



SKRIPSI - ME 091329

STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA GELOMBANG LAUT TIPE OSCILLATING
WATER COLUMN (OWC) DI PANTAI BANDEALIT
JEMBER

ALEK RAHMATULLAH
NRP. 4208 100 029

Dosen Pembimbing :
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.
Indra Ranu Kusuma, S.T, M.Sc

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA
2013



FINAL PROJECT - ME 091329

PLAN STUDY FOR WAVE POWERPLANT BASED ON
OSCILLATING WATER COLUMN TYPE (OWC) ON
BANDEALIT BEACH, JEMBER

ALEK RAHMATULLAH
NRP. 4208 100 029

Supervisors :
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.
Indra Ranu Kusuma, S.T, M.Sc

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2013

STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT TIPE OSCILLATING WATER COLUMN (OWC) DI PANTAI BANDEALIT JEMBER

Nama Mahasiswa : Alek Rahmatullah NRP : 4208 100 029
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.
Indra Ranu Kusuma, ST. M.Sc.

Abstrak

Salah satu sumber energi alternative untuk pembangkit listrik yang tersedia di Indonesia adalah ombak. Pengkonversian energi ombak agar dapat berubah menjadi energi listrik adalah dengan menggunakan pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) dengan tipe oscillating water column (OWC). OWC adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan tekanan udara dalam komlom yang dihasilkan oleh gerakan ombak untuk memutar turbin yang disambungkan ke generator. Pada studi ini akan silakukan perencanaan penempatan PLTGL di daerah pantai selatan jawa tepatnya di daerah Bandalit, jember dan menghitung daya yang dapat dihasilkan oleh PLTGL tersebut. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan desain OWC yang sudah ada dengan 3 kolom dengan variasi lebar tiap kolom. Variasi lebar kolom yang digunakan adalah 2m, 3m dan 4m. Dari hasil perhitunganyang dilakukan terhadap ketiga dimensi OWC tersebut didapatkan daya yang terbesar yakni pada lebar kolom 4m. dari hasil perhitungan diketahui bahwa untuk satu unit OWC yang terdiri dari 3 buah kolom dengan ukuran tiap kolom 4 meter dapat menghasilkan daya rata-rata hingga 4,8 kilowatt. Sehingga untuk memenuhi kebutuhan listrik daerah Bandalit yang sebesar 23850 watt (53 rumah x 450 watt) maka dibutuhkan paling tidak 6 unit PLTGL untuk memenuhi kebutuhan listrik didaerah tersebut .

Keyword : Wave power, Pembangkit Listrik, Ombak, Gelombang Laut, Oscillating, OWC.

PLAN STUDY FOR WAVE POWERPLANT BASED ON OSCILLATING WATER COLUMN TYPE (OWC) ON BANDEALIT BEACH, JEMBER

Name : Alek Rahmatullah
NRP : 4208 100 029
Department : Marine Engineering – ITS
Supervisors : Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.
Indra Ranu Kusuma, ST. M.Sc.

Abstract

One of the alternative energy source for power plant in big supply in indonesia is wave. Conversion of wave power energy so that can be converedt to electricity power is using wave energy power plant based on oscillating water column (OWC)type. OWC is one kind of wave powerplant that utilize power of air pressure that generated by wave's motion to rotate the turbine that connected to electric generator. In this study, the wave powerplant will be planted at Bandalit beach, Jember and it will be calculate the power that can be generated by the powerplant. The calculation will be performed on an existing design with three column with variation of each column width. Variation that used are 2m, 3m and 4m width for each column. From the calculation result of three variation of column width, its obtained that the biggest power was generated by OWC with each column width is 4m. From the calculation results, its obtained that OWC with 4m width for each column can generate 4,8 kilowatt evenly in 2011. In that case to handle electricity requirement of the location that 23850watt (53 house x 450 watts each) then it takes at least 6 units of wave power plant to replenish the electricity requirement of the location.

Keyword : Wave power, Wave, Power Plant, Sea wave, Oscillating Water Column, OWC.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Proses Terjadinya Ombak

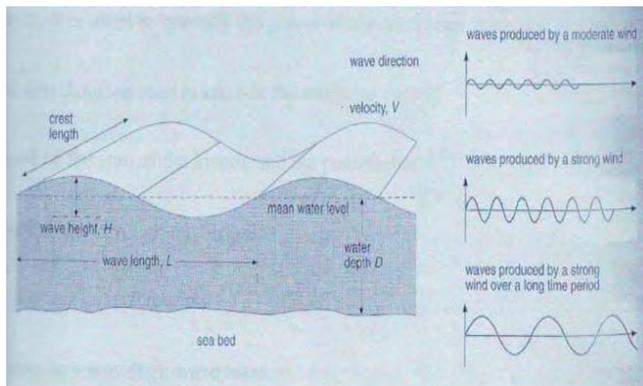
Gelombang permukaan laut (ombak) adalah gelombang permukaan yang terjadi di permukaan laut. Peristiwa terjadinya ombak karena adanya waktu dan perbedaan kekuatan penyinaran matahari, serta adanya pengaruh iklim lokasi suatu daerah, maka akan terjadi tekanan udara yang berbeda pada beberapa daerah yang berbeda. Akibat adanya perbedaan tekanan udara ini akan terjadi aliran udara yang bertekanan tinggi ke daerah yang bertekanan rendah. Aliran udara ini yang disebut angin. Bila angin melawati suatu daerah lautan terbuka serta bertiup secara terus menerus pada permukaannya, mula – mula akan menyebabkan riak pada permukaan tersebut, dimana makin lama semakin besar. Pada saat ini riak telah menjadi ombak.

Ombak adalah perubahan energi yang sederhana, energi ini telah dimiliki dari permulaan. Sumber Energi ombak terjadi karena empat fenomena :

1. Pergerakan dari permukaan air laut dikarenakan gelombang dengan periode rendah dari energi yang rendah.
2. Angin berhembus di laut yang menghasilkan riak dan ombak teratur
3. Tsunami yang disebabkan gangguan pada akitivitas pergerakan lempengan bumi
4. Gravitasi matahari dan bulan yang mengakibatkan terjadinya ombak.

(McCormick, Michael E, "Ocean Wave Energy Conversion", Dept of Naval Systems Engineering, U.S Naval Academy, Annapolis, Maryland.)

Karakteristik dari ombak adalah panjang ombak (L), tinggi ombak (H), dan periode ombak (T). Panjang gelombang (ombak) (L) adalah pengukuran jarak dari beberapa poin pada ombak yang berdekatan. Tinggi ombak (H) adalah jarak vertical dari puncak ke dasar ombak. Periode (T) adalah waktu yang diambil dari ombak untuk melewati suatu poin. Amplitude (A) adalah jarak dari pergerakan ombak keatas dan kebawah dari level laut. Celerity (C) adalah kecepatan pergerakan dari ombak. (Istokomah, 2005)



Gambar 2.1 Karakteristik Ombak
(Istokomah, 2005)

2.2. Faktor Yang Mempengaruhi Ombak

Gelombang laut atau yang biasa disebut ombak merupakan fenomena alam yang tidak dapat diprediksi maupun diatur kemunculannya secara pasti. Namun ombak dapat diprediksi dengan menganalisa factor-faktor yang mempengaruhi kemunculannya tersebut. Beberapa factor utama yang mempengaruhi ombak antara lain sebagai berikut.

2.2.1. Angin

Angin adalah salah satu faktor yang mempengaruhi terjadinya ombak, angin mempengaruhi variasi pada tinggi dan periode terjadinya ombak. Ombak teratur (*swell*) tergantung pada :

- a. Kecepatan angin
- b. Lama angin berhembus (*duration*)
- c. Panjang daerah persentuhan angin dengan permukaan air laut (*panjang fetch*).

Ketiga faktor diatas sangat menentukan tinggi dan periode dari ombak teratur. (Ardianto, 1996) Jika angin berhembus dengan kecepatan konstan maka ketinggian ombak akan meningkat begitu juga dengan periode dari ombak. Kemudian perjalanan ombak teratur dari jarak ratusan meter, karena daerah bangkitan ombak jauh dari pantai. Dalam perjalanannya ketinggian ombak akan berkurang namun periode ombak meningkat. (Ardianto, 1996)

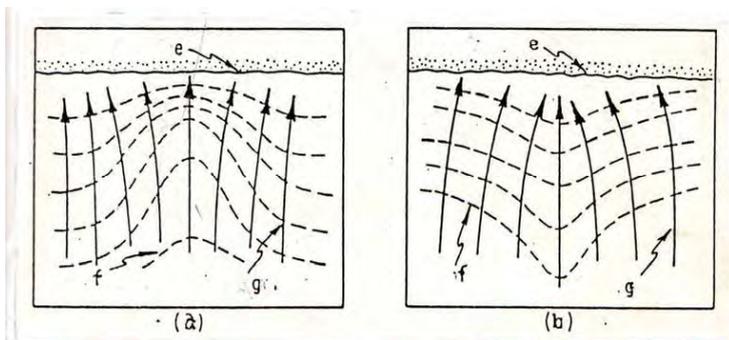
2.2.2. Batimetri

Batimetri berasal dari bahasa Yunani dari kata *bati* yang artinya kedalaman dan *metri* yang artinya ukuran, jadi batimetri adalah ilmu yang mempelajari kedalaman di bawah air dan studi tentang tiga dimensi lantai samudra .(<http://www.en.wikipedia.org/wiki/batimetri>) Yang di alami ombak saat mendekati pantai, ombak teratur (*swell*) mengalami perubahan tinggi, panjang gelombang dan kecepatan sesuai dengan keadaan dasar laut dan rintangan – rintangan yang ada di alam, seperti pulau, karang dan lain – lain. Maka ombak tersebut mengalami deformasi gelombang yaitu refraksi, difraksi dan refleksi.

2.2.3. Refraksi

Refraksi adalah salah satu deformasi yang dialami ombak karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Pada daerah laut dalam dasar laut tidak mempengaruhi jalannya ombak sedangkan di daerah laut dangkal dan transisi, ombak dipengaruhi oleh dasar laut. Pada daerah laut dangkal dan transisi, jika meninjau pada garis puncak gelombang, bagian dari puncak gelombang yang berada di air yang lebih dangkal akan menjalar dengan kecepatan yang lebih rendah daripada bagian air di yang lebih dalam, fenomena tersebut akan membelokkan garis puncak gelombang dan berusaha akan sejajar dengan garis kontur dasar laut. Fenomena ini dapat di analogikan seperti cahaya yang memasuki dua medium yang berbeda. (Triatmojo, Bambang, 1999)

Jika cepat rambat gelombang berkurang karena 17 kedalaman laut maka panjang gelombang juga berkurang secara linier. Pada puncak gelombang terjadi variasi cepat rambat gelombang yang membentuk sudut tertentu terhadap kontur dasar laut dengan adanya variasi tersebut menyebabkan puncak gelombang membelok dan berusaha sejajar dengan kontur dasar laut. Refraksi menyebabkan perubahan arah gelombang dan akan menghasilkan konvergensi (penguncupan) atau divergensi (penyebaran) energi gelombang dan berpengaruh pada energi gelombang yang sampai di pantai. (Triatmojo, Bambang, 1999, "Teknik Pantai", Beta Offset, Yogyakarta) Gambar 2.5.3.1 ini adalah contoh refraksi gelombang di pantai.



