

# STUDI POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA OMBAK TIPE *OSCILLATING WATER COLUMN* DI PERAIRAN PULAU SEMPU KABUPATEN MALANG

Alfan Rizal Ubaidillah<sup>1</sup>, Soemarwanto, Ir., MT.<sup>2</sup>, Hery Purnomo, Ir., MT.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Teknik Elektro, <sup>2-3</sup>Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya  
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia  
E-mail: alfan.ubaidillah@gmail.com

**Ringkasan-** Konversi Energi Gelombang Laut tipe OWC telah banyak diminati oleh para peneliti karena pertimbangan penempatan lokasi yaitu PLTO tipe OWC dapat di tempatkan di daratan yang berada di tepi laut sehingga memudahkan dalam akses pengoperasian, perawatan dan penyaluran daya listrik yang dihasilkan. Pertimbangan dasar lainnya karena tipe OWC tidak memiliki komponen konstruksi yang bergerak dibawah air laut yang sangat korosiv.

Untuk mengetahui potensi pembangkit listrik tenaga ombak tipe owc jika diterapkan di pulau sempu maka dilakukan perhitungan dan simulasi berdasarkan data-data ombak di pulau sempu. Pada penelitian ini menggunakan percobaan model dengan bantuan software AutoCAD dan Ansys CFD.

Hasil dari perhitungan dan simulasi tersebut didapatkan perkiraan nilai daya listrik yang dapat dibangkitkan oleh pembangkit listrik tipe owc di pulau sempu dengan nilai daya rata-rata tertinggi sebesar 4.009,68 kW dan yang terendah sebesar 1.989,56 kW .

Kata kunci : pembangkit listrik tenaga ombak, *Oscillating water column*, pulau sempu.

## I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kelautan terbesar di dunia, Luas laut Indonesia mencapai 5,8 juta km<sup>2</sup> 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.

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, meningkatkan profesionalisme sumber daya manusia, terciptanya lapangan kerja, dan terjaganya kelestarian fungsi lingkungan hidup.

Pulau Sempu adalah sebuah pulau kecil yang terletak di sebelah selatan Pulau Jawa. Pulau ini berada dalam wilayah Kabupaten Malang Jawa

Timur. Saat ini Sempu merupakan kawasan cagar alam yang dilindungi oleh pemerintah. Dalam pulau ini nyaris tidak ditemukan mata air payau. Secara geografis, Pulau Sempu terletak di antara 112° 40' 45" - 112° 42' 45" bujur timur dan 8° 27' 24" - 8° 24' 54" lintang selatan. Pulau itu memiliki luas sekitar 877 hektar, berbatasan dengan Selat Sempu (Sendang Biru) dan dikelung Samudera Hindia di sisi selatan, Timur dan Barat. Pulau sempu dipilih sebagai lokasi yang cukup potensial karena berhadapan langsung dengan samudera hindia dan daerah ini tidak berhadapan dengan pulau yang dapat mengurangi energy yang terkandung dalam gelombang. Berdasarkan data yang didapat ketinggian ombak di pesisir selatan pulau sempu dapat mencapai tinggi 5,1 meter.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 1. Teknik konversi Energi Kelautan Menjadi Energi Listrik

Pada dasarnya prinsip kerja teknologi yang mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik adalah mengakumulasi energi gelombang laut untuk memutar turbin generator. Ada tiga cara membangkitkan energi listrik dengan tenaga gelombang laut: [6]

#### a. Energi Gelombang

Energi kinetik yang terkandung pada gelombang laut di gunakan untuk menggerakkan turbin.

#### b. Pasang Surut Air Laut

Ketika pasang datang ke pantai, air pasang di tampung di dalam reservoir. Kemudian ketika air surut, air di belakang reservoir dapat dialirkan seperti pada PLTA biasa.

#### c. Pemanfaatan Perbedaan Temperatur Air Laut

Untuk membangkitkan listrik dengan perbedaan temperatur laut adalah dengan memanfaatkan perbedaan suhu di laut. Suhu yang lebih tinggi pada permukaan laut di sebabkan sinar matahari memanasi permukaan laut.

