

ANALISA BENTUK *OSCILLATING WATER COLUMN* UNTUK PEMANFAATAN GELOMBANG LAUT SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN DENGAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD)*

Mita Buwana Noor Royyana¹, Untung Budiarto¹, Good Rindho¹

¹Jurusan S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email : buwanamita@gmail.com

Abstrak

Permasalahan energi bagi kelangsungan hidup manusia merupakan masalah besar yang dihadapi oleh hampir seluruh negara di dunia ini termasuk Indonesia. Penggunaan energi fosil di Indonesia masih mendominasi dibandingkan energi terbarukan. Padahal potensi energi alternatif dan ramah lingkungan di Indonesia dapat dimaksimalkan, misalnya energi gelombang laut. Pada penelitian ini difokuskan pada analisa model bentuk *oscillating water column* dan mengenai besarnya daya yang dihasilkan gelombang laut menggunakan teknologi OWC (Oscillating Water Column). Untuk mengetahui potensi tenaga gelombang laut tipe owc jika diterapkan di pantai Siung Yogyakarta maka dilakukan perhitungan dan simulasi berdasarkan data-data ombak di pantai Siung. Pada penelitian ini menggunakan percobaan model dengan bantuan software CFD. CFD (*Computational Fluid Dynamic*) adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dengan menyelesaikan persamaan matematika/numerik dinamika fluida. Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan menggunakan CFD dari 3 model balok, piramida dan silinder didapatkan 1 model dengan nilai daya terbesar yaitu model piramida lebar kolom 4 meter menghasilkan 197,53 kilowatt. Dari hasil simulasi didapatkan perkiraan nilai daya rata rata tertinggi pada model piramida sebesar 97,30 kilowatt

Kata kunci : *oscillating water column*, gelombang laut, CFD.

Abstract

energy issues for human survival is the major problem for most countries including Indonesia. fossil energy use still dominated that renewable energy, while alternative energy potency and environmental friendly could maximized, such as ocean wave energy. this research focused on the analysis of oscillating water column model and the amount of power generated by ocean waves using OWC (Oscillating Water Column) technology. some calculation and simulation based on data of Siung Beach waves is needed to determine the potency of ocean waves if applied to Siung Beach in Yogyakarta. this research used the experimental models with CFD software. CFD (Computational Fluid Dynamics) is the study of how to predict fluid flow, heat transfer, and chemical reactions by completing mathematical equations or numerical fluid dynamics. Based on the analysis and calculation using CFD from 3 models of block, pyramids and cylinders found 1 model with the largest power value that pyramid model column width is 4 meters that could generate 197.53 kilowatts. based on simulation found the estimate of the highest of the average power value of the pyramid model is 97,30 kilowatts.

Keywords: *oscillating water column*, *oceanwaves*, *CFD*

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara maritim terbesar di dunia, yang 2/3 wilayahnya merupakan wilayah lautan. Dengan luasnya wilayah lautan di Indonesia potensi gelombang laut dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi

terbarukan. akan tetapi pemanfaatan energi gelombang laut belum dilakukan. Padahal Indonesia mempunyai laut yang luas, dari laut yang berombak kecil, sedang dan besar ada di Indonesia. Dibandingkan dengan energi matahari dan angin, energi gelombang ini memberikan ketersediaan mencapai 90% dengan

kawasan yang potensial tidak terbatas, selama ada ombak, energi listrik bisa didapat. Salah satu wilayah yang dapat dimanfaatkan gelombang lautnya yaitu pantai Siung Yogyakarta. Pemilihan lokasi pantai Siung sebagai lokasi pemanfaatan gelombang laut dikarenakan potensi gelombang laut selatan Jawa yang cukup besar. Selain itu lokasinya terpencil terdapat rumah-rumah yang berdekatan dengan pantai belum terjangkau oleh aliran listrik PLN. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dibahas pemanfaatan gelombang laut sebagai energi alternatif dengan sistem *oscillating water column* (OWC) sebagai *wave conversion*. Tugas akhir ini mencoba menganalisa besar daya yang dikeluarkan OWC dengan beberapa bentuk kolom air menggunakan CFD. Ombak ini direncanakan untuk memampatkan udara yang berada di air *collector chamber*, kemudian udara yang termampatkan oleh ombak tersebut digunakan untuk memutar turbin

