	0.2 – 1.3	0.4 – 1.8	0 – 5 %
6	Perairan selatan Banten hingga Jawa Barat	4 - 12	0.3 – 1.3	0.5 – 1.6	0 – 5 %
7	Perairan selatan Jawa Tengah	3 – 8	0.3 – 1.2	0.5 – 1.5	0 – 5 %
8	Perairan selatan Jatim	3 - 8	0.3 – 1.2	0.5 – 1.6	0 – 5 %
9	Perairan selatan Bali hingga NTB	3 - 14	0.2 – 1.2	0.4 – 2.0	0 – 5 %
10	Laut Sawu	5 - 21	0.4 – 2.0	0.6 – 2.7	0 – 5 %
11	Laut Timor	5 - 17	0.4 – 1.5	0.6 – 2.1	0 – 5 %
12	Selat Malaka	2 - 10	0.1 – 0.5	0.2 – 0.7	0 – 5 %
13	Laut Natuna	1 - 8	0.4 – 1.2	0.6 – 1.7	0 - 5 %
14	Selat Karimata	4 - 12	0.1 – 0.7	0.3 – 1.2	0 - 5 %
15	Perairan selatan Kalimantan	3 - 11	0.1 – 0.6	0.3 – 1.1	0 - 5 %
16	Perairan Kepulauan Seribu	3 - 10	0.1 – 0.6	0.3 – 1.1	0 - 5 %
17	Laut Jawa	3 - 13	0.1 – 1.0	0.2 – 1.4	0 - 5 %
18	Laut Bali	3 - 11	0.2 – 0.7	0.3 – 1.2	0 - 5 %
19	Laut Flores	4 - 17	0.3 – 1.3	0.5 – 2.2	0 - 5 %
20	Selat Makasar bagian Selatan	4 - 14	0.3 – 1.2	0.4 – 1.7	0 - 5 %
21	Perairan selatan Sulawesi	4 - 13	0.2 – 0.8	0.3 – 2.1	0 - 5 %
22	Laut Maluku	4 - 12	0.5 – 1.5	0.6 – 2.0	0 - 5 %
23	Laut Buru - Laut Seram	3 - 10	0.4 – 1.3	0.5 – 1.8	0 - 5 %
24	Laut Sulawesi	4 - 15	0.5 – 1.6	0.6 – 2.2	0 - 5 %
25	Perairan Kep. Sangihe Talaud	6 - 16	1.0 – 2.0	1.3 – 2.6	0 - 5 %
26	Laut Halmahera	4 - 11	0.8 – 1.8	1.0 – 2.3	0 - 5 %
27	Perairan utara Papua	3 - 10	0.6 – 1.4	0.7 – 2.0	0 - 5 %
28	Laut Banda	4 - 17	0.5 – 1.2	0.6 – 2.1	0 - 5 %
29	Perairan Kepulauan Aru	4 - 17	0.3 – 2.0	0.5 – 2.4	0 - 5 %
30	Laut Arafuru	4 - 17	0.5 – 1.5	0.7 – 2.1	0 - 5 %

Dengan langkah dan cara perhitungan yang sama pada pengolahan data tinggi gelombang laut periode 28 april hingga 5 mei, didapatkan hasil perhitungan daya yang dapat dibangkitkan sebagai berikut:

No	Lokasi	Potensi Energi gelombang laut (J)		Periode Gelombang (s)		Daya (Watt)	
		min	maks	min	maks	min	Maks
1	Perairan utara Aceh	391,1868	134177,0594	1,59	3,97	348,4623	45175,28
2	Perairan barat Aceh hingga Sumatera Utara	10562,04	391186,762	1,94	4,05	5431,9896	110193,5
3	Perairan barat Sumatera Barat	10562,04	520669,5802	2,25	4,2	5431,9896	139842
4	Perairan barat Bengkulu hingga Lampung	10562,04	675970,7247	2,25	4,89	5431,9896	173823,7
5	Selat Sunda	3129,494	859437,3161	1,94	4,63	1971,2004	212331,4
6	Perairan selatan Banten hingga Jawa Barat	10562,04	859437,3161	2,51	5,02	5431,9896	212331,4
7	Perairan selatan Jawa Tengah	10562,04	675970,7247	2,51	5,02	5431,9896	173823,7
8	Perairan selatan Jatim	10562,04	675970,7247	2,51	5,02	5431,9896	173823,7
9	Perairan selatan Bali hingga NTB	10562,04	675970,7247	2,25	4,35	5431,9896	173823,7
10	Laut Sawu	25035,95	3622780,603	2,25	4,2	11150,794	704213
11	Laut Timor	25035,95	1320255,322	2,25	4,05	11150,794	303657,5
12	Selat Malaka	391,1868	48898,34525	1,12	2,25	348,4623	19479,63
13	Laut Natuna	25035,95	675970,7247	2,25	3,97	11150,794	173823,7
14	Selat Karimata	391,1868	134177,0594	1,59	3,18	348,4623	45175,28
15	Perairan selatan Kalimantan	391,1868	84496,34059	1,59	3,18	348,4623	30727,97
16	Perairan Kepulauan Seribu	391,1868	84496,34059	1,59	3,18	348,4623	30727,97
17	Laut Jawa	391,1868	391186,762	1,94	3,89	348,4623	110193,5
18	Laut Bali	3129,494	134177,0594	1,59	3,18	1971,2004	45175,28
19	Laut Flores	10562,04	859437,3161	1,59	3,55	5431,9896	212331,4
20	Selat Makasar bagian Selatan	10562,04	675970,7247	1,12	3,18	5431,9896	173823,7
21	Perairan selatan Sulawesi	3129,494	200287,6221	1,59	3,18	1971,2004	63078,41
22	Laut Maluku	48898,35	1320255,322	2,25	4,05	19479,635	303657,5
23	Laut Buru - Laut Seram	25035,95	859437,3161	1,94	3,72	11150,794	212331,4
24	Laut Sulawesi	48898,35	1602300,977	2,25	3,97	19479,635	356825,4
25	Perairan Kep. Sangihe Talaud	391186,8	3129494,096	2,75	4,35	110193,45	623348,3
26	Laut Halmahera	200287,6	2281401,196	2,25	3,97	63078,414	479001,7
27	Perairan utara Papua	84496,34	1073416,475	2,25	3,97	30727,974	255550

