

Perencanaan Turbin Wells Sistem Osilasi Kolom Air pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Kapasitas 10 kW

¹Valens Tae, ¹Jahirwan Ut Jasron, ¹Nurhayati, ¹Verdy A. Koehuan
¹Jurusan Teknik Mesin FST, Undana
Jl. Adi Sucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001, Telp : (0380)881597
E-mail: valenstae@gmail.com

Abstrak

Sistem konversi energi gelombang laut menjadi energi listrik mengakumulasi energi gelombang laut. Salah satu teknologi sistem konversi energi gelombang laut adalah teknologi osilasi kolom air. Prinsip kerja dari osilasi kolom air adalah membangkitkan listrik dari naik turunnya air laut akibat gelombang laut yang masuk ke dalam sebuah kolom osilasi. Naik turunnya air laut ini akan mengakibatkan keluar masuknya udara di saluran pada bagian atas kolom air dan tekanan yang dihasilkan dari naik turunnya air laut dalam kolom tersebut akan menggerakkan turbin. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan perencanaan turbin Wells sistem osilasi kolom air dengan kapasitas 10kW pada pembangkit listrik tenaga gelombang Laut di Perairan Laut, Pantai Motadikin. Dari hasil perhitungan besarnya daya listrik yang dihasilkan gelombang laut dengan penggunaan PLTGL-OWC dengan daya terkecil sebesar 26.686,96 Watt di bulan Desember, sementara daya sebesar 3.762.948,04 Watt di bulan Maret dan April. Sedangkan untuk penggunaan turbin Wells dengan simulasi yang digunakan menghasilkan daya mekanik turbin sebesar 15031,13 Watt, dengan efisiensi osilasi kolom air 24,544%.

Kata kunci: gelombang laut, oscillating water column (OWC), turbin Wells, energi listrik.

Abstract

Ocean wave energy conversion system is accumulated wave energy into electrical energy. One of the technologies ocean wave energy conversion system is oscillating water column technology. Basically the working principle of oscillating water column is generating electricity from the rise and fall of sea water due to sea waves into a hollow column oscillation. The rise and fall of sea water will lead to the passage of air in the whole part of the column and the pressure resulting from the rise and fall of sea water in the column will drive the turbine. The aim of this study was to plan Wells turbine oscillating water column system with a capacity of 10 kW in wave power plant in marine waters, Coast of Motadikin. From the calculation of the amount of electric power generated by the use of sea wave PLTGL-OWC with the smallest power of 26686.96 Watt in December, while the power of 3,762,948.04 Watts in March and April. As for the use of the Wells turbine used simulation result in mechanical power turbine at 15031.13 Watt, with efficiency 24.544% oscillating water column.

Keywords: ocean waves, oscillating water column (OWC), Wells turbine, the electrical energy.

PENDAHULUAN

Seiring dengan berkembangnya kehidupan manusia, semakin meningkat konsumsi energi listrik dan juga bahan bakar secara nasional pun semakin besar. Manusia berlomba-lomba untuk mencari sumber energi alternatif yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbarui (*renewable energy*) seperti tenaga angin, air, sinar matahari, dan

gelombang laut. Salah satu teknologi sistem konversi energi gelombang laut adalah teknologi osilasi kolom air. Pada dasarnya prinsip kerja dari osilasi kolom air adalah membangkitkan listrik dari naik turunnya air laut akibat gelombang laut yang masuk ke dalam sebuah kolom osilasi. Naik turunnya air laut ini akan mengakibatkan keluar masuknya udara di saluran pada bagian atas kolom dan tekanan yang dihasilkan dari naik turunnya air laut dalam kolom tersebut akan menggerakkan

turbin.

Turbin merupakan bagian penting dalam suatu pembangkit tenaga listrik. Jika dilihat dari metode konversi energi atau prinsip kerjanya, maka turbin angin terdiri atas turbin yang memanfaatkan gaya angkat, turbin yang memanfaatkan gaya hambat, dan kombinasi keduanya. Turbin yang memanfaatkan gaya angkat dan gaya hambat misalnya jenis turbin Wells. Turbin Wells telah dirancang oleh Alan Well pada tahun 1980, dengan prinsip kerjanya, mengubah energi mekanis dari tekanan udara menjadi energi putar pada turbin, lalu turbin digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya menghasilkan listrik. Pada pembangkit listrik tenaga gelombang laut yang dikonversi menjadi energi listrik adalah dengan menggunakan teknologi osilasi kolom air. Sederhananya osilasi kolom air merupakan salah satu sistem dan peralatan yang dapat mengubah energi gelombang laut menjadi energi listrik dengan menggunakan kolom osilasi. Osilasi kolom air ini akan menangkap energi gelombang yang mengenai lubang pintu osilasi, sehingga terjadi fluktuasi atau osilasi gerakan air dalam ruang kolom air, kemudian tekanan udara ini akan menggerakkan baling-baling turbin yang dihubungkan dengan generator listrik sehingga menghasilkan listrik. (Nugroho, 2010)