Gambar 2.3 a. Refraksi di lembah, b Refraksi di Punggungan
(Ardianto, 1996.)

Keterangan gambar :

e = garis pantai

F = garis kontur

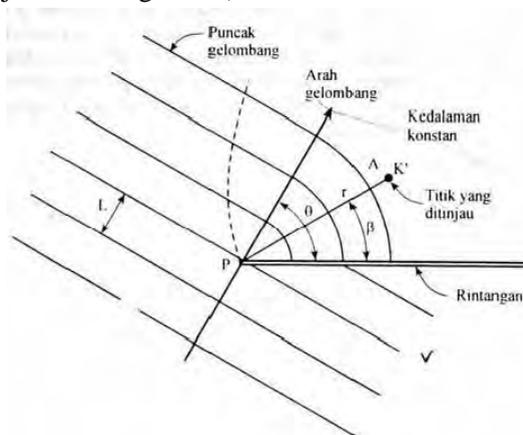
g = garis puncak ombak

Pada daerah lembah, gambar 2.4.3.2.a, arah ombak berbelok menuju punggungan maka ombak menyebar. Dengan ombak menyebar mengakibatkan kerapatan dari energi ombak menjadi kecil. Daerah seperti ini disebut daerah *divergen*. Pada gambar 2.4.3.2.b energi ombak jadi terpusat, maka daerah ini disebut daerah *konvergen*.(Ardianto, 1996,) Pada daerah *konvergen* ini adalah daerah yang cocok untuk membangun pembangkit listrik energi ombak karena ombak terpusat akan menghasilkan energi ombak yang cukup besar dibandingkan daerah divergen.

2.2.4. Difraksi

Jika gelombang yang datang terhalang oleh suatu rintangan, maka gelombang akan membelok disekitar ujung

rintangan dan masuk di daerah terlindungi dibelakangnya. Fenomena ini adalah difraksi gelombang. Pada difraksi terjadi transfer energi dalam arah tegak lurus penjalaran gelombang menuju daerah yang terlindung, jika tidak terjadi difraksi gelombang di belakang rintangan akan tenang. Namun karena adanya difraksi maka daerah tersebut terpengaruh oleh gelombang datangnya. Transfer energi ke daerah terlindungi menyebabkan terbentuknya gelombang di daerah tersebut. (Triatmojo, Bambang, 1999)

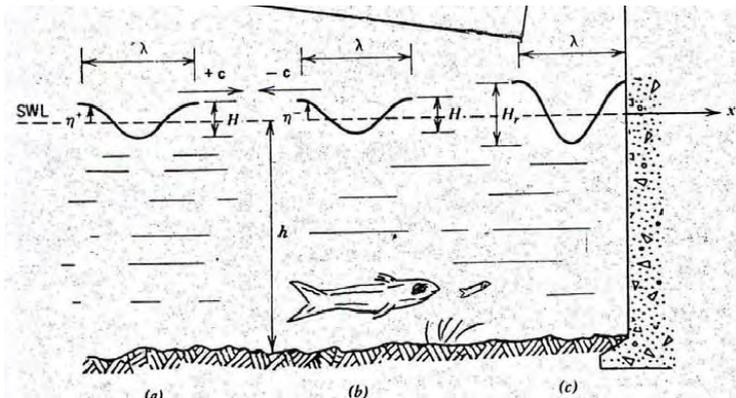


*Gambar 2.4 difraksi gelombang di belakang rintangan
(Triatmojo, Bambang, 1999, "Teknik Pantai", Beta Offset,
Yogyakarta)*

2.2.5. Refleksi

Saat ombak membentur rintangan vertikal, seperti dinding pantai, energi ombak tersebut akan di serap sebagian oleh dinding pantai jika dinding tersebut keropos. Namun keadaan sebenarnya energi tidak diserap namun dipantulkan (20 reflected), maka refleksi adalah pemantulan energi gelombang akibat membentur rintangan. (McCormick,

Michael E, "Ocean Wave Energy Conversion", Dept of Naval Systems Engineering, U.S Naval Academy, Annapolis, Maryland.)

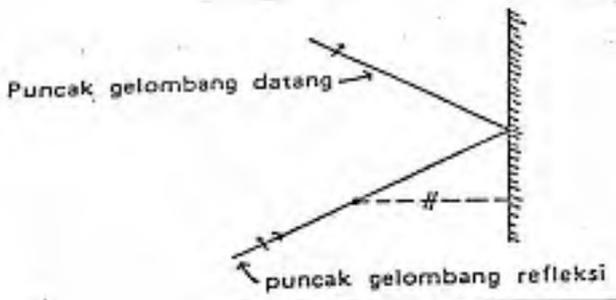


Gambar 2.5 Refleksi (McCormick, Michael E, 1981 "Ocean Wave Energy Conversion", Dept of Naval Systems Engineering, U.S Naval Academy, Annapolis, Maryland.)

Ketika mengalami refleksi, energi ombak terurai menjadi tiga unsur :

- Yang diteruskan
- Yang direfleksikan
- Yang hilang

Tinggi ombak setelah refleksi akan berkurang disbanding dengan tinggi ombak yang akan datang. (Ardianto, 1996)



*Gambar 2.6 Refleksi pada dinding vertikal
(Ardianto, 1996)*

2.3. Oscillating Water Column (OWC)

Konversi Energi Gelombang Laut tipe OWC telah banyak diminati oleh para peneliti karena pertimbangan kesederhanaan dan kemudahan dalam mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi lain yang lebih berdaya guna. Pertimbangan dasar lainnya karena tipe OWC tidak memiliki komponen konstruksi yang bergerak dibawah air laut yang sangat korosif. Saat ini sudah ada pembangkit listrik yang dibangkitkan oleh energi gelombang laut. Pembangkit energi gelombang yang banyak dikembangkan adalah jenis Oscillating Water Column (OWC).

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. Sistem yang berfungsi mengkonversi energi mekanik menjadi listrik terletak di atas permukaan laut dan terisolasi dari air laut dengan meletakkannya di dalam ruang khusus kedap air, sehingga bisa dipastikan tidak bersentuhan dengan air laut. (M. Hendra Pebrianto,2008).

Jenis ini menghasilkan tekanan udara akibat terkena gelombang laut.. Tekanan udara ini kemudian dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin udara yang dikopling dengan genertator listrik. Masalahnya adalah turbin udara harus dapat berputar satu arah meskipun arah tekanan aliran udara bolak-balik.

Energi ombak OWC terbentuk melalui efek osilasi tekanan udara pada kolam akibat fluktuasi pergerakan gelombang yang masuk ke dalam chamber. Tekanan udara tersebut digunakan untuk menggerakkan turbin angin, prinsip kerjanya dapat dilihat pada gambar dibawah



Gambar 2.7 Sistem Oscillating Water Column

Pertama pergerakan ombak (1) akan masuk kedalam kolom (2) lalu udara tertekan keatas didalam kolom (3) setelah melewati katub (5) angin yang terkompresi menggerakkan turbin angin (7) yang terhubung dengan generator, yang menkonversikan gerakan turbin menjadi listrik (8). Di Indonesia OWC sudah dibangun di daerah gunung kidul, jawa tengah, sedangkan tipe modelnya dapat dilihat di Technopark Parang racuk, Yogyakarta dikembangkan oleh BPPT, teknologi ini dinamakan PLTO (Pembangkit Listrik Tenaga Ombak) beroperasi dikedalaman 4-10 m dengan rpm maksimal 3000 rpm, listrik yang dihasilkan mencapai 3400 KW [6]. OWC yang sering digunakan terdapat dua tipe, yaitu tipe fixed dan floating,

OWC tipe floating merupakan pembangkit listrik tipe Oscillating Water Column yang diletakkan dikedalaman tertentu demi mendapatkan tinggi gelombang yang diinginkan. OWC dengan tipe ini akan lebih membutuhkan biaya dalam menyalurkan energi listrik ke darat. Namun OWC tipe ini akan lebih fleksibel dalam menghadapi pasang surut air laut karena OWC ini berada ditengah laut yang tidak terpengaruh pasang surut air laut



Gambar 2.8 OWC Tipe Floating

Untuk OWC tipe fixed adalah Pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe OWC yang ditempatkan dibibir pantai. OWC ini memiliki kelebihan yaitu lebih mudah dalam menyalurkan energi listrik ke darat. Namun OWC tipe ini harus dibuat dengan menyesuaikan ketinggian pasang surut air laut.



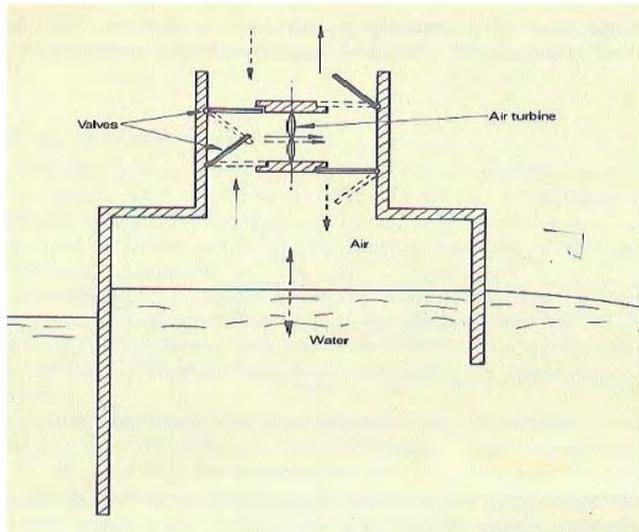
Gambar 2.9 OWC Tipe Fixed

2.4. Turbin

Turbin udara yang ditemukan sendiri oleh para inventor. Diantaranya Masuda dari Jepang menggunakan turbin jenis baling-baling dengan beberapa katub pembuka dan penutup. Sedang menggunakan turbin udara yang dapat berputar satu arah dengan alat pengarah aliran udara.