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini permasalahan akan dibatasi sebagai berikut :

1. Hanya menggunakan satu jenis turbin tipe *wells* turbin
2. Tidak membahas tinjauan secara ekonomi dalam penelitian ini.
3. Peneliti menggunakan *software CFD* untuk memodelkan dan menganalisa.
4. Desain kolom yang digunakan kolom berbentuk balok, piramida dan silinder.
5. Tidak menghitung konstruksinya

Berdasarkan latar belakang dan pembatasan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. mendapatkan desain dari *oscillating water column* bentuk kolom balok, piramida dan silinder.
2. Mendapatkan besar daya yang dihasilkan energi ombak melalui *oscillating water column* dengan variasi tinggi gelombang dan periode gelombang

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Oscillating Water Column* (OWC)

Dari beberapa jenis WEC (wave energy Converter) tipe *Oscillating Water Column* adalah tipe WEC yang paling populer. Sistem ini membangkitkan listrik dari naik turunnya air laut akibat gelombang laut yang masuk ke dalam 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,[8]. 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.

2.2 Komponen Peralatan Pembangkit Pada Pembangkit Energi Gelombang Laut

a. Kolektor

Kolektor adalah bangunan yang berfungsi untuk mengumpulkan ombak sebanyak banyaknya. Dari data yang diperoleh yaitu ketinggian gelombang laut, periode gelombang laut dan lebar kolom kolektor dapat dihitung besarnya daya yang masuk ke dalam kolektor. pada kolektor terdapat lubang oriface yang menghubungkan kolektor dengan turbin angin. Pada oriface terdapat gaya dan tekanan angin yang digunakan untuk memutar turbin.

b. Turbin

Turbin angin pada *Oscillating Water Column* 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%, [13]. Parameter turbin angin yang digunakan adalah:

Tabel 1. Parameter Turbin Angin

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

Sumber : Publishable Report of Islay LIMPET Wave Power Plant

2.3 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, [13].

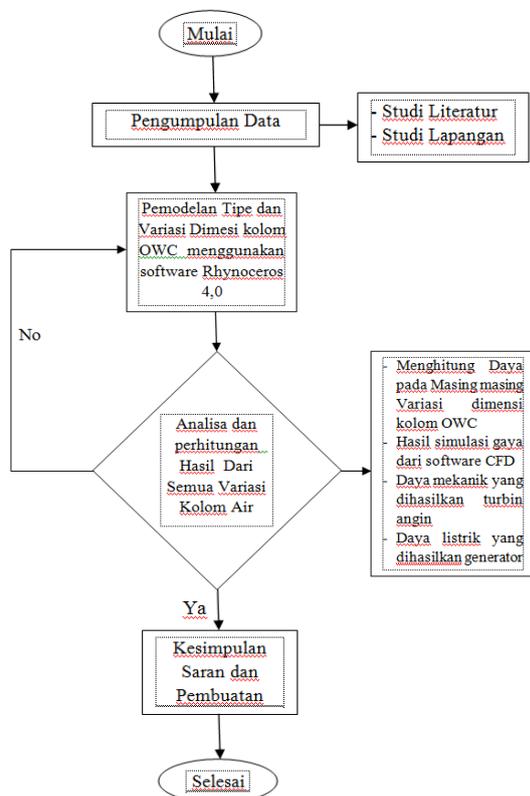
3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

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 diperairan pantai siung. Sedangkan data sekunder diperoleh dari literature (jurnal, buku, dan data yang didapat pada penelitian sebelumnya). Untuk data gaya didapat dari hasil simulasi CFD

3.2 Diagram Alir Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini terangkum secara sistematis dalam diagram alir di bawah ini:



Gambar 1. diagram alir penelitian

3.3 Analisa dan perhitungan

Dari data ketinggian dan periode ombak dilakukan perhitungan untuk mengetahui besarnya daya ombak yang masuk kedalam pembangkit. Perhitungan gaya menggunakan bantuan simulasi *Computational fluid Dynamic*. Data gaya 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. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan dianalisa dengan menggunakan metode *CFD*, dari data ketinggian dan periode gelombang laut dilakukan perhitungan untuk mengetahui besarnya daya gelombang laut yang masuk kedalam dimensi kolom. Dimana nantinya hasil perhitungan gaya 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.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan desain *Oscillating water column* bentuk dimensi kolom balok, piramida dan silinder. Data ukuran dari ketiga kolom sebagai berikut :