Ada bermacam-macam metode yang dapat di gunakan untuk pemanfaatan gelombang laut sebagai penghasil energi listrik, diantaranya adalah :[8]

- Anaconda Bulge Wave System*
- Oyster Hydraulic Piston System*
- Attenuator Pelamis System*
- Oscillating Water Column*
- Archimedes Wave Swing System*
- Wave Dragon*

## 2. Gelombang laut

Gelombang sebenarnya yang terjadi di alam adalah sangat kompleks dan tidak dapat dirumuskan dengan akurat. Akan tetapi dalam mempelajari fenomena gelombang yang terjadi di alam dilakukan beberapa asumsi sehingga muncul beberapa teori gelombang. Akan tetapi dalam penelitian ini hanya akan dibahas mengenai teori gelombang amplitudo kecil. Teori gelombang ini merupakan teori gelombang yang paling sederhana karena merupakan teori gelombang linier. Untuk menghitung daya ombak yang masuk pembangkit menggunakan persamaan : [4]

$$P_w = \frac{1}{2T} \rho g a^2 W \quad (1)$$

dengan :  $w$  = lebar ombak

$\rho$  = berat jenis air (1030 kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = gravitasi bumi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$a$  = amplitudo gelombang (H/2)

$H$  = Tinggi gelombang

$T$  = periode gelombang

Untuk menghitung cepat rambat gelombang dan panjang gelombang menggunakan persamaan : [7]

$$C = \frac{gT}{2\pi} \quad (2)$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (3)$$

Persamaan 2 merupakan persamaan cepat rambat gelombang dan Persamaan 3 merupakan persamaan panjang gelombang.

Pada penelitian ini data ombak yang digunakan adalah data ketinggian ombak pada bagian selatan Pulau Sempu Kabupaten Malang, data ombak tersebut mencakup data ketinggian ombak dan juga periode ombak. Adapun sumber data tersebut adalah dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Stasiun Meteorologi Maritim Perak Surabaya. [9]

Tabel 1. Data ombak Pulau Sempu

Bulan	Hmax(m)	Periode(s)	Hmin (m)	Periode(s)
Januari	5,1	4,7	0,9	4,8
Februari	3,4	4,6	0,7	4,7
Maret	2,7	4,9	0,1	4,8
April	1,7	4,5	0,6	5,3
Mei	1,6	5,5	0,5	5,3
Juni	1,6	5,5	0,9	5,3
Juli	2,8	5,7	1,0	5,6
Agustus	2,2	6,0	1,0	6,3
September	2,1	5,4	0,4	5,6
Oktober	1,9	4,7	0,3	4,7
November	1,3	4,7	0,5	4,8
Desember	3,1	4,6	1,1	4,6

Sumber : Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

## 3. PLTO tipe oscillating water column

Dari beberapa jenis WEC (Wave Energi Converter) tipe Oscillating Water Column adalah tipe WEC yang paling populer. PLTO tipe Oscillating water column mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan teknologi PLTO tipe lainnya. Yang pertama adalah teknologinya yang simpel, yaitu dengan memanfaatkan fluktuasi ombak

yang masuk kedalam kolektor untuk menghasilkan energi sebagai pemutar turbin, yang kedua adalah biaya perawatan yang relatif rendah. Jika dibandingkan dengan PLTO tipe lainnya. Yang ketiga adalah kemudahan akses situs dan juga distribusi daya yang dihasilkan.

Sistem pembangkit listrik tersebut terdiri dari air collector chamber berisi udara yang berfungsi untuk menggerakkan turbin, kolom tempat air bergerak naik dan turun melalui saluran yang berada di bawah ponton dan turbin yang terhubung dengan generator. Gerakan air naik dan turun yang seiring dengan gelombang laut menyebabkan udara mengalir melalui saluran menuju turbin. Turbin tersebut didesain untuk bisa bekerja dengan generator putaran dua arah.

## 4. Komponen dasar PLTO tipe OWC

### A. Kolektor

Kolektor adalah bangunan yang berfungsi untuk mengumpulkan ombak sebanyak-banyaknya, kemudian memfokuskan pada konverter. Berdasarkan fungsinya maka bentuk dari kolektor adalah menjorok ke lautan lepas.