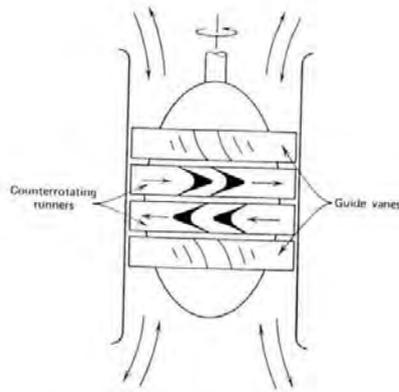
Metode pembangkitan listrik bertenaga gelombang laut tipe owc terutama bagian turbin telah dipatenkan oleh para invensi-invensi terdahulu. Masuda menemukan cara untuk mengkonveri energi tekanan udara yang bolak-balik dengan turbin propeler dan katub buka–tutup.

Bila tekanan udara keatas atau ketika gelombang naik katub kiri bawah akan membuka dan tekanan udara akan memutar turbin dari kira selanjutnya katub kanan atas terbukan dan akan mengeluarkan tekanan udara. Demikian sebaliknya ketika gelombang turun udara akan terhisap melalui katub atas kiri yang terbukan dan aliran udara akan memutar tubin dari arah sebelah kiri sehingga turbin akan berputar tetap pada arah yang pertama, selanjutnya katub kanan bawak terbuka untuk menghisap tekanan kebawah (lihat gambar 3).

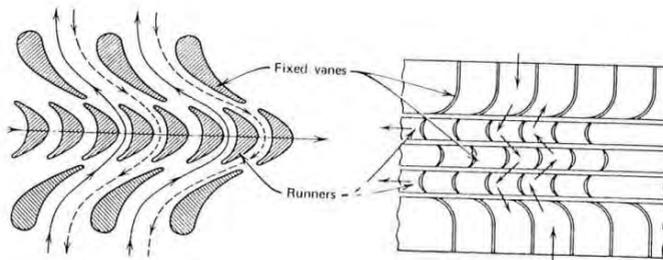


Gambar 2.10 Sistem Buka tutup Katup masuda (Arif Suroso, 2005)

Penemu yang lain adalah McCormik yang menggunakan teknik yang disebut *self-rectifying property*. Seperti terlihat pada gambar 4. Tekanan udara dialirkan melewati pengarah ke kiri sehingga akan memutar sudu turbin bawah yang berlaku sebagai daya rotor utama. Rotor ini selanjutnya akan berfungsi sebagai stator yang bergerak untuk daya rotor kedua yang bergerak berlawanan dengan rotor pertama. Demikian juga sebaliknya kalau tekanan udara berbalik arah. Sistem ini telah digunakan dalam kapal eksperimen *Kaimei*. Gambar 5 memperlihatkan sistem turbin dari penemu- penemu lainnya.



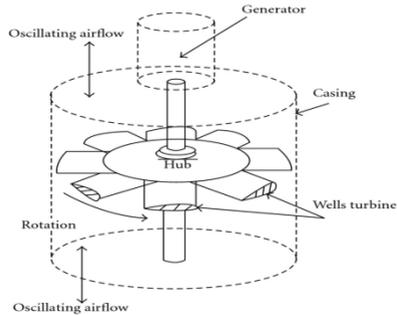
Gambar 2.11 Sistem Turbin Mc Cormic (Arif Suroso, 2005)



Gambar 2.12 Sistem Turbin Oleh Babinsten dan Filipenco (Arif Suroso, 2005)

Turbin Wells adalah turbin udara bertekanan rendah yang berputar terus menerus dalam satu arah walaupun arah aliran udara yang melewatinya berubah. Turbin ini ditemukan oleh prof. Allan Arthur Wells dari Queen's University Belfast pada akhir tahun 1970-an. Blade pada turbin ini memiliki bentuk aerofoil yang simetris dan juga simetris pada bidang rotasi dan tegak lurus terhadap aliran udara. Turbin ini dikembangkan untuk digunakan dalam pembangkit tenaga

ombak, di mana permukaan air naik dan turun bergerak dalam ruang kompresi udara menghasilkan aliran udara berosilasi.



Gambar2.13 wells turbine (wikipedia, 2013)

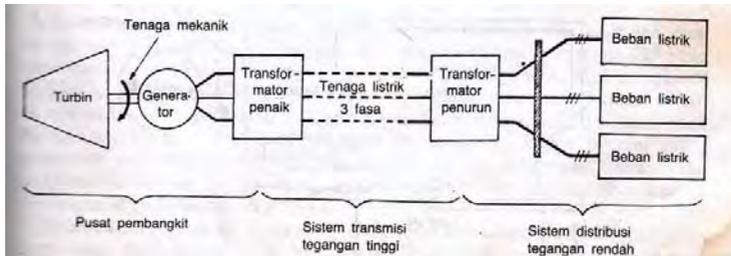
Penggunaan turbin yang bersifat bidirectional ini ditujukan untuk menghindari kebutuhan untuk perawatan system katup yang berfungsi untuk mengatur arah aliran udara. Namun wells turbin memiliki nilai Efisiensi lebih rendah dibandingkan dengan turbin dengan arah aliran udara konstan dan asimetris airfoil. Salah satu alasan untuk efisiensi yang lebih rendah adalah bahwa airfoil simetris memiliki koefisien drag yang lebih tinggi daripada yang asimetris, bahkan dalam kondisi yang optimal. Dalam turbin Wells, airfoil simetris digunakan dengan menggunakan sudut serangan yang tinggi (yaitu, pisau kecepatan / rasio udara kecepatan rendah), seperti yang terjadi selama kecepatan udara maximal dalam aliran. Sebuah sudut tinggi serangan menyebabkan kondisi yang dikenal sebagai kondisi "stall" di mana airfoil kehilangan daya angkat. Efisiensi turbin Wells dalam aliran osilasi mencapai nilai antara 0,4 dan 0,7.

2.5. Sistem Tenaga

Cara yang paling ekonomis, mudah dan aman untuk mengirimkan energi adalah melalui bentuk energi listrik. Pada pusat pembangkit, sumber daya energi primer seperti bahan bakar fosil, hidro, panas bumi dan nuklir diubah menjadi energi listrik. Generator sinkron mengubah energi mekanis yang dihasilkan pada poros turbin menjadi energi tiga fasa. (Zuhail, 1988)

Melalui transformator penaik tegangan (*step-up transformer*) energi listrik ini kemudian dikirimkan melalui saluran transmisi bertegangan tinggi menuju pusat – pusat beban. Peningkatan tegangan dimaksudkan untuk mengurangi jumlah arus yang mengalir pada saluran transmisi. Dengan demikian saluran transmisi bertegangan tinggi akan membawa aliran arus yang rendah dan berarti mengurangi rugi panas (*heat loss*) I^2R yang menyertainya. Ketika saluran transmisi mencapai pusat beban, tegangan tersebut kembali diturunkan menjadi tegangan menengah, melalui transformator penurun tegangan (*step – down transformer*). (Zuhail, 1988)

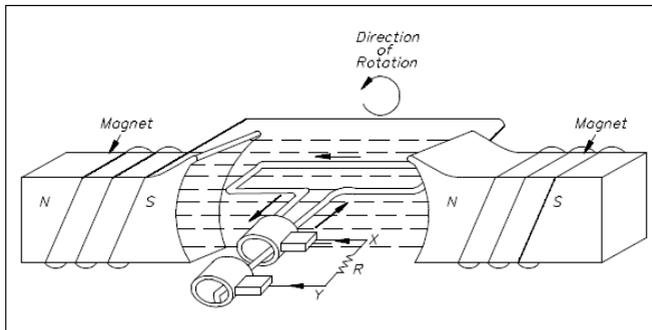
Pada pusat – pusat beban yang terhubung dengan saluran distribusi, energi listrik ini diubah kembali menjadi bentuk – bentuk energi terpakai lainnya seperti energi mekanis, penerangan, pemanas, pendingin dll. Elemen pokok sistem tenaga dapat dilihat pada gambar 2.1.1. (Zuhail, 1988)



*Gambar 2.14 Elemen Pokok Sistem Tenaga
(Zuhal, 1988)*

2.6. Generator

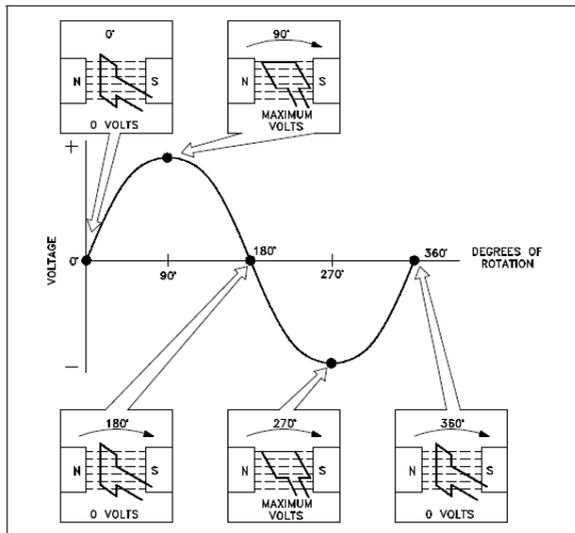
Generator dapat menghasilkan listrik karena adanya konversi energi dari mekanik menjadi energi listrik yang berlangsung melalui medium medan magnet. Dengan demikian medan magnet berfungsi sebagai medium untuk megkopel proses perubahan energi. (Albiyanto,R Ardi,1992.)



*Gambar 2.15. Generator AC sederhana
(U.S. Department of Energy, DOE Fundamentals Handbook
Electrical Science Volume 3,1992)*

Sebuah kumparan berputar melewati medan magnet. Pada posisi 0° kumparan tidak memotong flux, pada posisi ini

tidak terjadi induksi. Kumparan berputar pada posisi 90° , pada posisi ini kumparan memotong flux dan terjadi tegangan induksi maksimum pada arah positif. Kumparan berputar kembali pada posisi 180° , pada posisi ini kumparan tidak memotong flux dan tidak terjadi induksi. Kumparan berputar pada posisi 270° . Kumparan kembali memotong flux sehingga terjadi tegangan induksi namun pada arah negatif. Kumparan kembali berputar dengan kecepatan yang konstan menuju pada posisi 360° sehingga kumparan tidak memotong flux maka tidak terjadi induksi.



*Gambar 2.16 Proses pada generator AC
(U.S. Department of Energy, DOE Fundamentals Handbook
Electrical Science Volume 3, 1992)*

Frekuensi yang biasa dipergunakan adalah 50 Hz dan 60 H. Untuk menghasilkan frekuensi tegangan arus bolak

balik yang konstan harus diperoleh putaran poros rotor dari prime mover yang konstan pula, karena itu generator disebut mesin sinkron. Keadaan sinkron ini sangat dipengaruhi oleh beban yang ditanggung dan akan terpengaruh oleh suatu beban kejut. (Albiyanto, R Ardi, 1992.)