Penelitian untuk mempelajari 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 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 gelombang, sedangkan deretan gelombang serupa dengan tinggi 2 meter dan 3 meter dayanya sebesar 39 kW per meter panjang gelombang. Untuk gelombang dengan ketinggian 100 meter dan periode 12 detik menghasilkan daya 600 kW per meter panjang gelombang. (Utamai, 2010)

Melihat topografi Pulau Timor, khususnya Perairan Selatan Pulau Timor yang berhadapan langsung dengan Samudera Hindia memiliki potensi energi gelombang yang sangat besar. Data BMKG di Laut Timor, tinggi gelombang

laut dengan perkiraan rata-rata bulanan yaitu tinggi signifikan rata-rata berkisar 1,3 meter dan tinggi maximum rata-rata 2,32 meter. Melihat data ketinggian signifikan gelombang di laut Timor yang berkisar antara 1,3 meter, maka tujuan dari penelitian ini adalah melakukan perancangan sistem pembangkit energi gelombang laut di Perairan Laut Timor, Pantai Motadikin dengan kapasitas daya 10kW.

TEORI DASAR

Gelombang Laut (*Ocean Waves*)

Gelombang laut merupakan energi dalam transisi, merupakan energi yang terbawa oleh sifat aslinya. Prinsip dasar terjadinya gelombang laut adalah jika ada dua massa benda yang berbeda kerapatannya (densitasnya) bergesekan satu sama lain, maka pada bidang gerakannya akan terbentuk gelombang. Gelombang merupakan gerakan naik turunnya air laut.

Komponen Dasar Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut

Pada pembangkit listrik tenaga arus laut terdapat tiga komponen utama yang terdapat di dalamnya. Ketiga komponen tersebut adalah generator, turbin sebagai *prime mover* dan alat penangkap gelombang atau arus laut. Generator yang digunakan dalam pembangkit ini adalah generator sinkron biasa dengan jenis yang disesuaikan kebutuhan. Namun biasanya digunakan generator sinkron kutub dalam dengan kutub *non-salient pole* karena daya yang terbangkit dengan teknik arus laut sangat besar. Diperkirakan daya yang dihasilkan dari satu sistem pembangkit pada satu tempat dapat mencapai ribuan megaWatt. Untuk turbin digunakan turbin biasa sebagaimana pada PLTA, namun dengan konstruksi bahan yang lebih bagus mengingat dalam hal ini turbin akan langsung bersentuhan dengan air laut yang memiliki kadar garam cukup tinggi. Kadar garam yang cukup tinggi dapat mengakibatkan logam mudah terkorosi. Sehingga digunakan bahan yang lebih bagus dan perawatan yang lebih sulit untuk bagian turbin. Sedangkan cara untuk menangkap energi gelombang ada tiga

cara yang dapat dilakukan untuk menangkap gelombang laut adalah sebagai berikut:

- Dengan pelampung
Alat ini digunakan untuk membangkitkan listrik dari hasil gerakan vertikal dan rotasional pelampung dan dapat ditambatkan pada sebuah rakit yang mengambang atau alat yang tertambat di dasar laut.
- Oscillating Water Column (OWC)
Alat osilasi kolom air ini akan menangkap energi gelombang yang mengenai lubang pintu kolom osilasi, sehingga terjadi fluktuasi atau osilasi gerakan air dalam ruang kolom osilasi, kemudian tekanan udara ini akan menggerakkan baling-baling turbin yang dihubungkan dengan generator listrik sehingga menghasilkan listrik.
- Sistem Tapchan
Sistem *tapchan*, dipasang pada sebuah struktur kanal yang dibangun di pantai untuk mengkonsentrasikan gelombang dan menyalurkannya melalui saluran ke dalam bangunan penjemput seperti kolam buatan yang ditinggikan. Air yang mengalir keluar dari kolam penampung ini yang digunakan untuk membangkitkan listrik dengan menggunakan teknologi standar *hydropower*.