Dari data yang diperoleh yaitu ketinggian ombak periode ombak dan lebar kolom kolektor dapat di hitung besarnya daya yang masuk ke dalam kolektor yaitu dengan menggunakan persamaan (1).

Pada kolektor terdapat lubang *oriface* yang menghubungkan kolektor dengan turbin angin. Pada *oriface* terdapat gaya dan tekanan angin yang digunakan untuk memutar turbin angin.

### B. Turbin angin

Turbin angin pada OWC berfungsi merubah tekanan udara yang dihasilkan oleh kolektor menjadi energi gerak. Prinsip kerja dari turbin angin adalah mengubah energi mekanis dari tekanan udara menjadi energi putar pada turbin, lalu putaran turbin digunakan untuk memutar generator yang akhirnya menghasilkan energi listrik. Umumnya daya efektif yang dapat dihasilkan oleh turbin angin hanya sebesar 20%-30%.

Parameter turbin angin yang digunakan adalah :

Tabel 2. Parameter turbin angin

Turbine Diameter	2.6 m
Nominal Operating Speed	1050 rpm
Number of Turbines	2
Arrangement	In Line Contra-rotating
Blade Form	NACA0012
Number of Blades	7
Blade Chord	320mm
Hub to Tip Ratio	0.62

Sumber : Publishable Report of Islay LIMPET Wave Power Plant

Untuk menghitung daya pada turbin pembangkit membutuhkan nilai gaya dan tekanan angin pada oriface kolektor serta torsi dari turbin. Gaya dan tekanan angin pada oriface didapatkan dari hasil uji coba model menggunakan software CFD. Untuk menghitung torsi turbin digunakan rumusan : [4]

$$Q = F \times l \quad (4)$$

dengan : Q : torsi turbin  
F : Gaya pada orifice  
l : jari-jari turbin

Untuk menghitung besarnya daya yang dihasilkan turbin dengan persamaan : [5]

$$Pt = \omega Q = 2\pi nQ \quad (5)$$

dengan : Pt : daya yang dihasilkan turbin  
Q : torsi turbin  
n : putaran turbin

### C. Generator

Konversi energi elektromagnetik yaitu perubahan energi dari bentuk mekanik ke bentuk listrik dan bentuk listrik ke bentuk mekanik. Generator sinkron (alternator) merupakan jenis mesin listrik yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan bolak-balik dengan cara mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Energi mekanis diperoleh dari putaran rotor yang digerakkan oleh penggerak mula (*prime mover*), sedangkan energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan stator dan rotornya.

Adapun prinsip kerja dari generator sinkron secara umum adalah sebagai berikut :

1. Kumparan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi tertentu yang akan mensuplai arus searah terhadap kumparan medan. Dengan adanya arus searah yang mengalir melalui kumparan medan maka akan menimbulkan fluks yang besarnya terhadap waktu adalah tetap.
2. Penggerak mula (Prime Mover) yang sudah terkopel dengan rotor segera dioperasikan sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominalnya.
3. Perputaran rotor tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor, akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar yang terletak di stator akan dihasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu.

### 5. Perhitungan perkiraan daya listrik yang dibangkitkan

Untuk menentukan besarnya potensi daya listrik yang dapat di bangkitkan oleh PLTO tipe OWC di Pulau Sempu adalah dengan mengetahui daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin angin sebagai penggerak rotor generator. Daya mekanik yang dihasilkan turbin angin digunakan sebagai dasar acuan pemilihan generator. Setelah didapatkan spesifikasi dan efisiensi generator, maka dilakukan perhitungan daya listrik yang dapat dibangkitkan oleh PLTO dengan persamaan :