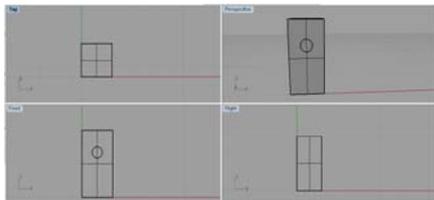
- ❖ Data ukuran balok :
 - panjang (m) : 3 m
 - lebar (m) : 3 m
 - tinggi (m) : 6 m
 - volume : 54 m³
- ❖ Data ukuran Piramida :
 - panjang (m) : 4 m
 - lebar (m) : 4 m
 - tinggi (m) : 6 m
 - volume (m³) : 54 m³
- ❖ Data ukuran silinder
 - Diameter (m) : 3,5 m
 - tinggi (m) : 6 m
 - volume (m³) : 54 m³

4.1 Pengolahan Data

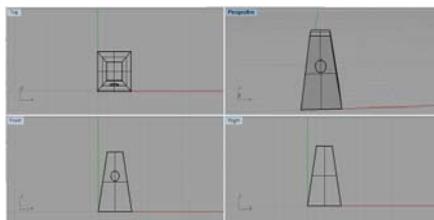
Hasil pemodelan dari *Rhinoceros 4.0* diexport dalam bentuk *file .stp* terlebih dahulu kemudian dibuka di *software CFD*. Analisa *CFD* yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah pemodelan, visualisasi aliran, *force, velocity*.

4.2 Desain model dimensi kolom Oscillating Water Column

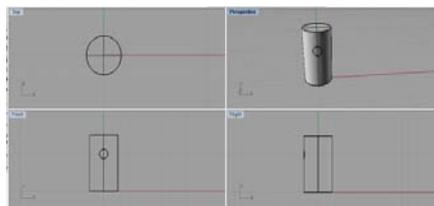
Pemodelan desain kolom *Oscillating Water Column* dengan bantuan *software Rhinoceros 4.0*. Dimensi dari kolom divariasikan dengan bentuk dan lebar tiap kolom berbeda beda sesuai dengan ukuran diatas



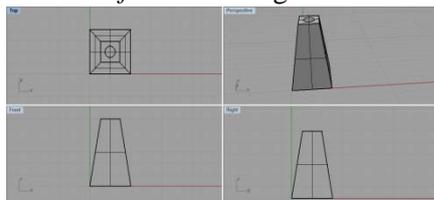
Gambar 2. Pemodelan Dimensi OWC balok diameter oriface 1m dengan *Rhinoceros 4.0*



Gambar 3. Pemodelan Dimensi OWC Piramida diameter oriface 1 m dengan *Rhinoceros 4.0*



Gambar 4. Pemodelan Dimensi OWC Silinder diameter oriface 1 m dengan *Rhinoceros 4.0*



Gambar 5. Pemodelan Dimensi OWC piramida oriface atas diameter oriface 1 m dengan *Rhinoceros 4.0*

4.3 Perhitungan Panjang dan Kecepatan Gelombang

Dengan mengetahui periode datangnya gelombang, maka dapat dihitung besar panjang dan kecepatan gelombangnya, berikut rumus panjang dan kecepatan gelombang. Contoh perhitungan panjang gelombang :

$$\lambda = \frac{g}{2\pi} T^2$$

$$= \frac{9.8}{2(3.14)} 6.15^2$$

$$= 59 \text{ m}$$

Maka kecepatan gelombang dapat diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$V = \frac{\lambda}{T}$$

$$= \frac{59}{6.15} = 9,6 \text{ m/s}$$

Berikut tabel hasil perhitungan panjang dan kecepatan gelombang

Tabel 2 Hasil perhitungan panjang dan kecepatan gelombang

Bulan	T (S)	λ (m)	V (m/s)
Januari	6,42	64,3	10
Februari	6,36	63,1	9,9
Maret	6,00	56,2	9,3
April	5,69	50,5	8,8
Mei	6,18	59,6	9,6
Juni	6,60	68,0	10,3
Juli	6,15	59,0	9,6
Agustus	5,71	50,9	8,9
September	5,68	50,3	8,8
Oktober	5,58	48,6	8,7
November	5,67	50,2	8,8
Desember	6,16	59,2	9,6