Analisa Daya Turbin

Koefisien Angkat (C_L) dan Koefisien Hambat (C_D)

Koefisien angkat merupakan perbandingan antara tekanan angkat yang bekerja pada *airfoil* terhadap tekanan dinamis aliran fluida yang mengalir *airfoil*.

Perhitungan untuk gaya angkat dan gaya tarik dapat dilihat pada persamaan, Gareev (2011):

$$F_L = C_L \times 0,5 \dots a \times W_R^2 \times c \times Nb \quad (1)$$

$$F_D = C_D \times 0,5 \dots a \times W_R^2 \times c \times Nb \quad (2)$$

Dimana F_L dan F_D adalah gaya angkat dan gaya tarik, C_L dan C_D adalah koefisien angkat dan koefisien tarik, ρ kerapatan fluida (kg/m^3), a adalah rasio kecepatan aksial, c panjang *chord* (m) dan Nb adalah jumlah blade

Perhitungan Daya, Torsi, dan Kecepatan pada turbin

Suatu rotor turbin dapat mengerstraksi daya dari angin karena rotor tersebut menurunkan kecepatan angin tidak terlalu banyak maupun tidak terlalu rendah.

- Daya angin

Menurut ilmu fisika klasik energi kinetik untuk suatu massa angin m yang bergerak dengan kecepatan V yang nantinya akan diubah menjadi energi poros dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \quad (3)$$

dimana E_k adalah energi kinetik (Joule) m adalah massa udara (kg) dan V adalah kecepatan angin (m/s)

Energi kinetik yang terkandung dalam angin inilah yang ditangkap oleh turbin untuk memutar rotor. Dengan menganggap suatu penampang melintang A , dimana udara dengan kecepatan v mengalami pemindahan volume untuk setiap satuan waktu, yang disebut dengan aliran volume \bar{v} sebagai persamaan

$$\bar{v} = \rho \times A \quad (4)$$

Dimana \bar{v} laju volume (m^3/s) V kecepatan angin (m/s) dan A luas area sapuan rotor (m^2)

Sedangkan aliran massa dengan kecepatan udara sebagai :

$$\dot{m} = \dots A v \quad (5)$$

dimana \dot{m} aliran massa (kg/s) dan ρ massa jenis angin (kg/m^3)

Persamaan-persamaan diatas menunjukkan energi kinetik dan aliran massa yang melewati suatu penampang melintang A sebagai energi P yang ditunjukkan dengan mensubstitusi persamaan (11) ke persamaan (9) menjadi:

$$P_a = \frac{1}{2} \dots A V^3 \quad (6)$$

Dimana P_a adalah daya angin (Watt)

Persamaan di atas merupakan sebuah persamaan untuk kecepatan angin pada turbin yang ideal, dimana dianggap energi angin dapat diekstrak seluruhnya menjadi energi listrik. Namun kenyataannya tidak seperti itu. Jadi terdapat faktor efisiensi dari mekanik turbin

angin dan efisiensi dari generator sendiri. Sehingga daya yang dapat diekstrak menjadi energi angin dapat diketahui dari persamaan. (Himran Syukri, 2006)

- Torsi

Torsi diperoleh dengan menggunakan sistem pengeremam yaitu dengan menggantungkan beban pada puli yang berputar. Untuk persamaanya adalah sebagai berikut:

$$\ddagger = F \times R_{AV} \quad (7)$$

$$F = m \times g \quad (8)$$

Dimana \ddagger adalah Torsi (N.m), F gaya pembebanan (N), m sebagai massa beban (kg), R_{AV} adalah jari-jari rasio kecepatan ujung (m)

- Daya mekanik turbin

Daya turbin merupakan output dari turbin angin.

$$P_m = \ddagger \times \Omega \quad (9)$$

$$\Omega = \frac{2f.n}{60} \quad (10)$$

Dimana P_m adalah daya mekanik (Watt), Ω kecepatan sudut (rad/s), dan n PutaranPoros (rpm)

- Koefisien daya (C_p)

Koefisien daya (C_p) adalah perbandingan antara daya yang dibangkitkan oleh turbin angin dengan daya angin.