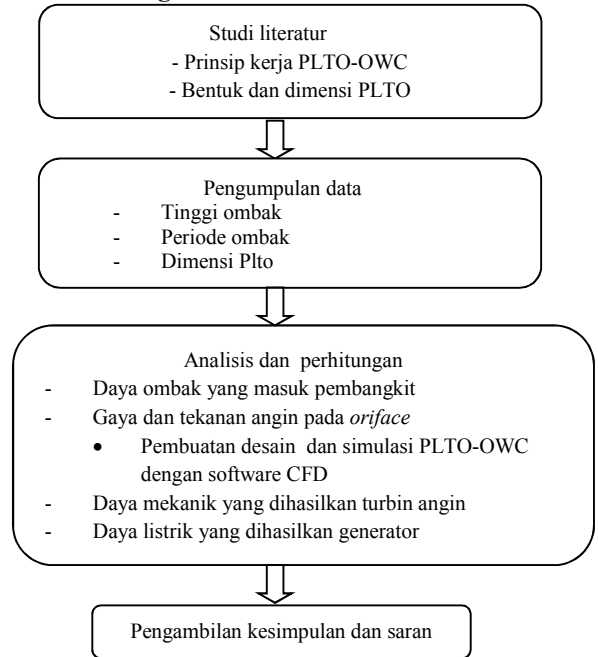
$$P_g = P_t \times \eta_{generator}$$

dengan :

$P_g$  : daya listrik yang dibangkitkan generator (W)  
 $P_t$  : daya mekanik yang dihasilkan turbin angin (W)  
 $\eta_{generator}$  : efisiensi generator

## III. Metode Penelitian

### 1. Kerangka Utama



### 2. Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi data primer dan sekunder, adapun data primer yang diperlukan meliputi data ketinggian ombak dan periode ombak yang terjadi di perairan pulau sempu. Sedangkan data sekunder meliputi data dimensi pembangkit listrik tenaga ombak tipe OWC yang sudah beroperasi di luar negeri dan juga data gaya yang terjadi pada konverter pembangkit. Untuk data gaya pada konverter didapat dari hasil simulasi desain menggunakan CFD

### 3. Analisis dan perhitungan

Dari data ketinggian dan periode ombak dilakukan perhitungan untuk mengetahui besarnya daya ombak yang masuk kedalam pembangkit. Perhitungan gaya dan tekanan angin menggunakan bantuan simulasi *Computational fluid Dynamic*. Data gaya dan tekanan angin digunakan untuk menghitung daya mekanik yang dihasilkan turbin. Daya turbin digunakan untuk menentukan spesifikasi dan efisiensi generator sehingga dapat diketahui daya listrik yang dihasilkan generator.

### 4. Penutup

Berdasarkan data dari hasil perhitungan, hasil simulasi dan pembahasan maka ditarik kesimpulan. Saran dapat ditambahkan untuk pengembangan dan penelitian selanjutnya.

## IV. Analisis Potensi Plto

### 1. Perhitungan daya ombak

Untuk menghitung besarnya daya ombak yang masuk ke pembangkit maka diperlukan data ketinggian, periode dan lebar kolom PLTO

Untuk tinggi ombak  $H = 5.1$  m dan periode  $T = 4.7$ s dengan lebar kolom  $3 \times 4$  meter didapatkan daya ombak yang masuk pembangkit :

$$P_w = \frac{1}{2T} \rho g a^2$$

$$P_w = \frac{1}{2 \times 4.7} \times 12 \times 1030 \times 9,81 \times 2.55^2 = 1.852.830 \text{ Watt}$$

Berikut adalah tabel hasil perhitungan daya ombak yang masuk pada kolektor:

Tabel 3. Hasil perhitungan daya ombak pada kolom 3x4 meter

Bulan	H (meter)	T (detik)	a (meter)	Lebar Ombak (m)	Pw (W)
Januari	5,1	4,7	2,55	4	1.852.830
Februari	3,4	4,6	1,7	4	805.959
Maret	2,7	4,9	1,35	4	541.401
April	1,7	4,5	0,85	4	197.109
Mei	1,6	5,5	0,8	4	213.402
Juni	1,6	5,5	0,8	4	213.402
Juli	2,8	5,7	1,4	4	677.310
Agustus	2,2	6,0	1,1	4	440.142
September	2,1	5,4	1,05	4	360.933
Oktober	1,9	4,7	0,95	4	257.157
November	1,3	4,7	0,65	4	120.387
Desember	3,1	4,6	1,55	4	670.005