Pembangkitan tegangan 3 fase diperoleh dengan menyusun kumparan jangkar dari 3 kumparan yang saling beda sudut 120° berputar pada medan magnet. Tegangan bolak balik yang dibangkitkan berselisih waktu sepertiga pada tiap gelombang sinus. Tegangan terbagi-bagi tersebut ditransmisikan dalam 4 kawat dimana 3 kumparan jangkar disusun dalam bentuk rangkaian Y dengan 3 kawat saluran (R,S,T) dan satu kawat netral. (Albiyanto, R Ardi, 1992.)

Generator AC memiliki beberapa tipe, dengan parameter sebagai berikut :

1. Ditinjau dari jenis kutub
 - Terdiri dari *salient pole* untuk generator kecepatan rendah dan *non salient pole* untuk generator berkecepatan tinggi
2. Posisi kutub
 - Terdiri dari *internal poles* dan *external poles*, *internal poles* adalah kumparan medan berada pada rotor dan kumparan jangkar berada pada stator, pada generator ini biasanya untuk generator dengan kapasitas yang rendah. *External poles* adalah kumparan medan berada pada stator dan kumparan jangkar berada pada rotor, generator ini biasanya untuk generator dengan kapasitas tinggi.
3. Sistem eksitasi
 - Terdiri dari *brush excitation* dan *brushless excitation*. (Sarwito, Sardono, "Marine Electrical")

Arus eksitasi merupakan arus searah yang dialirkan ke kumparan medan supaya kumparan medan tersebut bersifat magnetik dan menghasilkan medan magnet konstan.

Untuk generator besar, kumparan kutublah yang berputar dan kumparan jankar tetap (stator). Dengan demikian arus dan tegangan bisa diperoleh dari bagian generator yang tetap, sedangkan arus eksitasi harus melalui sikat dan cincin geser. Sikat dan cincin geser menghubungkan kumparan medan dengan sumber tegangan dari luar.

Generator memiliki generator penguat (exciter) berupa DC exciter atau AC exciter yang dipasang terpisah atau seporos dengan generator utama. Sistem AC exciter merupakan mesin kutub luar sehingga arus eksitasi diperoleh langsung dari motor melalui penyearah 3 fase ke kumparan medan generator utama. Generator ini dikenal sebagai brushless excitation.

Sistem eksitasi dibagi menjadi dua kelompok , yaitu sistem eksitasi terpisah (separated excitation system) dimana sumber arus eksitasi diperoleh dari sumber tegangan terpisah dari generator utama seperti batere atau dari generator lain (DC exciter) lewat cincin geser dan sikat, sedangkan system eksitasi sendiri (self excitation system) sumber arus diperoleh dari keluaran generator atau lewat AC exciter yang terpasang satu poros dengan generator utama. Tipe terakhir lebih berkembang dengan beberapa variasi dimana sistem AVR (automatic voltage regulator) harus dipakai. (Albiyanto,R Ardi, 1992.)

4. Fase

Terdiri dari satu fase dan 3 fase generator. (Sarwito, Sardono, "Marine Electrical)

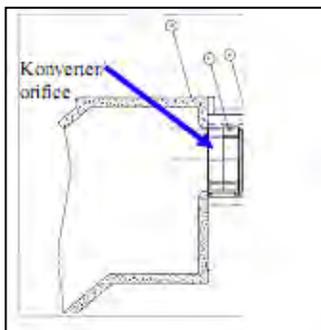
2.7. Pembangunan dan Konstruksi OWC

Oscillating Water Column memiliki konstruksi didalamnya yaitu kolektor/chamber dan converter/orifice. OWC yang dibangun di bibir pantai menggunakan bahan beton untuk konstruksinya.



Gambar 2.17 Kolektor pada OWC

(Publishable Report of Islay LIMPET Wave Power Plant)



Gambar 2.18. Konverter atau orifice Pada OWC

(Publishable Report of Islay LIMPET Wave Power Plant)

Untuk pembangunan OWC pertama adalah melakukan pengerukan pada bibir pantai yang akan di bangun OWC. Pada saat pengerukan bagain bibir pantai yang paling luar dibiarkan utuh untuk menahan air laut. Kedalama pengerukan di sesuaikan dengan kedalaman OWC.



Gambar 2.19. Proses pengerukan (Publisahable Report of Islay LIMPET Wave Power Plant)



Gambar 2.20 Proses pengerukan (Publisahable Report of Islay LIMPET Wave Power Plant)

Setelah dilakukan pengerukan kemudian dilakukan proses pemasangan konstruksi besi baja untuk dasar OWC dan untuk dinding penyekat tiap column. Setelah dilakukan pemasangan kawat dilakukan pengecoran beton. Untuk pengecoran sendiri prosesnya sama seperti membuat gedung – gedung pada umumnya.



Gambar 2.21 Proses pengecoran beton (Publisahable Report of Islay LIMPET Wave Power Plant)

Proses selanjutnya adalah menutup bagian atas dari OWC dengan balok – balok beton. Balok – balok beton diatasnya akan di cor kembali agar menyatu dan rongga – rongga dari sela – sela balok beton dapat tertutup.



Gambar 2.22 Proses pemasangan balok beton (Publisahable Report of Islay LIMPET Wave Power Plant)



Gambar 2.23. Proses pengecoran balok beton (Publisahable Report of Islay LIMPET Wave Power Plant)

Setelah proses pengecoran selesai kemudian dilanjutkan proses pemasangan orifice atau lobang converter. Orifice adalah lubang yang didalamnya terdapat turbin dan generator. Udara bertekanan akan masuk dari kolom/ chamber ke lubang ini karena dorongan dari gelombang air laut naik sehingga dapat menggerakkan turbin sekaligus generator. Dan

selanjutnya saat gelombang air laut turun, kevakuman udara didalam kolom akan membuat udara dari luar masuk kembali ke dalam kolektor melalui lubang orifice dan memutar turbin.



Gambar 2.24 Proses pemasangan orifice (Publisahable Report of Islay LIMPET Wave Power Plant)

setelah OWC selesai pembangunan dan pemasangan maka proses selanjutnya adalah dengan membuka dinding penahan air laut. Setelah dinding terbuka maka OWC sebagian kolektor akan terbenam air laut.



Gambar 2.25. Proses pengerukan tembok penghalang (Publisahable Report of Islay LIMPET Wave Power Plant)



*Gambar 2.26 Proses pengerukan tembok penghalang
(Publishable Report of Islay LIMPET Wave Power Plant)*



*Gambar 2.27. OWC yang sudah beroperasi
(www.carbontrust.co.uk/nr/owc1.pdf)*

2.8 Dasar Teori

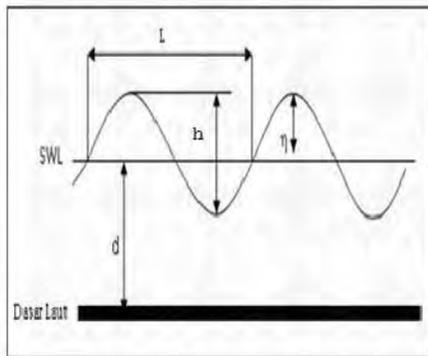
2.8.1 Perhitungan Energi Gelombang

Untuk mengetahui daya yang terdapat pada gelombang, maka pertama harus mengetahui energi gelombang yang tersedia. Energi gelombang total adalah jumlah dari energi kinetic dan energi potensial. Energi potensial dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$PE = mg \frac{y(x,t)}{2} \quad (2.1)$$

Dengan : PE = energi potensial (J)
 m = massa gelombang (kg)
 g = gaya gravitasi (m/s^2)
 y = y(x,t) = tinggi dari dasar laut ke permukaan ($d+\eta$)

(*Mc Cormick, Michael, 1981*)



*Gambar 2.28 Profil Gelombang Beserta Propertinya
 (Arseto, Rahdyawan, 2009)*

Keterangan Gambar:

- λ = panjang gelombang
- h = tinggi gelombang
- d = kedalaman
- SWL = sea water level
- η = amplitude gelombang
- c = kecepatan gelombang

Menghitung energi potensial setelah satu periode dapat mengasumsikan gelombang hanya dalam fungsi x dan waktu yang bebas, yaitu: $y(x,t) = y(x)$. Sehingga :

$$dPE = 0.5 w\rho a^2 \sin^2(kx - \omega t) dx \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} PE &= \int_0^\lambda dPE \\ &= \int_0^\lambda \frac{1}{2} w\rho g a^2 \sin^2(kx - \omega t) dx \\ &= \frac{1}{2} w\rho g a^2 \left[\frac{1}{2} x - \frac{1}{4} \sin^2(kx - \omega t) \right]_0^\lambda \quad (2.3) \end{aligned}$$

(*Mc Cormick, Michael, 1981*)

Mempertimbangkan $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ dan $\omega = \frac{2\pi}{T}$ maka diperoleh :

$$PE = \frac{1}{4} w\rho g a^2 \lambda \quad (2.4)$$

Total energi kinetik setelah satu periode adalah hasil total energi potensial.

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

Sehingga total energi setelah satu periode Adalah

$$E_w = PE + KE = \frac{1}{2} w \rho g a^2 \lambda \quad (2.6)$$

(*Mc Cormick, Michael, 1981*)

Setelah ketentuan energi diperoleh, dapat juga menambahkan parameter jumlah yang lain, seperti densitas energi, yang tersedia pada daya dan densitas respektif.

$$\text{Energy density : } E_{wD} = \frac{E_w}{T} = \frac{1}{2} \rho g a^2 \quad (2.7)$$

$$\text{Power : } P_w = \frac{E_w}{T} \quad (2.8)$$

$$\text{Power Density : } P_{wD} = \frac{P_w}{\lambda_w} = \frac{1}{2T} w \rho g a^2 \quad (2.9)$$

Sekarang dipertimbangkan kedalaman air, sehingga persamaannya menjadi :

$$\omega^2 = kg \rightarrow \left(\frac{2\pi}{\lambda} g \right) \rightarrow \lambda = \frac{g}{2\pi} T^2 \cong 1.56 T^2 \quad (2.10)$$

Diterapkan $\lambda = 1.56 T^2$ pada persamaan energi dan daya diatas.

$$E_w = 0.78 w \rho g a^2 T^2 \quad (2.11)$$

$$P_w = \frac{1}{8} w \rho g h^2 T \quad (2.12)$$

(*Mc Cormick, Michael, 1981*)

Akhirnya, jika menggunakan tinggi gelombang daripada amplitudo gelombang, didapat:

$$E_w = 0.195 w \rho g h^2 T^2 \quad (2.13)$$

$$E_{WD} = \frac{1}{2}\rho g a^2 \quad (2.14)$$

$$P_W = 0.195 w \rho g h^2 T \quad (2.15)$$

$$P_{WD} = \frac{1}{8T} \rho g h^2 \quad (2.16)$$

(Mc Cormick, Michael, 1981)

Dengan : KE = energi kinetik (J)

ρ = densitas air (kg/m^3)

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

a = Amplitudo gelombang h/2 atau η (m)

E_w = energi total (J)

P_w = daya (W)

K = koefisien gelombang $2\pi/\lambda$

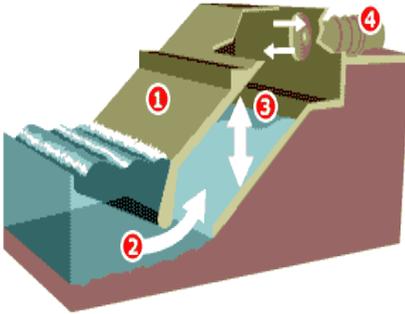
ω = kecepatan sudut gelombang $2\pi/T$ (rad/sec)

T = periode gelombang (sec)

H = tinggi gelombang (m)

2.8.2. Perhitungan Daya Gelombang pada OWC

Dalam penelitian ini menggunakan T dan H sebagai parameter. Densitas air (ρ) dan gravitasi konstan (g) dan tanpa kehilangan akurasi dapat mengambil nilai-nilai $1,025 \text{ kg/m}^3$ dan $9,81 \text{ m/sec}^2$. Lebar gelombang (w) dapat dianggap sama dengan lebar kolom. Sehingga, E_w, E_{WD}, P_w dan P_{WD} dapat dengan mudah dihitung dengan menggunakan rumus diatas.