$$C_p = \frac{P_m}{P_a} \quad (11)$$

- Efisiensi sistem osilasi kolom air

Menghitung efisiensi sistem osilator adalah perbandingan antara daya angin dengan daya potensial yang dihasilkan dalam osilator, digunakan persamaan:

$$eff = \frac{P_a}{P_w} \quad (12)$$

Dimana P_w merupakan daya akibat gelombang laut

Konversi Energi Gelombang Laut Menjadi Listrik

Pergerakan Gelombang

Parameter-parameter yang digunakan dalam menghitung gelombang dua dimensi

yang memiliki permukaan bebas dan bergantung pada gravitasi adalah:

$$A = H/2 : \text{amplitudo gelombang} \quad (13)$$

$$H \text{ adalah ketinggian gelombang (m) dan } T \text{ periode gelombang (detik)} \quad (14)$$

$$\} = 5.12 T^2 : \text{panjang gelombang (m)} \quad (16)$$

Energi dan daya yang dihasilkan oleh PLTGL-OWC

- Energi potensial

$$E_p = \frac{1}{4} L \dots g A^2 \quad (17)$$

Dimana E_p energi potensial (Joule), L lebar gelombang dua dimensi.

- Energi Kinetik

$$E_k = \frac{1}{4} L \dots g A^2 \quad (18)$$

Dimana E_k sebagai Energi kinetic (Joule)

Total Energi dan Daya

- Menghitung Total Energi (E_w)

$$E_w = E_p + E_k \quad (19)$$

$$E_w = \frac{1}{4} L \dots g A^2 + \frac{1}{4} L \dots g A^2 \quad (20)$$

- Menghitung Daya Mekanik Untuk menentukan besarnya daya listrik (P_w) yang dihasilkan gelombang laut dalam 1 periode digunakan persamaan berikut ini.

$$P_w = \frac{E_w}{T} \quad (21)$$

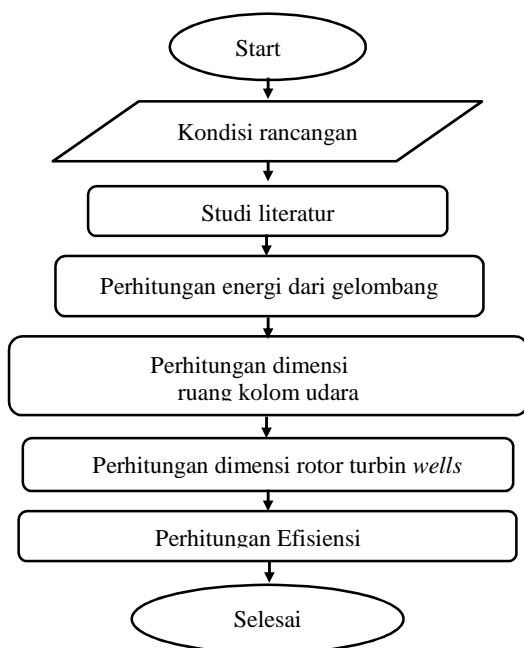
METODE PENELITIAN

Kondisi Rancangan

Lokasi penempatan PLTGL-OWC adalah di Perairan Laut Timor (Pantai Motadikin), yaitu pada kedalaman laut 7 meter dan terletak ± 250 meter dari garis pantai. Sedangkan luas dari lokasi rencana penempatan PLTGL-OWC ini adalah 45,5248 m² (sesuai dengan luas desain kolom osilasi). Pola ketinggian gelombang laut yang terjadi di kawasan ini tergolong tidak konstan dengan tinggi gelombang rata-rata maksimum pada tahun 2014 adalah 2,32 meter.



Gambar 1. Lokasi rencana penempatan PLTG-OWC
(Sumber Gambar. Google Earth, agustus (2014))



Gambar 2. Prosedur perancangan PLTG-OWC

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis data hasil penelitian

Analisis data hasil penelitian meliputi analisa perhitungan periode gelombang (T), Kecepatan sudut (ω), amplitudo (A) dan panjang gelombang (λ), luas kolom osilasi (A_0), kecepatan udara saat dalam kolom air (V_0), luas saluran udara saat masuk (A_1) dengan kecepatan udara (V_1), luas daerah rotor (A_2), dengan kecepatan udara saat terjadi kompresi (V_2), daya yang dibangkitkan oleh osilator (P_w), daya angin (P_a), daya mekanik turbin (P_m). Dan

efisiensi system osilator kolom air.