4.4 Analisa Perhitungan Energi Gelombang Laut

Untuk menghitung besarnya daya gelombang laut yang masuk ke dimensi kolom maka diperlukan data ketinggian, periode dan lebar kolom dari *Oscillating Water Column*. Secara umum untuk menghitung energi gelombang laut tanpa memperhatikan lebar dimensi kolom *Oscillating water column* sebagai berikut : Untuk tinggi gelombang laut $H = 2,86 \text{ m}$ dan periode $T = 6,15 \text{ s}$

$$P = \frac{\rho g^2 T H^2}{32\pi}$$

$$P = \frac{1025 \times 9.8^2 \times 6.15 \times 2.86^2}{32(3.14)}$$

$$P = 49,38 \text{ Kw}$$

Dimana

T = periode gelombang (sec)

H = tinggi gelombang (m)

ρ = massa jenis air laut (kg/m^3)

Berikut adalah tabel hasil perhitungan daya gelombang laut :

Tabel 3 Perhitungan daya gelombang laut

Bulan	H (m)	T (s)	PW(kW)
Januari	2.47	6.42	38.45
Februari	2.17	6.36	29.40
Maret	1.82	6.00	19.51

April	1.66	5.69	15.39
Mei	1.95	6.18	23.06
Juni	2.56	6.60	42.46
Juli	2.86	6.15	49.38
Agustus	2.34	5.71	30.69
September	2.18	5.68	26.49
Oktober	1.80	5.58	17.74
November	1.62	5.67	14.6
Desember	1.80	6.16	19.59

Sedangkan untuk tinggi gelombang laut $H = 2,86\text{m}$ dan periode $T = 6,15\text{s}$ dengan lebar kolom dimensi piramida 4 m didapatkan daya gelombang laut yang masuk kolom OWC, menggunakan rumus persamaan

- Perhitungan dimensi kolom piramida :

$$P_w = \frac{\rho g^2}{32\pi} H^2 T W$$

$$P_w = \frac{1025 \times 9.81^2}{32(3.14)} 2.86^2 \times 6.15 \times 4$$

$$P_w = 197.5374 \text{ Kw}$$

Dimana

W = lebar gelombang diasumsikan sama dengan lebar kolom (m)

T = periode gelombang (sec)

H = tinggi gelombang (m)

ρ = massa jenis air laut (kg/m^3)

Berikut tabel hasil perhitungan daya gelombang laut yang paling besar nilai dayanya

Tabel 4 Perhitungan nilai terbesar daya gelombang laut dengan kolom balok, piramida dan silinder

Model	w (m)	H (m)	T (s)	PW (kW)
Balok	3	2,86	6,15	148,15
Piramida	4	2,86	6,15	197,53
Silinder	3,5	2,86	6,15	172,84

4.5 Simulasi Computational Fluid Dynamic

Proses simulasi numerik pada Computational Fluid Dynamic dimulai dari pembuatan model dimensi kolom OWC. Pemodelan dengan menggunakan program *Rhinoceros 04*, kemudian file tersebut diekspor dalam bentuk file .stp. untuk dibuka di ANSYS.

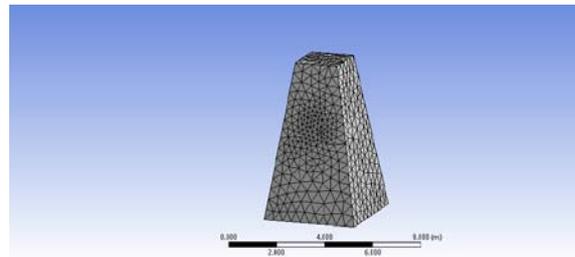
Langkah – langkah simulasi ini dibagi menjadi beberapa tahapan antara lain:

- Geometry
- Mesh
- Setup
- Solution

e. Result

Tahap *geometri* adalah tahap pemodelan yaitu tahap penentuan model yang akan dianalisa. Tahap *geometry* juga merupakan langkah awal dimana pengecekan solid tidaknya model. Pada tahap ini dilakukan pembuatan model dimensi kolom balok, piramida dan silinder sesuai dengan ukurannya. Proses selanjutnya adalah menggabungkan hasil akhir berupa 1 *body*.