Keterangan Gambar

- 1 : front wall
- 2 : sea water entrance
- 3 : kolom udara
- 4 : orifice & turbine

Gambar2.29 penampang OWC tipe Fixed

Untuk memeriksa efisiensi system OWC, maka perlu menghitung daya pada ujung atas saluran. Titik ini sebenarnya adalah titik terakhir sebelum turbin. Hal ini sangat penting untuk mengetahui efisiensi koefisien antara ruang dan saluran. Jika ingin merancang sebuah system OWC, kita harus mengoptimalkan ruang saluran bagian pertama . dalam menghitung kekuatan, menggunakan nilai eksperimental untuk tekanan dan kecepatan aliran pada saat itu. Persamaan bernouli memberikan tekanan total. Pertama, tekanan statis yang merupakan tekanan diferensial pada titik tersebut. Kami menganggap tekanan ini menjadi perbedaan antara mean dan minimum dari tekanan yang diukur.

Yang kedua adalah tekanan dinamis yang merupakan fungsi kuadrat dari kecepatan aliran udara dan densitas udara. Jumlah dari tekanan statis dan dinamis ini memberikan tekanan total pada titik tersebut. Daya masing-masing akan menjadi produk dari tekanan kali kecepatan aliran udara kali luas penampang melintang pada saat itu. Prosedur diatas didefinisikan oleh rumus bernitas berikut :

$$Pu = \left(P_2 + \frac{1}{2} \rho v^2 \right) v_1 A_1 \quad (2.17)$$

Dengan : P_u = Daya pada OWC (Watt)

P_2 = Tekanan udara pada Orifice (Pa)

ρ = Densitas Air (kg/m^3)

v_I = kecepatan udara pada kolom OWC (m/sec)

A_1 = Areakolom OWC (m^2)

(*Mc Cormick, Michael, 1981*)

Untuk menghitung daya yang keluar dari OWC menggunakan rumus Bernitas di atas sebelumnya diperlukan parameter-parameter yang lain. Ada beberapa tahapan untuk mendapatkannya, yaitu:

1. menghitung panjang gelombang.

$$\lambda = \frac{g}{2\pi} T^2 \quad (2.18)$$

2. menghitung frekuensi di dalam kolom

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.19)$$

3. menghitung kecepatan sudut dari gelombang

$$\omega = 2\pi f \quad (2.20)$$

4. menghitung kecepatan aliran udara sekitar kolom

$$v_1 = -\frac{\omega}{2} H \sin(\omega t) \quad (2.21)$$

5. menghitung aliran udara pada orifice

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 \quad (2.22)$$

6. menghitung tekanan pada orifice

- a. menghitung debit udara

$$Q_1 = v_1 A_1 \quad (2.23)$$

$$Q_1 = v_2 A_2 \quad (2.24)$$

- b. menghitung potensial kecepatan

$$\phi_1 \approx v_1 \eta_1 = -\frac{\omega H^2}{4} \sin(\omega t) \cos(\omega t) \quad (2.25)$$

$$\varphi_2 \approx v_2 \eta_2 = - \left(\frac{A_1}{A_2} \right) v_1 \frac{\omega H^2}{4} \sin(\omega t) \cos(\omega t) \quad (2.26)$$

c. tekanan pada orifice

$$P_2 = P_1 + \rho \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \frac{d\varphi_2}{dt} + \rho \frac{Q}{A_2} (v_2 - v_1) \quad (2.27)$$

(*Mc Cormick, Michael, 1981*)

Dengan :

λ = panjang gelombang (*m*)

g = gaya gravitasi (*m/s²*)

T = periode gelombang (*sec*)

v_1 = kecepatan aliran udara sekitar kolom OWC (*m/sec*)

f_c = frekuensi resonansi putaran pada area kolom (*Hz*)

ω_c = kecepatan sudut gelombang pada area kolom (*rad/s*)

v_2 = kecepatan aliran udara pada orifice (*m/sec*)

A_1 = Area kolom OWC (*m²*)

A_2 = Area kolom orifice (*m²*)

Q_1 = debit air pada kolom OWC (*m³/sec*)

Q_2 = debit udara pada orifice (*m³/sec*)

φ_1 = potensial kecepatan pada kolom OWC (*rad.m/sec*)

φ_2 = potensial kecepatan pada orifice (*rad.m/sec*)

2.8.3. Perhitungan Effisiensi OWC

Setelah mengetahui daya gelombang dan daya keluaran dari OWC maka Effisiensi OWC dapat dihitung

dengan perbandingan dari daya gelombang yang masuk ke dalam kolom dengan daya yang keluar dari OWC

$$\eta_{OWC} = \frac{P_u}{P_w} \times 100\% \quad (2.28)$$

(Ardianto, 1996)

2.8.3. Perkiraan Daya Listrik yang Dihasilkan

Untuk mengetahui daya listrik yang dibangkitkan maka perlu diketahui efisiensi dari Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang (PLTGL). Efisiensi dari PLTGL didapat dari perkalian antara efisiensi kolom, efisiensi turbin dan efisiensi generator. efisiensi turbin yang digunakan, telah diketahui pada subbab 2.4 bahwa wells turbin memiliki efisiensi antara 0,4 – 0,7 diasumsikan 0,7 dan untuk efisiensi generator diasumsikan untuk generator baru sebesar 90% atau 0,9. Untuk menghitung efisiensi PLTGL digunakan :

$$\eta_{PLTGL} = \eta_{OWC} \times \eta_{generator} \times \eta_{turbin} \quad (2.29)$$

(Ardianto, 1996)

Setelah didapat daya ombak yang masuk ke column dan efisiensi PLTO, selanjutnya akan dihitung daya listrik yang dihasilkan.

$$P_g = P_w \times \eta_{PLTGL} \quad (2.30)$$

Dimana :

P_g : daya generator (watt)

P_w : daya yang dihasilkan ombak (watt)

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB III

METODOLOGI

3.1. Langkah-langkah Penelitian

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian yang ini adalah sebagai berikut:

1. Perumusan Masalah.
2. Studi Literatur
3. Penetapan Tujuan Penelitian
4. Pengumpulan Data
5. Penentuan Variasi Dimensi Kolom OWC
6. Analisa dan Perhitungan daya pada OWC
7. Perhitungan Daya Listrik rata-rata yang dapat dihasilkan OWC
8. Kesimpulan dan Saran

3.1.1 Perumusan Masalah

Pada tahap ini dilakukan penentuan permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini yaitu studi perencanaan pembangkit listrik tenaga gelombang laut. Hal ini dilakukan agar dalam penyelesaian tugas akhir ini lebih focus dan tujuan penelitian dapat tercapai

3.1.2 Studi Literatur

Pada tahap ini Dilakukan pengumpulan data dan informasi dengan mencari, mempelajari serta memahami paper, jurnal dan buku-buku yang berkaitan dengan tema

tugas akhir. Terutama melakukan tinjauan pustaka tentang OWC baik bentuk, dimensi, sampai cara kerja OWC itu sendiri.

3.1.3 Penetapan Tujuan Penelitian

Pada Tahap ini ditetapkan tujuan dari penelitian ini adalah mencari besarnya daya yang dapat dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut tipe OWC jika diterapkan di pantai Bandalit Jember.

3.1.4 Pengumpulan data

Pada tahapan ini dilakukan pencarian data dengan Melakukan pengumpulan data diperlukan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Data diperoleh dari Badan Meteorologi klimatologi dan Geofisika. Data yang diperoleh adalah data angin, gelombang dan batimetri dan data kebutuhan listrik di daerah bandalit.

3.1.5 Penentuan Variasi Dimensi Kolom OWC

Pada tahap ini dilakukan penentuan dimensi kolom OWC sebagai variasi. Dimensi ditentukan dengan menyesuaikan kondisi lokasi dan karakteristik gelombang dengan desain yang sudah ada.

3.1.6 Analisa dan Perhitungan daya pada OWC

Pada tahap ini dilakukan perhitungan daya yang dihasilkan OWC dengan variasi dimensi yang sudah ditentukan. Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini

antara lain adalah tinggi gelombang, periode gelombang dan lebar kolom.