28	Laut Banda	48898,35	675970,7247	2,51	3,97	19479,635	173823,7
29	Perairan Kepulauan Aru	10562,04	3129494,096	1,59	3,89	5431,9896	623348,3
30	Laut Arafuru	48898,35	1320255,322	3,18	5,02	19479,635	303657,5

Dari hasil perhitungan di atas, dapat dilihat bahwa, pada kondisi minimum daya terkecil yang dapat dibangkitkan adalah sebesar 348,4623 Watt, yaitu di daerah perairan utara Aceh, Selat Malaka, Salat Karimata, Perairan Selatan Kalimantan, Perairan Kepulauan Seribu dan Laut Jawa. Sementara daya terbesar yang dapat dihasilkan yaitu sekitar 110193,45 Watt yaitu di wilayah perairan Kepulauan Sangihe Talaud.

Pada kondisi maksimum, daya terkecil yang dapat dibangkitkan adalah sebesar 19479,63 Watt di Selat Malaka. Sedangkan daya terbesar yang dapat dihasilkan sebesar 704213 Watt di daerah Laut Sawu.

Dari Citra Satelit terlihat adanya Daerah Tekanan Rendah pada posisi di Samudera Hindia Selatan Enggano dan di Samudera Hindia Selatan Bali. Angin di atas wilayah Perairan Indonesia, daerah Utara Khatulistiwa umumnya bertiup dari arah Timur Laut sampai Barat Daya dan daerah Selatan Khatulistiwa umumnya bertiup dari Timur sampai Selatan, dengan kecepatan angin berkisar antara 3 sampai 25 knot. [11]

4.5 Potensi Kontribusi Aplikasi PLTGL *Oscillating Water Column* pada Pemukiman Sederhana Tepi Pantai

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.

BAB 5

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%.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Kadek Fendy Sutrisna, Ardha Pradikta Rahardjo. "Pembangkit Listrik Masa Depan Indonesia." Laboratorium Konversi Energi Listrik Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung, Februari, 2009.
- [2] Joseph Weisberg, Howard Parish. "Introductory Oceanography." _____
- [3] 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.
- [4] _____. "Powerplant Technology, Energy From The Ocean"
- [5] Budi Murdani. "Analisa Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Sistem *Oscillating Water Column* di Pantai Baron Yogyakarta." Jakarta, 2008.
- [6] <http://www.alpensteel.com/article/52-106-energi-laut-ombakgelombangarus/3621--pemanfaatan-energi-ombak.html>
- [7] Dan, "Shark & Tuna Inspired Power Generation." <http://www.envirogadget.com/alternative-energy/shark-tuna-inspired-power-generation/>, Juli, 2008
- [8] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, "Prakiraan Rata-rata Mingguan Tinggi Gelombang Laut di Wilayah Indonesia Berlaku Tanggal 28 April – 5 Mei 2010"
- [9] Kim Nielsen, "On the Performance of Wave Power Converter." Int. Sym. Util. of Ocean Waves, Jun-86
- [10] David Ross, "Energy From The Waves." 2nd Edition Revised & Enlarged, Pergamon Press, 1980
- [11] <http://www.dkp.go.id/index.php/ind/news/2623/berita-prakiraan-cuaca-maritim-untuk-pelayaran>
- [12] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, "Prakiraan Rata-rata Mingguan Tinggi Gelombang Laut di Wilayah Indonesia Berlaku Tanggal 19 – 26 April 2010"