- Menghitung daya angin gelombang laut untuk memutar turbin. Dengan mengasumsi koefisien daya, $C_p = 0,3$. Menggunakan persamaan 11,

$$P_{ag} = \frac{P_{mg}}{C_p} = \frac{13888,89}{0,3} = 46296,30 \text{ Watt}$$

- Menghitung saluran udara, kolom osilasi dan daya yang dibangkitkan turbin.
- Menghitung Luas saluran turbin A_2 , dengan massa jenis udara $1,22 \text{ kg/m}^3$ dan asumsi kecepatan udara saat terjadi kompresi, $V_2 = 22 \text{ m/s}$, menggunakan persamaan 6

$$P_{ag} = \frac{1}{2} \rho A_2 v_2^3 = 7,1277 \text{ m}^2$$

- Menghitung diameter, d_2 saluran udara

$$A_2 = \frac{1}{4} \pi d_2^2 = 3,0125 \text{ m}$$

- Menghitung laju aliran volume menggunakan persamaan 4

$$\bar{V}_2 = A_2 \times V_2 = 156,8090 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Dengan mengasumsi laju aliran volume dianggap konstan, $\bar{V}_2 = \bar{V}_1 = \bar{V}_0 = \bar{V}_3 = 156,8090 \text{ m}^3/\text{s}$, maka untuk menghitung luas dari kolom osilasi menggunakan persamaan 4 yaitu :

$$\bar{V}_0 = \epsilon_0 \times A_0$$

$$A_0 = \frac{\bar{V}_0}{\epsilon_0} = 45,5248 \text{ m}^2$$

- Menghitung panjang dari kolom osilasi dapat dihitung dengan lebar kolom, $L = 8 \text{ meter}$, sama dengan panjang gelombang.

$$A_0 = P_0 \times L_0 = \frac{45,5248}{8} = 5,6906 \text{ m}$$

- Menghitung luas saluran udara masuk dan keluar, $A_1 = A_3$ dengan laju aliran volume, $\bar{V}_1 = 156,8090 \text{ m}^3/\text{s}$, kecepatan udara saat masuk

dan keluar saluran udara 5 m/s, dengan asumsi $V_1 = V_3$. maka persamaan yang digunakan adalah persamaan 6 yaitu

$$\bar{V}_1 = A_1 \times V_1$$

$$A_1 = 31,3618 \text{ m}^2$$

Menghitung diameter, d_1 saluran udara

$$A_1 = \frac{1}{4} f d_1^2$$

$$d_1 = 6,3191 \text{ m}$$

Tabel 1. energi potensial yang dihasilkan gelombang laut

Bulan	Gelombang signifikan (m)		Energi Potensial gelombang (EW) J	
	Max	Min	Max	Min
Januari	0.67	0.23	98045.4	3966.3
Februari	0.67	0.67	98045.4	98045.4
Maret	2.26	0.12	3762948.0	563.3
April	2.26	0.12	3762948.0	563.3
Mei	1.24	0.34	621538.4	12812.7
Juni	1.97	0.34	2492307.3	12812.7
Juli	1.34	0.52	784363.4	45836.7
Agustus	1.68	0.42	1545719.7	24151.9
September	1.68	0.45	1545719.7	29705.7
Oktober	0.81	0.45	173243.9	29705.7
November	0.63	0.32	81512.6	10682.0
Desember	0.61	0.23	73993.3	3966.3
rata-rata	1.32	0.35	746927.8	14076.8

Tabel 2. Perhitungan daya mekanik yang dihasilkan gelombang laut

Bulan	Gelombang signifikan (m)		Daya akibat Mekanik gelombang (Pw), W	
	Tertinggi	Terendah	Tertinggi	Terendah
Januari	0.67	0.23	33741.3	2329.7
Februari	0.67	0.67	33741.3	33741.3
Maret	2.26	0.12	705091.8	458.1
April	2.26	0.12	705091.8	458.1
Mei	1.24	0.34	157227.6	6189.7
Juni	1.97	0.34	500195.9	6189.7
Juli	1.34	0.52	190869.5	17905.4
Agustus	1.68	0.42	335929.2	10497.8
September	1.68	0.45	335929.2	12474.0
Oktober	0.81	0.45	54223.4	12474.0
November	0.63	0.32	28928.5	5319.2
Desember	0.61	0.23	26687.0	2329.7
rata-rata	1.32	0.35	188624.3	6883.0