3.1.7 Perhitungan Daya Listrik rata-rata yang dapat dihasilkan OWC

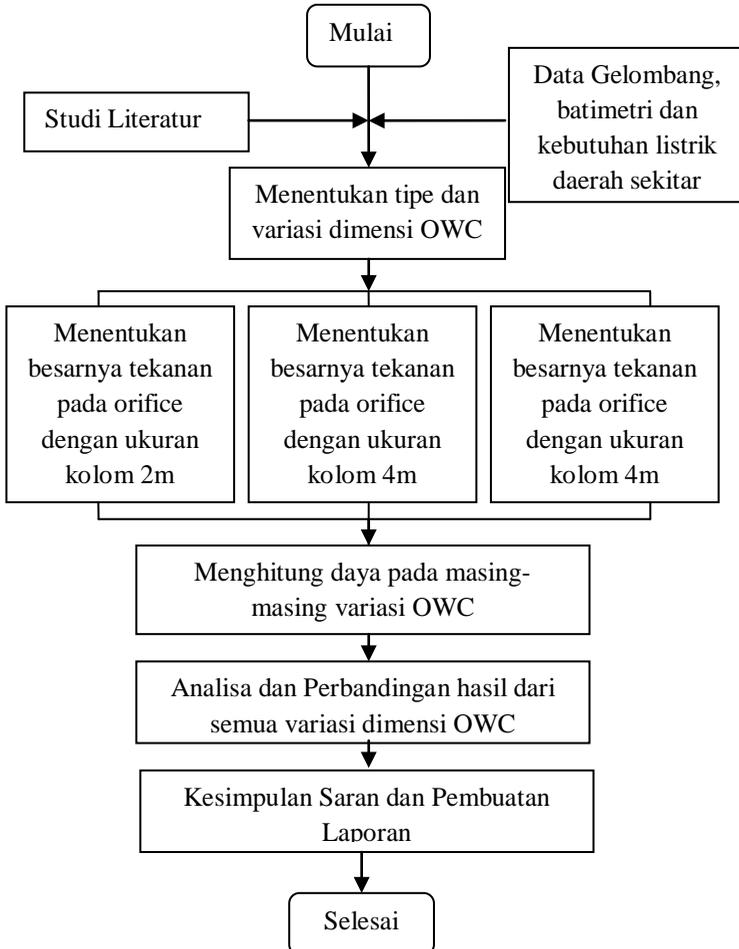
Pada tahap ini dilakukan perhitungan daya listrik yang dihasilkan dalam satu tahun yakni pada tahun 2011, proses ini dilakukan untuk mendapatkan daya listrik yang dimanfaatkan oleh warga setempat.

3.1.8 Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini akan disimpulkan hasil penelitian yaitu daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe OWC di pantai Bandalit. Dari kesimpulan yang diperoleh akan ditentukan saran yang dapat mendukung penelitian ini agar dapat dikembangkan lebih baik lagi.

3.2. Skema Penelitian

Secara skematis, tugas akhir ini dilakukan dalam tahapan-tahapan berikut :



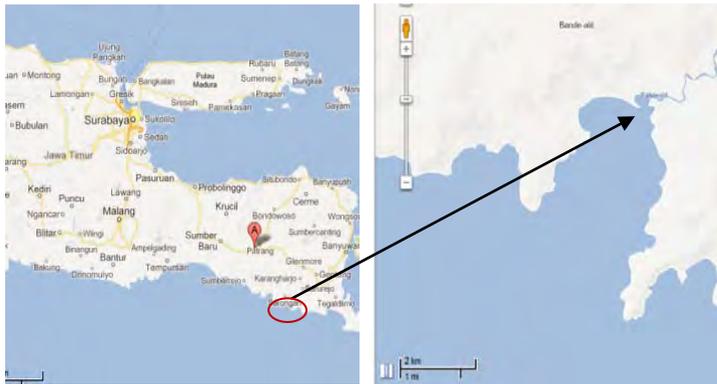
Gambar 3.1 Skema Pengerjaan Skripsi

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan OWC

Pantai Bandalit terletak di Desa Tempurejo Kecamatan Ambulu, kabupaten Jember, Jawa Timur. Pantai Bandalit terletak di bagian selatan yang berbatasan langsung dengan Samudra Hindia. Pantai Bandalit ini berada pada garis lintang dan bujur sebagai berikut: 8.51°S - 113.70°T .



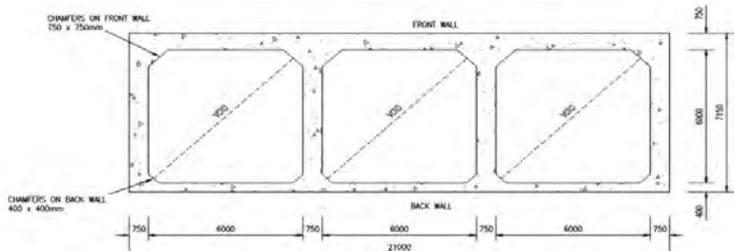
*Gambar 4.1 Peta Lokasi
Sumber: Google Map, 2012*

Berdasarkan dari data gelombang yang diperoleh dari BMKG, data rata-rata ketinggian gelombang di wilayah tersebut pada tahun 2011 adalah:

No	bulan	tahun	Wind Spd (knot)	H Tot (m)	T (s)
1	januari	2011	6.4	1.1	5.0
2	februari	2011	7.3	1.0	4.7
3	maret	2011	5.9	0.7	4.3
4	april	2011	4.4	0.6	4.2
5	mei	2011	5.3	0.7	4.5
6	juni	2011	7.8	0.8	4.4
7	juli	2011	7.5	0.8	4.3
8	agustus	2011	7.4	0.7	4.1
9	september	2011	6.2	0.7	4.2
10	oktober	2011	5.2	0.6	4.0
11	november	2011	3.7	0.6	4.3
12	desember	2011	4.2	0.6	4.2

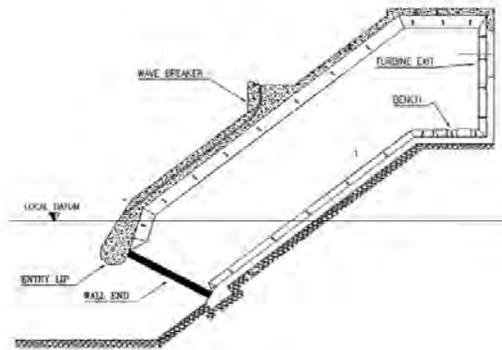
Tabel 4.1 Data Gelombang

berdasarkan referensi pada ISLAY LIMPET WAVE POWER PLANT, desain kolom yang digunakan memiliki 3 kolom dengan penampang seperti berikut:



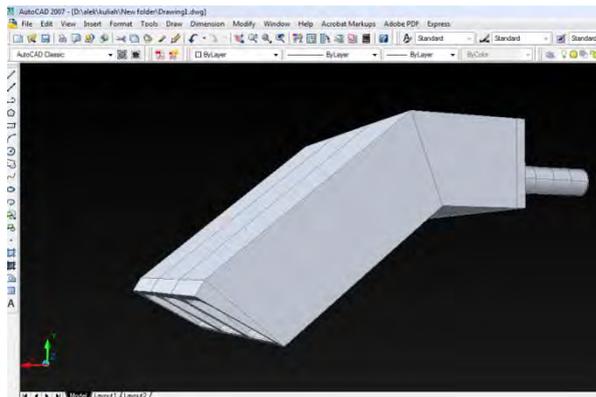
Gambar 4.2 penampang melintang kolom OWC

Sumber: LIMPET Publishable report, 2002

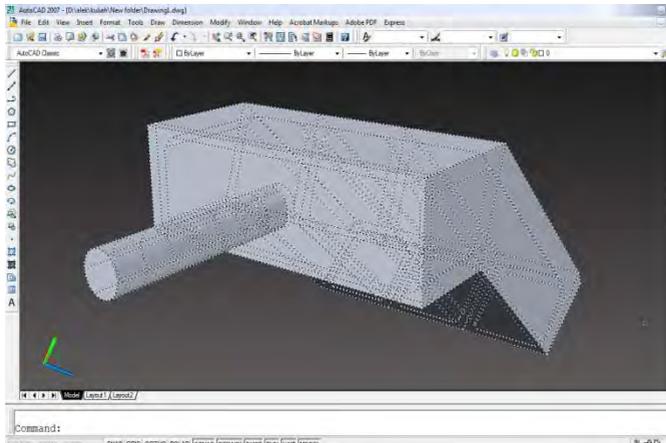


Gambar 4.3 penampang membujur dari kolom
Sumber: LIMPET Publishable report, 2002

Dengan menggunakan desain kolom diatas, dimensi dari kolom tersebut dapat divariasikan dengan lebar tiap kolom dengan ukuran 2m, 3m dan 4m. dari desain diatas maka dilakukan pemodelan dengan menggunakan CAD sebagai berikut:



Gambar 4.4 Pemodelan OWC dengan CAD



Gambar 4.4 Pemodelan OWC dengan CAD

4.2 Perhitungan Daya Gelombang

dengan data gelombang diatas maka dapat diketahui energi yang dihasilkan oleh gelombang yang masuk kedalam kolom dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.13 sebagai berikut :

$$E_w = 0.195w\rho gh^2T^2$$

Dimana : w = lebar kolom (m)

ρ = massa jenis air laut (kg/m^3)

g = gaya gravitasi (m/s^2)

h = tinggi gelombang (m)

T = Periode gelombang (s)

Sehingga diperoleh energi gelombang pada lebar kolom 2 m, 3 m dan 4 m. Dari data Energi gelombang yang

terserap oleh kolom OWC diatas maka daya gelombang pada kolom OWC dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.8) yaitu:

$$Power : P_w = \frac{E_w}{T} \times 10^{-3}$$

Dimana : P_w = Daya gelombang pada kolom (kW)

E_w = Energi Gelombang pada Kolom (J)

T = Periode gelombang (s)

Sehingga diperoleh daya gelombang pada lebar kolom 2 m, 3m dan 4 m adalah :

No	bulan	tahun	H Tot (m)	T (s)	Pw (kilowatt)		
					w= 2m	w= 3m	w= 4m
1	januari	2011	1.1	5.0	16.9	25.3	33.8
2	februari	2011	1.0	4.7	13.3	19.9	26.6
3	maret	2011	0.7	4.3	6.3	9.4	12.5
4	april	2011	0.6	4.2	4.3	6.5	8.7
5	mei	2011	0.7	4.5	7.0	10.6	14.1
6	juni	2011	0.8	4.4	8.3	12.4	16.6
7	juli	2011	0.8	4.3	7.2	10.7	14.3
8	agustus	2011	0.7	4.1	6.2	9.3	12.4
9	september	2011	0.7	4.2	6.8	10.2	13.6
10	oktober	2011	0.6	4.0	4.1	6.1	8.1
11	november	2011	0.6	4.3	5.2	7.7	10.3
12	desember	2011	0.6	4.2	4.6	6.9	9.2

Tabel 4.2 Daya Gelombang

Dari tabel diatas terlihat dengan tinggi ombak (H), periode (T) yang sama namun dimensi kolom yang berbeda akan mengakibatkan turunnya daya ombak pada kolom pembangkit. Turunnya daya ombak yang diakibatkan semakin

kecilnya lebar dari pembangkit. Lebar pembangkit dalam hal ini sebagai kolektor ombak laut. Semakin sempit kolektor maka ombak yang ditangkap oleh pembangkit juga semakin kecil.