Tabel 4. Hasil perhitungan daya ombak pada kolom 6 meter

Bulan	H (meter)	T (detik)	a (meter)	Lebar Ombak (m)	Pw (W)
Januari	5,1	4,7	2,55	6	2.779.245
Februari	3,4	4,6	1,7	6	1.208.937
Maret	2,7	4,9	1,35	6	812.105
April	1,7	4,5	0,85	6	295.662
Mei	1,6	5,5	0,8	6	320.103
Juni	1,6	5,5	0,8	6	320.103
Juli	2,8	5,7	1,4	6	1.015.995
Agustus	2,2	6,0	1,1	6	660.213
September	2,1	5,4	1,05	6	541.401
Oktober	1,9	4,7	0,95	6	385.737
November	1,3	4,7	0,65	6	180.579
Desember	3,1	4,6	1,55	6	1.005.009

Tabel 5. Hasil perhitungan daya ombak pada kolom 8 meter

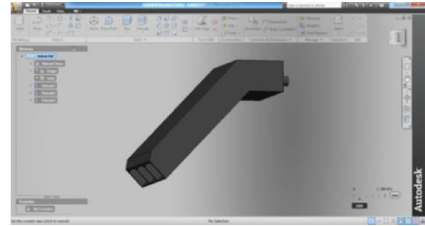
Bulan	H (meter)	T (detik)	a (meter)	Lebar Ombak (m)	Pw (W)
Januari	5,1	4,7	2,55	8	3.705.660
Februari	3,4	4,6	1,7	8	1.611.918
Maret	2,7	4,9	1,35	8	1.082.805
April	1,7	4,5	0,85	8	394.218
Mei	1,6	5,5	0,8	8	426.804
Juni	1,6	5,5	0,8	8	426.804
Juli	2,8	5,7	1,4	8	1.354.620
Agustus	2,2	6,0	1,1	8	880.284
September	2,1	5,4	1,05	8	721.869
Oktober	1,9	4,7	0,95	8	514.317
November	1,3	4,7	0,65	8	240.774
Desember	3,1	4,6	1,55	8	1.340.010

2. Perhitungan gaya dan tekanan angin

a. Perancangan Desain PLTO Menggunakan Software AutoCAD Inventor

Pada penelitian ini desain yang digunakan sebagai referensi adalah desain PLTO Limpet,Uk. Perancangan desain berupa gambar 3 dimensi yang diproses menggunakan software AutoCAD Inventor. Software ini sudah mendukung hasil olahan grafis yang dapat langsung diproses sebagai input Computational Fluid Dynamics. Pada proses ini data masukan yang berupa ukuran PLTO menggunakan data dimensi PLTO Limpet.

Berikut adalah gambar hasil perancangan model PLTO menggunakan aplikasi AutoCAD Inventor untuk variabel luas kolom 6x6 meter:



Gambar 1. desain PLTO dengan lebar kolom 6x6m

b. Computational Fluid Dynamic

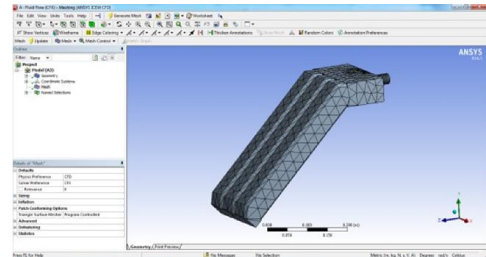
Secara umum proses penghitungan CFD terdiri atas 3 bagian utama :

- a. Pre-processor
- b. Processor
- c. Post-processor

A. Pre-processor

Adapun langkah-langkah dalam proses ini adalah sebagai berikut :

1. Membuka Workbench aplikasi AnsysCFD.
2. Mengimpor file desain yang telah dibuat di AutoCAD Inventor kedalam workbench Ansys.
3. Proses pengolahan geometri.
4. Langkah selanjutnya adalah proses meshing. Pada tahap ini benda atau ruang yang akan dianalisa dibagi-bagi dengan jumlah grid tertentu.