Tahap selanjutnya adalah pembuatan *meshing* pada *body* yang sudah dibuat. *Mesh* adalah tahapan yang paling kompleks dalam pengerjaannya. Apabila satu elemen dari beberapa elemen yang tidak pas, maka proses *meshing* gagal dan harus diulang untuk diperiksa dan diperbaiki sesuai dengan errornya. Error bisa disebabkan dari bentuk geometri atau pengaturan dalam *meshing* seperti ukuran *face spacing*, *point spacing* dsb.

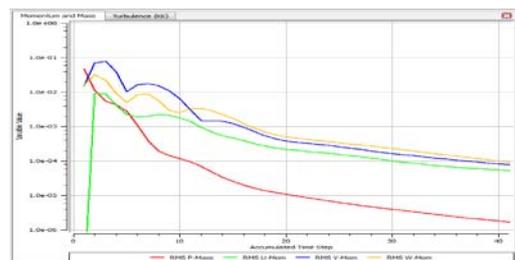


Gambar 6 Proses Meshing

Tahap *setup* dibagi menjadi beberapa langkah, antara lain default domain, *solver*, pembuatan *expression*, dan lain-lain.

Setelah *setup* selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah *solution*. Dalam tahap ini proses perhitungan (running) dilakukan berupa literasi dari persamaan dasar dinamika fluida pada CFD.

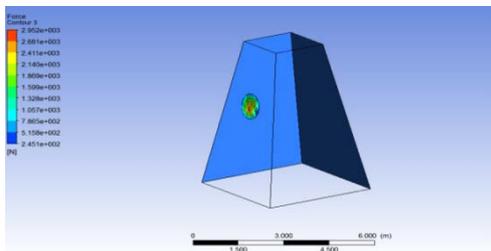
Setelah proses running atau simulasi selesai maka hasilnya dapat kita lihat di tahap *solution*. Pada tugas akhir ini hasil yang diinginkan berupa nilai hambatan kapal, model, visualisasi *pressure* dan visualisasi aliran.



Gambar 7. Grafik perhitungan (running)

Setelah proses running atau simulasi selesai maka hasilnya dapat kita lihat di

tahap solution. Pada tugas akhir ini hasil yang diinginkan berupa nilai *force* atau gaya yang dihasilkan dari simulasi.



Gambar 8 *Contour force* Model dimensi kolom Piramida.

4.6 Hasil Simulasi CFX

Setelah proses simulasi selesai menggunakan software CFX, maka didapatkan nilai gaya. Nilai gaya tersebut digunakan untuk perhitungan daya turbin. Berikut ini adalah tabel hasil simulasi nilai gaya yang terdapat pada oriface.

Tabel 5 hasil simulasi dimensi kolom balok OWC

Bulan	H (m)	T (s)	V (m/s)	Gaya (N)	
				D 1m	D 2m
Januari	2.47	6.42	10	916.2	143.8
Februari	2.17	6.36	9.9	898.0	141.0
Maret	1.82	6.00	9.3	792.5	124.4
April	1.66	5.69	8.8	709.5	111.4
Mei	1.95	6.18	9.6	844.4	132.6
Juni	2.56	6.60	10.3	972.0	152.6
Juli	2.86	6.15	9.6	844.4	132.6
Agustus	2.34	5.71	8.9	725.8	113.9
September	2.18	5.68	8.8	709.5	111.4
Oktober	1.80	5.58	8.7	693.5	108.9
November	1.62	5.67	8.8	709.5	111.4
Desember	1.80	6.16	9.6	844.4	132.6
Rata-Rata	2.10	6.02	9.4	804.9	126.3

Tabel 6 hasil simulasi dimensi kolom piramida OWC

Bulan	H (m)	T (s)	V (m/s)	Gaya (N)	
				D 1m	D 2m
Januari	2.47	6.42	10	2782	632.8
Februari	2.17	6.36	9.9	2727	620.2
Maret	1.82	6.00	9.3	2407	529.7
April	1.66	5.69	8.8	2155	490.0
Mei	1.95	6.18	9.6	2564	583.2
Juni	2.56	6.60	10.3	2952	671.3
Juli	2.86	6.15	9.6	2564	583.2
Agustus	2.34	5.71	8.9	2204	501.2
September	2.18	5.68	8.8	2155	490.0
Oktober	1.80	5.58	8.7	2106	479.0