4.3 Perhitungan Daya OWC

Setelah menghitung daya gelombang pada kolom OWC selanjutnya dilakukan perhitungan daya output dari kolom tersebut. Hal ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi dari OWC. Untuk itu, maka diperlukan perhitungan untuk mengetahui kecepatan udara dalam OWC (v_1) seperti pada persamaan 2.20 yaitu:

$$v_1 = -\frac{\omega}{2} H \sin(\omega t) \dots\dots\dots 2.21$$

dimana

$$\omega = 2\pi f \dots\dots\dots 2.20$$

Dimana

$$f = \frac{1}{T} \dots\dots\dots 2.19$$

$$= \frac{1}{5}$$

$$= 0.2 \text{ Hz}$$

Sehingga

$$\omega = 2\pi (0.2)$$

$$= 1.256 \text{ rad/s}$$

Sehingga didapatkan v_1 pada tinggi gelombang rata-rata yang tertinggi yaitu pada bulan januari yaitu 1.1 m :

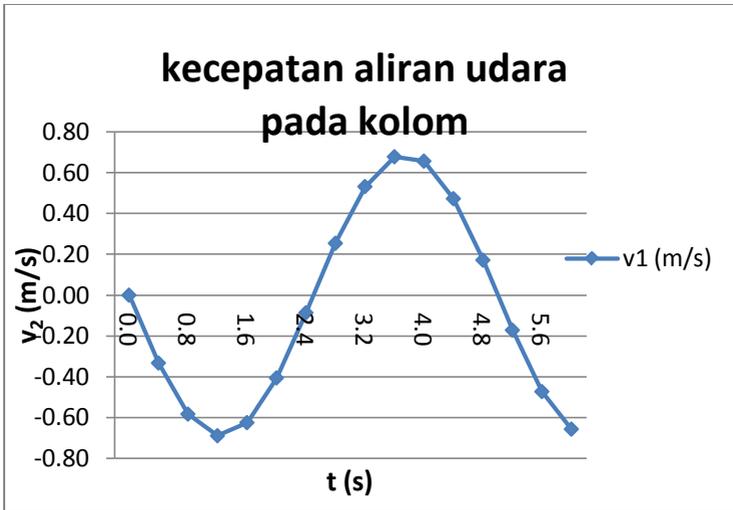
$$v_1 = -\frac{1.25}{2} 1.1 \sin(\omega t)$$

$$= -0.691 \sin(\omega t) m/s$$

Dengan hasil persamaan diatas yang berupa persamaan sinusoidal berarti kecepatan aliran udara v_1 akan berubah-ubah menurut nilai dari nilai (t). dalam table berikut akan ditampilkan nilai dari v_1 terhadap t.

t (s)	ωt (°)	$\sin(\omega t)$	v_1 (m/s)
0.0	0.00	0.00	0.00
0.4	28.80	0.48	-0.33
0.8	57.60	0.84	-0.58
1.2	86.40	1.00	-0.69
1.6	115.20	0.90	-0.63
2.0	144.00	0.59	-0.41
2.4	172.80	0.13	-0.09
2.8	201.60	-0.37	0.25
3.2	230.40	-0.77	0.53
3.6	259.20	-0.98	0.68
4.0	288.00	-0.95	0.66
4.4	316.80	-0.68	0.47
4.8	345.60	-0.25	0.17
5.2	374.40	0.25	-0.17
5.6	403.20	0.68	-0.47
6.0	432.00	0.95	-0.66

Tabel 4.3 Tabel Kecepatan Aliran Udara v_1



Gambar 4.6 Grafik v_1 vs t

dari hasil perhitungan dari nilai kecepatan aliran udara pada kolom OWC (v_1) maka dapat dilakukan perhitungan kecepatan aliran udara pada kolom orifice (v_2) yaitu dengan persamaan 2.2 yaitu :

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 \dots\dots\dots 2.22$$

Dengan kemiringan kolom sebesar 60° terhadap horizontal, maka perhitungan luas area kolom A_1 dilakukan pada model pada autoCAD. Sehingga didapat luas area kolom (A_1) pada OWC adalah sebagai berikut :

Luas Area Orifice A_2 (m^2)	Luas Area Kolom OWC A_1 (m^2)		
	Lebar kolom =2m	Lebar kolom =3m	Lebar kolom =4m
1.32	6.09	41.10	73.08

Tabel 4.4 tabel Luas Area Permukaan Air pada kolom

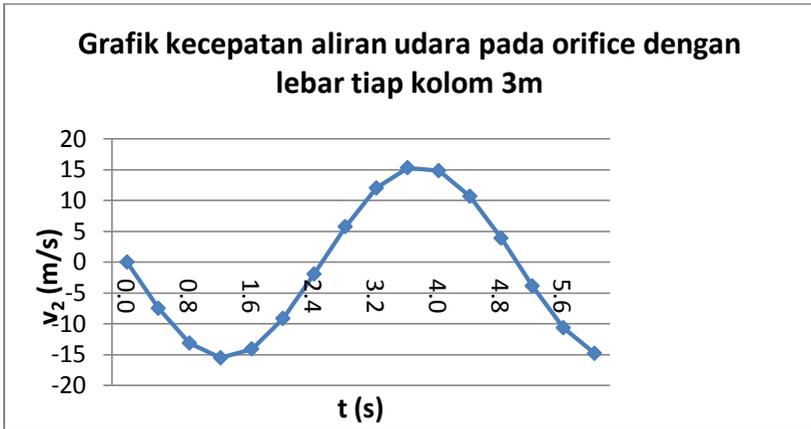
Dari data luasan area kolom diatas maka didapatkan kapasitas dan kecepatan aliran udara yang melalui orifice. Berikut ini merupakan table yang menampilkan kecepatan udara (v_1) berdasarkan waktu (t)

t (s)	v_1 (m/s)	v_2 (m/s)		
		w=2m	w=3m	w=4m
0.0	0	0	0	0
0.4	-0.332892	-1.11164	-7.50357	-13.3397
0.8	-0.583431	-1.948275	-13.1509	-23.3793
1.2	-0.689636	-2.302933	-15.5448	-27.6352
1.6	-0.625235	-2.087876	-14.0932	-25.0545
2.0	-0.40616	-1.356306	-9.15507	-16.2757
2.4	-0.086605	-0.289205	-1.95213	-3.47046
2.8	0.254374	0.849442	5.733735	10.19331
3.2	0.532425	1.777949	12.00115	21.33538
3.6	0.67876	2.266614	15.29965	27.19937
4.0	0.65718	2.19455	14.81321	26.3346
4.4	0.473022	1.579583	10.66218	18.95499
4.8	0.171845	0.573848	3.873477	6.886181
5.2	-0.171845	-0.573848	-3.87348	-6.88618
5.6	-0.473022	-1.579583	-10.6622	-18.955
6.0	-0.65718	-2.19455	-14.8132	-26.3346

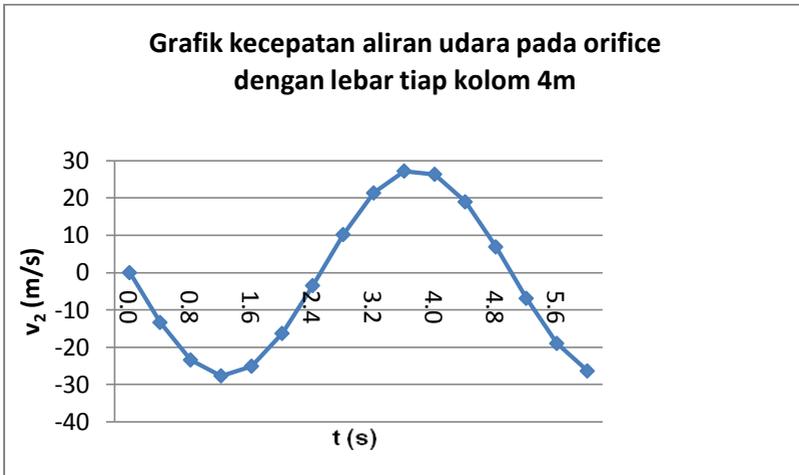
Tabel 4.5 tabel kecepatan aliran udara v_2



Gambar 4.7 Grafik v_2 ($A_2=8.27$) vs t



Gambar 4.8 Grafik v_2 ($A_2=13.7$) vs t



Gambar 4.9 Grafik v_2 ($A_2=73.17$) vs t

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa kecepatan aliran udara dalam orifice berupa grafik persamaan sinusoidal

karena kecepatan dalam orifice akan berubah arah dikarenakan naik dan turunnya permukaan air dalam kolom yang disebabkan oleh ombak. sangat dipengaruhi oleh luas area pada kolom. Hal ini dikarenakan semakin luas area permukaan air pada kolom maka akan semakin besar volume udara yang terdorong keluar oleh permukaan air laut didalam kolom. Setelah mengetahui kecepatan aliran dan luas area, maka kapasitas aliran (Q) dapat dicari dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.23 yaitu :

$$Q = v A$$

Sehingga didapat bahwa kapasitas aliran pada masing-masing kolom adalah sebagai berikut.

t (s)	Q (m ³ /s)		
	kolom 2m	kolom 3m	kolom 4m
0.0	0.00	0.00	0.00
0.4	-6.08	-13.68	-24.33
0.8	-10.66	-23.98	-42.64
1.2	-12.60	-28.35	-50.40
1.6	-11.42	-25.70	-45.69
2.0	-7.42	-16.70	-29.68
2.4	-1.58	-3.56	-6.33
2.8	4.65	10.46	18.59
3.2	9.73	21.89	38.91
3.6	12.40	27.90	49.60
4.0	12.01	27.02	48.03
4.4	8.64	19.44	34.57
4.8	3.14	7.06	12.56
5.2	-3.14	-7.06	-12.56
5.6	-8.64	-19.44	-34.57
6.0	-12.01	-27.02	-48.03

Tabel 4.6 Kapasitas Aliran Udara pada Orifice

Dari hasil pada table diatas, dapat diketahui bahwa besar kapasitas aliran udara pada orifice berupa kurva sinusoidal. Untuk nilai Q positif berarti arah aliran udara menuju keluar dari orifice. Dan untuk nilai Q negative berarti arah aliran udara masuk melalui orifice.