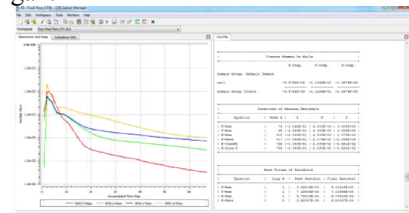
Gambar 2. proses meshing desain

B. Processor

Pada tahap ini dilakukan proses penghitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif. Artinya perhitungan dilakukan hingga hasil menuju error terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen.

Nilai input yang dijadikan masukkan adalah kecepatan rambat ombak, sedangkan nilai output adalah nilai tekanan angin pada oriface.

Setelah memasukkan nilai input dan output yang diinginkan, langkah selanjutnya adalah menjalankan penghitungan.



Gambar 3. proses running dan solving

C. Post-processor

Tahap akhir merupakan tahap postprocessor dimana hasil perhitungan diinterpretasikan kedalam

gambar agar didapatkan interpretasi hasil perhitungan yang jelas yaitu dengan memasukkan kontur yang ingin diamati.

1. Hasil simulasi

Setelah proses simulasi selesai, maka didapatkan nilai tekanan angin yang terdapat pada konverter. Data tekanan angin ini selanjutnya di hitung untuk mendapatkan nilai gaya (F) yang akan dijadikan input untuk mendapatkan nilai torsi turbin. Untuk mencari nilai gaya (F) maka digunakan persamaan :  $f = \text{tekanan (Pa)} \times \text{Luas (m}^2\text{)}$

Pada penelitian ini luas permukaan turbin angin yang digunakan adalah sebesar 5,2 m<sup>2</sup>.

Dibawah ini adalah tabel hasil simulasi dan juga nilai gaya yang terjadi pada oriface :

Tabel 6. Hasil Simulasi Ukuran Kolom 4x4 Meter

Bulan	Hmax (m)	Tmax (s)	Kecepatan (m/s)	Tekanan (Pa)	Gaya (N)
Januari	5,1	4,7	7,31	40,92	216,87
Februari	3,4	4,6	7,17	39,51	209,40
Maret	2,7	4,9	7,63	44,5	235,85
April	1,7	4,5	7,02	37,76	200,12
Mei	1,6	5,5	8,58	56,25	298,12
Juni	1,6	5,5	8,58	56,25	298,12
Juli	2,8	5,7	8,89	60,04	318,21
Agustus	2,2	6,0	9,35	66,47	352,29
September	2,1	5,4	8,42	54,14	286,94
Oktober	1,9	4,7	7,31	40,92	216,87
November	1,3	4,7	7,31	40,92	216,87
Desember	3,1	4,6	7,17	39,51	209,40

Tabel 7. Hasil Simulasi Ukuran Kolom 6x6 Meter

Bulan	Hmax (m)	Tmax (s)	Kecepatan (m/s)	Tekanan (Pa)	Gaya (N)
Januari	5,1	4,7	7,31	179,11	949,28
Februari	3,4	4,6	7,17	178,26	944,77
Maret	2,7	4,9	7,63	197,48	1046,64
April	1,7	4,5	7,02	153,36	812,80
Mei	1,6	5,5	8,58	267,13	1415,78
Juni	1,6	5,5	8,58	267,13	1415,78
Juli	2,8	5,7	8,89	267,04	1415,31
Agustus	2,2	6,0	9,35	317,8	1684,34
September	2,1	5,4	8,42	232,42	1231,82
Oktober	1,9	4,7	7,31	179,11	949,28
November	1,3	4,7	7,31	179,11	949,28
Desember	3,1	4,6	7,17	178,26	944,77

Tabel 8. Hasil Simulasi Ukuran Kolom 8x8 Meter

Bulan	Hmax (m)	Tmax (s)	Kecepatan (m/s)	Tekanan (Pa)	Gaya (N)
Januari	5,1	4,7	7,31	164,91	874,02
Februari	3,4	4,6	7,17	154,52	818,95
Maret	2,7	4,9	7,63	190,75	1010,97
April	1,7	4,5	7,02	150,49	797,59
Mei	1,6	5,5	8,58	265,15	1405,29
Juni	1,6	5,5	8,58	265,15	1405,29
Juli	2,8	5,7	8,89	265,08	1404,92
Agustus	2,2	6,0	9,35	316,33	1676,54
September	2,1	5,4	8,42	231,65	1227,74
Oktober	1,9	4,7	7,31	164,91	874,02
November	1,3	4,7	7,31	164,91	874,02
Desember	3,1	4,6	7,17	154,52	818,95

3. Perhitungan daya turbin

Untuk perhitungan daya yang dihasilkan turbin, dibutuhkan nilai gaya yang terdapat pada konverter dan luas penampang turbin.