November	1.62	5.67	8.8	2155	490.0
Desember	1.80	6.16	9.6	2564	583.2
Rata-Rata	2.10	6.02	9.4	2445	554.5

Tabel 7 hasil simulasi dimensi kolom silinder OWC

Bulan	H (m)	T (s)	V (m/s)	Gaya (N)	
				D 1m	D 2m
Januari	2.47	6.42	10	765.4	141.1
Februari	2.17	6.36	9.9	750.1	138.3
Maret	1.82	6.00	9.3	662.0	122.0
April	1.66	5.69	8.8	592.7	109.3
Mei	1.95	6.18	9.6	705.4	130.0
Juni	2.56	6.60	10.3	812.0	149.7
Juli	2.86	6.15	9.6	705.4	130.0
Agustus	2.34	5.71	8.9	606.2	111.8
September	2.18	5.68	8.8	592.7	109.3
Oktober	1.80	5.58	8.7	579.3	106.8
November	1.62	5.67	8.8	592.7	109.3
Desember	1.80	6.16	9.6	705.4	130.0
Rata-Rata	2.10	6.02	9.4	672.4	124.0

Tabel 8 hasil simulasi dimensi kolom piramida orifice atas OWC

Bulan	H (m)	T (s)	Kecepatan (m/s)	Gaya (N)
				Diameter 1 m
Januari	2.47	6.42	10	2673
Februari	2.17	6.36	9.9	2620
Maret	1.82	6.00	9.3	2312
April	1.66	5.69	8.8	2070
Mei	1.95	6.18	9.6	2464
Juni	2.56	6.60	10.3	2836
Juli	2.86	6.15	9.6	2464
Agustus	2.34	5.71	8.9	2118
September	2.18	5.68	8.8	2070
Oktober	1.80	5.58	8.7	2023
November	1.62	5.67	8.8	2070
Desember	1.80	6.16	9.6	2464
Rata-Rata	2.10	6.02	9.4	2349

4.7 Perhitungan Nilai Torsi dan Daya Turbin

Untuk perhitungan daya yang dihasilkan turbin, dibutuhkan nilai gaya. Pada dimensi kolom balok dengan rata rata tinggi ombak $H = 2,10$ m dan periode $T = 6,02$ s dan lebar kolom 3 meter, berdasarkan hasil simulasi didapatkan nilai rata rata gaya sebesar 804,98 N pada diameter *oriface* 1m sedangkan diameter

oriface 2 m sebesar 126,38 N. dengan jari-jari turbin 1,3 m didapatkan nilai.

- Nilai Torsi Turbin
Dengan diameter 1 m
torsi : $Q = F \times l$
 $Q = 804,98 \times 1,3$
 $Q = 1046,47 \text{ N.m}$
- Dengan diameter 2 m
torsi : $Q = F \times l$
 $Q = 126,38 \times 1,3$
 $Q = 164,29 \text{ N.m}$

Berikut ini adalah tabel hasil perhitungan nilai torsi turbin:

Tabel 9. hasil Nilai Torsi turbin pada diameter oriface 1m OWC

Bulan	n Torsi (rpm) Diameter 1m		
	Balok	Piramida	Silinder
Januari	1191.06	3616.6	995.02
Februari	1167.40	3545.1	975.13
Maret	1030.25	3129.1	860.6
April	922.35	2801.5	770.51
Mei	1097.72	3333.2	917.02
Juni	1263.60	3837.6	1055.6
Juli	1097.72	3333.2	917.02
Agustus	943.54	2865.2	788.06
September	922.35	2801.5	770.51
Oktober	901.55	2737.8	753.09
November	922.35	2801.5	770.51
Desember	1097.72	3333.2	917.02
Rata-Rata	1046.47	3177.96	874.17

Tabel 10. hasil Nilai Torsi turbin pada diameter oriface 2m OWC

Bulan	n Torsi (rpm) Diameter 2m		
	Balok	Piramida	Silinder
Januari	186.94	822.64	183.43
Februari	183.30	806.26	179.8
Maret	161.72	688.61	158.6
April	144.82	637.00	142.1
Mei	172.38	758.16	169.0
Juni	198.38	872.69	194.61
Juli	172.38	758.16	169.0
Agustus	148.07	651.56	145.34
September	144.82	637.00	142.09
Oktober	141.57	622.70	138.84
November	144.82	637.00	142.09
Desember	172.38	758.16	169.0