Gaya-gaya pada airfoil

- Menghitung resultan kecepatan relative (W_R), Kita harus mengetahui terlebih dahulu nilai jari-jari hub (R_H) dan jari-jari tip (R_T) terlebih dahulu, dengan asumsi $R_H = 0,7$ dengan putaran, $n = 350 \text{ rpm}$, Andrei Greev (2011)

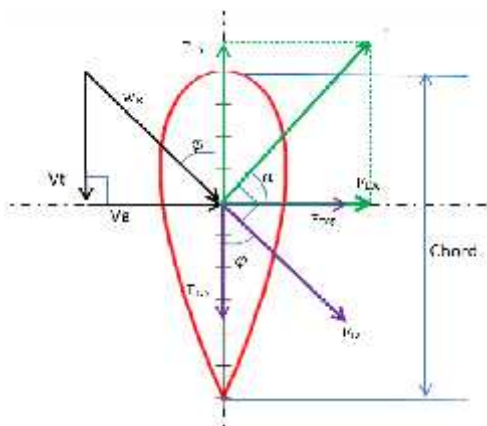
$$W_R = \sqrt{VA^2 \times VT^2}$$

$$VA = V_2 = 22 \text{ m/s}$$

$$VT = R_T \times \omega$$

$$= 0,7 \times \frac{2\pi n}{60} = 55,21 \text{ m/s}$$

$$W_R = \sqrt{VA^2 \times VT^2} = 59,429 \text{ m/s}$$



Gambar 4. Segitiga kecepatan dan gaya-gaya pada airfoil

- Menghitung gaya angkat (F_L) dan gaya hambat (F_D) pada blade, dengan asumsi rasio kecepatan aksial $a = 0,333$ (Betz limit), panjang *chord*, $c = 0,5$ m, massa jenis angin $1,22 \text{ kg/m}^3$, jumlah blade, $N_B = 8$, dengan $C_D = 0,01412$ (NACA 0018), $C_L = 1,0998$ (NACA 0018), dengan sudut serang, $\alpha = 10$ (NACA 0018)

Menghitung gaya angkat F_L , menggunakan persamaan 2

$$F_L = C_L \times 0,5 \dots a \times W_R^2 \times c \times N_b$$

$$= 3159,24 \text{ N}$$

Menghitung gaya hambat F_D , menggunakan persamaan 3

$$F_D = C_D \times 0,5 \dots a \times W_R^2 \times c \times N_b$$

$$= 40,561 \text{ N}$$

Daya mekanik pada turbin

- Menghitung gaya *thrust*, menggunakan persamaan:

$$F_{Thrust} = F_L \cos \alpha + F_D \sin \alpha$$

$$= 3118,290 \text{ N}$$

- Menghitung gaya torsi, menggunakan persamaan:

$$F_{torsi} = F_L \sin \alpha - F_D \cos \alpha$$

$$= 3159,24 \sin 10 - 40,561 \cos 10$$

$$= 508,652 \text{ N}$$

- Menghitung torsi turbin wells, menggunakan persamaan:

$$\ddagger = F_{torsi} \times R_{AV}$$

$$= 508,652 \times 0,806 = 410,10 \text{ Nm}$$

- Menghitung daya mekanik pada turbin, dengan kecepatan putar, $n = 350 \text{ rpm}$, menggunakan persamaan:

$$P_m = \ddagger \times \omega$$

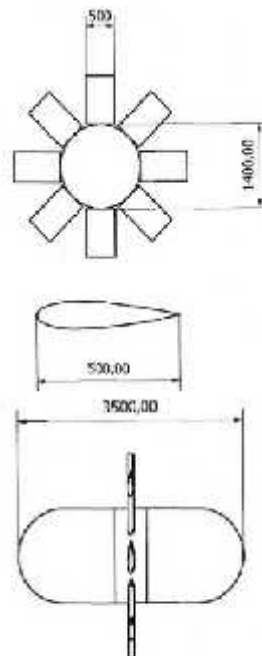
$$= 410,10 \times 36,65 = 15301,13 \text{ W}$$