Dengan tinggi ombak H =5,1 m dan periode T = 4,7s dan lebar kolom 4 meter, berdasarkan hasil simulasi didapatkan nilai gaya sebesar 216,87 N. dengan jari-jari turbin turbin 1,3 m didapatkan nilai torsi :  $Q = F \times l$

$$= 218,67 \times 1,3 = 281,93 \text{ Nm}$$

Setelah diketahui besarnya torsi yang dihasilkan turbin, kita dapat menghitung besarnya daya yang dihasilkan turbin dengan persamaan :

$$Pt = \omega Q = 2\pi nQ$$

$$= 2 \times 3,14 \times 1050 \times 281,93$$

$$= 1.859 \text{ kW}$$

Berikut adalah Tabel hasil perhitungan daya mekanik yang dihasilkan turbin angin

Tabel 9. Hasil perhitungan daya turbin pada kolom ukuran 4meter

Bulan	H (m)	T (s)	n Turbin (rpm)	Torsi(Nm)	P <sub>t</sub> (kW)
Januari	5,1	4,7	1050	281,93	1.859
Februari	3,4	4,6	1050	272,22	1.795
Maret	2,7	4,9	1050	306,60	2.021
April	1,7	4,5	1050	260,15	1.715
Mei	1,6	5,5	1050	387,55	2.555
Juni	1,6	5,5	1050	387,55	2.555
Juli	2,8	5,7	1050	413,67	2.727
Agustus	2,2	6,0	1050	457,97	3.019
September	2,1	5,4	1050	373,02	2.459
Oktober	1,9	4,7	1050	281,93	1.859
November	1,3	4,7	1050	281,93	1.859
Desember	3,1	4,6	1050	272,22	1.795

Tabel 10. Hasil perhitungan daya turbin pada kolom ukuran 6 meter

Bulan	H (m)	T (s)	n Turbin (rpm)	Torsi(Nm)	P <sub>t</sub> (kW)
Januari	5,1	4,7	1050	1234,06	8.137
Februari	3,4	4,6	1050	1228,20	8.098
Maret	2,7	4,9	1050	1360,63	8.971
April	1,7	4,5	1050	1056,64	6.967
Mei	1,6	5,5	1050	1840,51	12.136
Juni	1,6	5,5	1050	1840,51	12.136
Juli	2,8	5,7	1050	1839,90	12.132
Agustus	2,2	6,0	1050	2037,91	13.438
September	2,1	5,4	1050	1601,36	10.559
Oktober	1,9	4,7	1050	1234,06	8.137
November	1,3	4,7	1050	1234,06	8.137
Desember	3,1	4,6	1050	1228,20	8.098

Tabel 11. Hasil perhitungan daya turbin pada kolom ukuran 8 meter

Bulan	H (m)	T (s)	n Turbin (rpm)	Torsi(Nm)	P <sub>t</sub> (kW)
Januari	5,1	4,7	1050	1136,22	7.492
Februari	3,4	4,6	1050	1051,63	6.934
Maret	2,7	4,9	1050	1314,26	8.666
April	1,7	4,5	1050	1036,86	6.837
Mei	1,6	5,5	1050	1826,87	12.046
Juni	1,6	5,5	1050	1826,87	12.046
Juli	2,8	5,7	1050	1826,39	12.043
Agustus	2,2	6,0	1050	2089,50	13.779
September	2,1	5,4	1050	1596,06	10.524
Oktober	1,9	4,7	1050	1136,22	7.492
November	1,3	4,7	1050	1136,22	7.492
Desember	3,1	4,6	1050	1051,63	6.934