Rata-Rata	164.30	720.83	161.16
------------------	--------	--------	--------

Tabel 11. hasil Nilai Torsi turbin pada piramida diameter oriface atas 1m OWC

Bulan	H (m)	T (s)	Torsi
Januari	2.47	6.42	3474.9
Februari	2.17	6.36	3406.0
Maret	1.82	6.00	3005.6
April	1.66	5.69	2691.0
Mei	1.95	6.18	3203.2
Juni	2.56	6.60	3686.8
Juli	2.86	6.15	3203.2
Agustus	2.34	5.71	2753.4
September	2.18	5.68	2691.0
Oktober	1.80	5.58	2629.9
November	1.62	5.67	2691.0
Desember	1.80	6.16	3203.2
Rata-Rata	2.10	6.02	3053.7

- Nilai Daya Turbin

Setelah diketahui besarnya torsi yang dihasilkan turbin, kita dapat menghitung besarnya daya yang dihasilkan Dengan mengasumsikan bahwa putaran turbin sesuai spesifikasi sebesar 1050 rpm atau 17,5 rps, maka daya turbin yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan :

Balok diameter 1m

$$Pt = Wq = 2\pi nQ$$

$$Pt = 2 \times 3.14 \times 1050 \times 1046,47$$

$$Pt = 115 \text{ kW}$$

Balok Diameter 2m

$$Pt = Wq = 2\pi nQ$$

$$Pt = 2 \times 3.14 \times 1050 \times 164,29$$

$$Pt = 18 \text{ kW}$$

Berikut adalah Tabel hasil perhitungan daya mekanik yang dihasilkan turbin angin

Tabel 12. hasil Nilai daya turbin pada diameter oriface 1m OWC

Bulan	Pt (Kw) Diameter 1		
	Balok	Piramida	Silinder
Januari	130.90	397.46	109.35
Februari	128.30	389.61	107.17
Maret	113.22	343.89	94.58
April	101.37	307.88	84.68
Mei	120.64	366.32	100.78
Juni	138.87	421.75	116.01

Juli	120.64	366.32	100.78
Agustus	103.70	314.89	86.61
September	101.37	307.88	84.68
Oktober	99.08	300.88	82.76
November	101.37	307.88	84.68
Desember	120.64	366.32	100.78
Rata-Rata	115.01	349.26	96.07

Tabel 13. Nilai daya turbin pada diameter oriface 2m OWC

Bulan	Pt (Kw) Diameter 2		
	Balok	Piramida	Silinder
Januari	20.54	90.41	20.16
Februari	20.14	88.61	19.76
Maret	17.77	75.68	17.43
April	15.92	70.01	15.62
Mei	18.94	83.32	18.57
Juni	21.80	95.91	21.39
Juli	18.94	83.32	18.57
Agustus	16.27	71.61	15.97
September	15.92	70.01	15.62
Oktober	15.56	68.43	15.26
November	15.92	70.01	15.62
Desember	18.94	83.32	18.57
Rata-Rata	18.06	79.22	17.71

Dari Tabel 12 dan 13 diketahui daya rata-rata yang dihasilkan turbin sebesar 349,26 kW dengan dimensi kolom piramida 4 meter. Daya efektif turbin angin adalah 30% dari daya maksimum, sehingga daya efektif turbin angin adalah sebesar 105,77 kW.

Tabel 14. Nilai Daya Turbin Piramida Orifice Diameter 1m

Bulan	H (m)	T (s)	Pt (kW)
Januari	2.47	6.42	381.89
Februari	2.17	6.36	374.31
Maret	1.82	6.00	330.31
April	1.66	5.69	295.74
Mei	1.95	6.18	352.03
Juni	2.56	6.60	405.17
Juli	2.86	6.15	352.03
Agustus	2.34	5.71	295.74

September	2.18	5.68	289.02
Oktober	1.80	5.58	295.74
November	1.62	5.67	289.02
Desember	1.80	6.16	352.03
Rata-Rata	2.10	6.02	335.6

Dari Tabel 14 tabel daya turbin maksimum diameter 1m, diketahui daya rata-rata yang dihasilkan turbin dengan dimensi kolom piramida 4m sebesar 335,6 kW. sehingga daya efektif turbin angin adalah 30% dari daya rata-rata sehingga daya efektifnya sebesar 100,68 kW