- Menghitung efisiensi osilasi kolom air, menggunakan persamaan 12

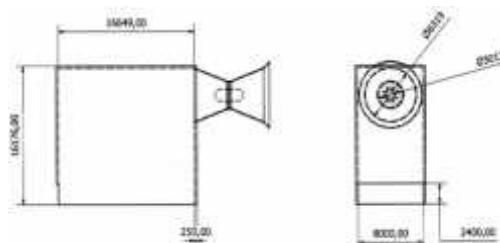
$$\text{Efisiensi OWC} = \frac{P_a}{P_w} \times 100\%$$

$$= 24,544 \%$$

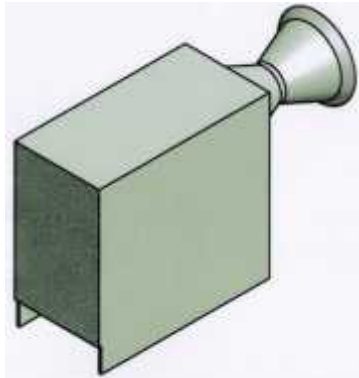
Rancangan desain PLTGL-OWC



Gambar.5 Gambar desain runner dan airfoil



Gambar 6. Gambar 2D desain oscillating water column (OWC), runner turbin Wells, dan saluran udara untuk penempatan runner turbin Wells (3)



Gambar 7. Gambar 3D instalasi turbin Wells pada sisten *oscillating water column* (OWC) pada PLTGL

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan dapat disimpulkan :

- Daya listrik yang dihasilkan gelombang laut dengan penggunaan PLTGL-OWC yang dapat dihasilkan dengan energi terkecil sebesar 563,3089 Joule di bulan Maret dan April, sedangkan energi terbesar yang dihasilkan sebesar 3.762.948,04 Joule di bulan Maret dan April.
- Untuk penggunaan turbin Wells dengan simulasi yang digunakan menghasilkan daya mekanik turbin sebesar 15031, 13 Watt, dengan efisiensi osilasi kolom air 24,544%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andi Trimulyono, Berlian Arswendo A. (2012), Perancangan Turbin Arus Laut Untuk Daerah Pesisir Pantai Tipe Kobold Dengan Bilah Hlift Dan Naca 0018 Yang Dimodifikasi Dengan Computational Fluid Dynamic (CFD), Program Studi S1 Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, KAPAL- Vol. 9, No.3 Oktober 2012
- [2] Andrei Gareev. (2012), Analysis Of Variable Pitch Air turbines For Oscilating Water Column (OWC) Wave Energy Converters, University Of Wollongong.
- [3] Gelombang Laut, Posted on October 28, 2011 by eckoeffendi
- [4] Himran, Syukri, 2005. Energi Angin, CV Bintang Lamumpatue, Makassar.
- [5] Hau, E. 2006. Wind Turbines Fundamentals, Technologies, Applications, Economics 2nd Edition. Berlin: Springer.
- [6] Joy Ferdinand Ludji. (2014), Analisis Efisiensi Sistem Osilator Kolom Air Sebagai Pembangkit Daya Tenaga Gelombang Laut, Universitas Nusa Cendana Kupang, LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana, Vol. 01, No. 02, Oktober 2014
- [7] Nugroho, D. Adi (2010), Energi Laut sebagai Pembangkit Listrik, Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang
- [8] Putranto, A., Prasetyo, A., Zاتمiko., Arief Zاتمiko. (2011), Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal untuk Penerangan Rumah Tangga, Diploma III Teknik Mesin Semarang
- [9] Sudarja., Nurcahya Teddy. (2008), Pengaruh Lokasi Maksimum Airfoil Simetris terhadap Koefisien Angkat Aerodinamisnya, Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [10] S. Rahma. Utamai (2010), Studi Potensi Pemangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Menggunakan Sistem Osilating Water Colomn (Owc) di Tiga Puluh Wilayah Kelutan Indonesia, Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Kekhususan Tenaga Listrik Depok, Universitas Indonesia, Juni 2010
- [11] Wijaya, I Wayan Arta. (2010), Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Teknologi Oscilating Water Column di Perairan Bali, Universitas Udayana, Email: artawijaya@ee.unud.ac.id
- [12] <http://abdoelrauf.blogspot.com/2012/05/pembangkit-listrik-tenaga-.html>, November 2014
- [13] <http://owcwaveenergy.weebly.com/generating-power.html>, November 2014