Dari Tabel 9,10, dan 11 diketahui daya maksimum yang dihasilkan turbin sebesar 13779 kW dengan lebar kolom 8 meter. Daya efektif turbin angin adalah 30% dari daya maksimum, sehingga daya efektif turbin angin adalah sebesar 4133,7 kW

4. Perhitungan daya listrik yang dibangkitkan

Setelah daya mekanik yang dihasilkan turbin diketahui, maka digunakan untuk menentukan spesifikasi generator yang sesuai untuk PLTO, dari data yang didapat, daya maksimum yang dihasilkan generator adalah sebesar 4311,3 kW sehingga

generator yang sesuai untuk PLTO adalah sebagai berikut :

Tabel 12. Spesifikasi generator sinkron

Alternator brand	AVK
Alternator type	DIG 150 m/6
Rated power (kW/kVA)	4160/5200
Power factor (Cos Phi)	0.8
Speed (rpm)	1000
Number of pole	6
Frequency (Hz)	50
Rated current (A)	909.8
Efficiencies 4/4 load (%)	97

Dari spesifikasi pada tabel 12 diketahui efisiensi generator adalah sebesar 97% sehingga daya listrik maksimum yang dihasilkan generator PLTO tipe OWC di Pulau Sempu adalah :

$$\begin{aligned}
 P_{g \max} &= P_{t \max} \times \eta_{\text{generator}} \\
 &= 4133,7 \times 97\% = 4009,68 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

## V. Penutup

### A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin tinggi ombak dan lebar kolom maka daya ombak yang masuk ke pembangkit juga semakin besar.
2. Berdasarkan hasil simulasi dengan luas kolom 4m, 6m dan 8m diketahui nilai tekanan angin pada *oriface* tertinggi adalah 303,28 Pa pada luas kolom 8meter. Semakin besar kolom kolektor maka nilai tekanan angin pada *oriface* semakin besar.
3. Untuk menentukan besarnya daya listrik yang dapat dibangkitkan oleh PLTO tipe OWC adalah dengan mengetahui besarnya daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin angin sehingga dapat ditentukan spesifikasi dan efisiensi generator untuk PLTO. 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.

### B. Saran

Dari hasil penelitian, disarankan untuk dapatnya dilakukan dalam penelitian selanjutnya :

1. Mengembangkan penelitian pada daerah perairan yang memiliki ketinggian dan periode ombak yang lebih merata pada setiap waktu.
2. Mengembangkan penelitian untuk meningkatkan efisiensi pada komponen-komponen PLTO tipe OWC.
3. Meneliti lebih jauh tentang energi terbarukan khususnya energi kelautan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. 2002. "Publisahable report Islay Limpet Wave Power Plant". Queen University of Belfast.
- [2] Graeme Mackie.2004. "Wavepower an Operator Experience".Seatech Week. Wavegen
- [3] Eugene C Lister. 1988. "Mesin dan Rangkaian Listrik" Edisi keenam, Terjemahan Ir. Drs. Hanapi Gunawan. Jakarta : Penerbit Erlangga
- [4] Istikomah, 2005, "Wave Energy Conversion and Experimental Work Using Wells Turbine", *Skripsi* Tidak Diterbitkan. Surabaya : Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS, 2005
- [5] Arseto Rahadyawan. 2009. "Studi Pembangkit Listrik Energi Ombak Tipe Oscillating Water Column". *Skripsi* Tidak Diterbitkan. Surabaya : Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS, 2009
- [6] Siti Rahma Utami, 2010, "Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Dengan Menggunakan Sistem OWC Di Tiga Puluh Wilayah Kelautan Indonesia", Teknik Elektro FT-UI, Depok.
- [7] Ahmad Zakaria, 2009, " Dasar Teori dan Aplikasi Program Interaktif berbasis Web untuk menghitung Panjang Gelombang dan Pasang Surut", Magister Teknik Sipil Universitas Lampung, Bandar Lampung
- [8] Ahmad Hasnan, "Pengenalan Potensi Arus Laut Sebagai Energi Terbarukan Dan Berkelanjutan Di Indonesia" , Open Knowledge And Education, www.oke.or.id.
- [9] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, "Data Perairan Pulau Sempu 2013"