4.5 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 rata-rata yang dihasilkan generator adalah sebesar 105,77 kW sehingga generator yang sesuai untuk PLTO adalah sebagai berikut :

Tabel 15.. Spesifikasi generator

Alternator Brand	Volvo Penta
Alternator type	TAD732GE
Rated Power (Kw)	124
Speed (rpm)	1500
Frequency (Hz)	50
Efficiencies %	92

Dari spesifikasi pada tabel 12 diketahui efisiensi generator adalah sebesar 92% sehingga daya listrik maksimum yang dihasilkan generator PLTO tipe OWC di pantai siung adalah :

$$\begin{aligned}
 P_g &= P_t \times \eta_{\text{generator}} \\
 &= 105,77 \times 92\% \\
 &= 97,30 \text{ kW kolom piramida}
 \end{aligned}$$

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. a. Semakin tinggi ombak dan luas kolom maka daya ombak yang masuk ke dimensi kolom juga semakin besar.
 - b. Berdasarkan hasil simulasi model dimensi kolom yang berbeda (balok, piramida, dan silinder) serta lebar kolom 3m, 3.5m dan 4m diketahui nilai gaya pada hasil simulasi CFD yang tertinggi adalah pada kolom piramida dengan diameter outlet 1m sebesar 2,952 kN
 - c. Berdasarkan hasil simulasi model piramida dengan variasi penempatan orifice (lubang outlet) samping dan atas didapatkan nilai gaya tertinggi pada orifice samping sehingga daya yang dihasilkan juga lebih besar dengan *orifice* samping.
2. Hasil analisa mendapatkan bahwa tipe OWC di pantai siung mempunyai potensi daya listrik rata-rata yang dapat dibangkitkan adalah sebesar 97,30 kW kolom piramida lebar 4 m

5.2. Saran

Dari hasil pengerjaan tugas akhir saran yang dapat penulis berikan adalah sebagai berikut :

1. Pembuatan bentuk kolom lebih divariasikan lagi dengan model kolom yang tidak simetris (selain model balok, piramida, dan silinder)
2. Diameter *orifice* atau outlet divariasikan dengan ukuran diameter yang berbeda beda.
3. Penempatan diameter *orifice* lebih divariasikan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. 2002. "Publishable report Islay Limpet Wave Power Plant". Queen University of Belfast.
- [2] Ardianto, 1996, "Studi Pemanfaatan Energi Gelombang Air Laut Untuk Pembangkit Listrik Tipe Taper Channel Di Baron Yogyakarta", Teknis Sistem Perkapalan FTK-ITS Surabaya
- [3] Arta Wijaya, I Wayan, 2010, "Studi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut menggunakan Teknologi Oscillating Water Column di Perairan Bali

Mahasiswa Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana.

- [4] [https://www.academia.edu/3250863/Gelombang Laut](https://www.academia.edu/3250863/Gelombang_Laut)
- [5] <https://www.fisikaituasyik.weebly.com>
- [6] http://gamilopinion.blogspot.com/2009/06/konsumsi_energi_dunia.html
- [7] [http://id.wikipedia.org/wiki/Energi terbaru](http://id.wikipedia.org/wiki/Energi_terbarukan) 22 Januari 2014.
- [8] <http://owcwaveenergy.weebly.com/index.html>
- [9] http://www.oceanpowertechnologies.com/pdf/senate_hearing_paper.pdf
- [10] McCormick, Michael E, 1981 "Ocean Wave Energy Conversion", Dept of Naval Systems Engineering, U.S Naval Academy, Annapolis, Maryland
- [11] Sameti, M. and Farehi, Ilham. 2014. "Output Power For An Oscillating Water Column Wave Energy Conversion Device" Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Iran
- [12] Triatmojo, Bambang, 1999, "Teknik Pantai", Beta Offset, Yogyakarta
- [13] Ubaidillah, Alfan Rizal, "Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Ombak Tipe *Oscillating Water Column* Di Perairan Pulau Sempu Kabupaten Malang, Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- [14] Utami, Siti Rahma, 2010, "Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Menggunakan Sistem *Oscillating Water Column* (owc) di Tiga Puluh wilayah kelautan Indonesia, Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- [15] Waldopo, dkk. 2008. "Perairan Darat dan Laut." www.google.com