Untuk menghitung tekanan pada orifice (p_2) maka diperlukan potensial kecepatan udara pada orifice (φ_2) dengan menggunakan perhitungan pada persamaan 2.26 yaitu:

$$\varphi_2 \approx v_2 \eta_2 = - \left(\frac{A_1}{A_2} \right) v_1 \frac{\omega H^2}{4} \sin(\omega t) \cos(\omega t)$$

Sehingga didapat bahwa potensial kecepatan pada orifice untuk masing-masing kolom adalah :

t (s)	ωt (°)	Sin(ωt)	Cos (ωt)	v_1 (m/s)	η_1	φ_1	φ_2		
							A= 6.09	A= 13.7	A= 73.17
0.0	0.00	0.00	1.00	0.00	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	28.80	0.48	0.88	-0.33	0.48	-0.16	-0.54	-1.79	-5.97
0.8	57.60	0.84	0.54	-0.58	0.29	-0.17	-0.57	-1.92	-6.40
1.2	86.40	1.00	0.06	-0.69	0.03	-0.02	-0.08	-0.27	-0.89
1.6	115.20	0.90	-0.43	-0.63	-0.23	0.15	0.49	1.63	5.45
2.0	144.00	0.59	-0.81	-0.41	-0.44	0.18	0.60	2.02	6.73
2.4	172.80	0.13	-0.99	-0.09	-0.55	0.05	0.16	0.53	1.76
2.8	201.60	-0.37	-0.93	0.25	-0.51	-0.13	-0.43	-1.45	-4.84
3.2	230.40	-0.77	-0.64	0.53	-0.35	-0.19	-0.62	-2.08	-6.95
3.6	259.20	-0.98	-0.19	0.68	-0.10	-0.07	-0.23	-0.78	-2.60
4.0	288.00	-0.95	0.31	0.66	0.17	0.11	0.37	1.25	4.16
4.4	316.80	-0.68	0.73	0.47	0.40	0.19	0.63	2.11	7.06
4.8	345.60	-0.25	0.97	0.17	0.53	0.09	0.31	1.02	3.41
5.2	374.40	0.25	0.97	-0.17	0.53	-0.09	-0.31	-1.02	-3.41
5.6	403.20	0.68	0.73	-0.47	0.40	-0.19	-0.63	-2.11	-7.06
6.0	432.00	0.95	0.31	-0.66	0.17	-0.11	-0.37	-1.25	-4.16

Tabel 4.7 Potensial kecepatan pada orifice

Setelah mengetahui potensial kecepatan maka tekanan pada orifice dapat diketahui dengan menggunakan perhitungan pada persamaan (2.27) yaitu:

$$P_2 - P_0 = \rho \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \frac{d\varphi_2}{dt} + \rho \frac{Q}{A_2} (v_2 - v_1)$$

Sehingga didapat bahwa tekanan pada orifice (p_2) untuk masing-masing kolom adalah :

t (s)	p2-p0		
	A= 6.09	A= 13.7	A= 73.17
0.0	0.00	0.00	0.00
0.4	-2.26	5.62	69.96
0.8	0.31	22.67	230.41
1.2	2.23	33.61	346.27
1.6	5.37	32.83	323.67
2.0	3.04	16.85	174.20
2.4	0.44	1.98	22.27
2.8	-3.85	-3.44	-12.65
3.2	-2.31	8.53	97.82
3.6	0.34	24.12	253.63
4.0	5.31	33.50	325.25
4.4	4.36	24.51	245.33
4.8	1.50	7.39	76.67
5.2	-4.56	-7.95	-53.30
5.6	-4.94	-5.74	-40.55
6.0	-2.83	7.93	95.18

Tabel 4.8 Tekanan Udara Pada Orifice

Setelah mengetahui tekanan udara pada orifice maka daya yang bekerja pada turbin dapat diketahui dengan menggunakan perhitungan pada persamaan (2.17) yaitu:

$$P = (p_2 - p_0)Q$$

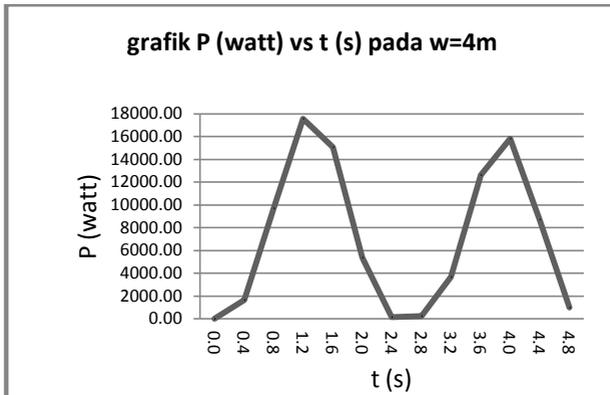
Sehingga didapat bahwa daya yang bekerja pada turbin untuk masing-masing kolom adalah :

t (s)	P (watt)		
	A= 6.09	A= 13.7	A= 73.17
0.0	0.00	0.00	0.00
0.4	13.75	76.88	1701.88
0.8	3.26	543.78	9823.93
1.2	28.10	952.93	17451.62
1.6	61.35	843.78	14789.28
2.0	22.55	281.31	5170.48
2.4	0.69	7.03	140.94
2.8	17.87	35.97	235.10
3.2	22.52	186.78	3806.05
3.6	4.16	673.00	12580.86
4.0	63.76	905.02	15620.63
4.4	37.72	476.53	8480.61
4.8	4.71	52.22	962.89

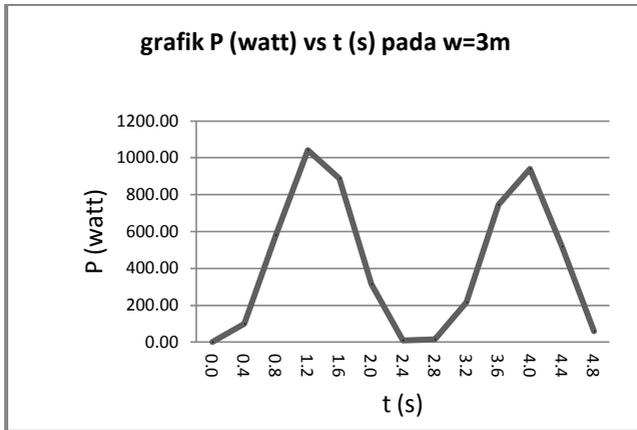
Tabel 4.9 daya OWC

Tabel 4.9 daya yang bekerja pada turbin (watt)

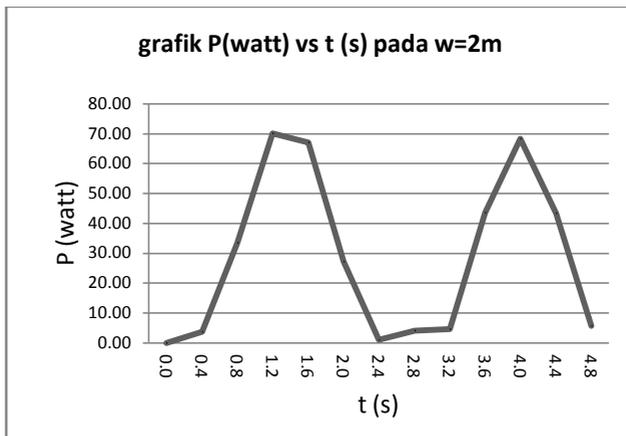
Dari data diatas maka didapat grafik sebagai berikut:



Gambar 4.10 Grafik P vs t (w=4m)



Gambar 4.11 Grafik P vs t (w=3m)



Gambar 4.12 Grafik P vs t (w=2m)

4.4 Perhitungan Efisiensi OWC

Dari hasil perhitungan daya keluaran OWC diatas, dapat diketahui bahwa daya terbesar yang dihasilkan dengan tinggi gelombang 1.1m terdapat pada kolom OWC yang berukuran 4m pada pada waktu (t)=1.2s dengan 17.5 kW. Sehingga untuk menghitung efisiensi kolom OWC maka digunakan rumus efisiensi yaitu:

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \\ &= \frac{17.5}{33.8} \times 100\% \\ &= 51.7\%\end{aligned}$$

sehingga efisiensi kolom OWC dapat diketahui sebesar 51.7%.

4.5 Perhitungan Daya rata-rata OWC

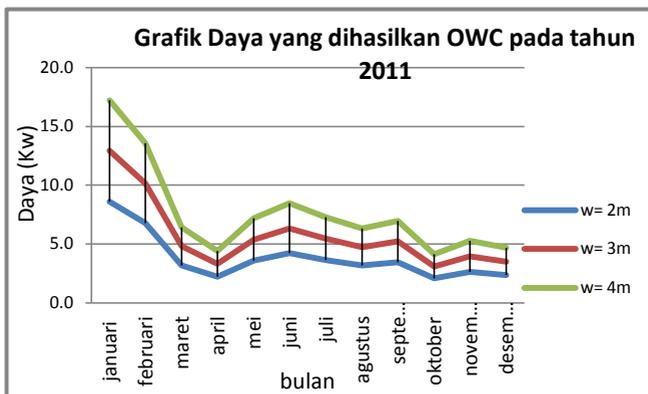
setelah menghitung daya yang keluar dari kolom OWC, maka daya yang dihasilkan oleh PLTGL tipe OWC pada bulan-bulan yang lain dapat dihitung dengan menggunakan rumus efisiensi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}P_g &= P_w \times \eta_{\text{OWC}} \\ &= P_w \times 51.7\%\end{aligned}$$

. Sehingga setelah dikalikan dengan daya gelombang rata-rata pada tahun 2011, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

No	bulan	tahun	Powc (kilowatt)		
			w= 2m	w= 3m	w= 4m
1	januari	2011	8.6	12.9	17.2
2	februari	2011	6.8	10.2	13.6
3	maret	2011	3.2	4.8	6.4
4	april	2011	2.2	3.3	4.4
5	mei	2011	3.6	5.4	7.2
6	juni	2011	4.2	6.3	8.4
7	juli	2011	3.7	5.5	7.3
8	agustus	2011	3.2	4.8	6.3
9	september	2011	3.5	5.2	6.9
10	oktober	2011	2.1	3.1	4.1
11	november	2011	2.6	3.9	5.3
12	desember	2011	2.3	3.5	4.7
	rata-rata		3.8	5.7	7.7

Tabel 4.10 Daya OWC pada tahun 2011



Gambar 4.13 Grafik Daya OWC pada tahun 2011

Untuk efisiensi PLTO adalah hasil dari perkalian efisiensi kolektor, efisiensi turbin, efisiensi konverter dan juga efisiensi generator. Sehingga Daya listrik yang dihasilkan oleh PLTGL tipe OWC dapat dihitung dengan menggunakan

rumus efisiensi. Dari keterangan sebelumnya telah diketahui bahwa nilai efisiensi dari wells turbin adalah 0,4 - 0,7 dipilih 0,7 dan nilai efisiensi generator adalah 0,8 – 0,9 dipilih 0,9. Sehingga daya yang keluar dari turbin dapat ditentukan dengan rumus efisiensi yaitu:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{Out}} &= P_{\text{OWC}} \times \eta_{\text{Turbin}} \times \eta_{\text{Generator}} \\
 &= 17,2 \times 0,7 \times 0,9 \\
 &= 10,8 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Perhitungan diatas dilakukan pada setiap tinggi ombak (H), setelah tiap – tiap tinggi ombak (H) dihitung maka akan di ambil rata – rata perkiraan daya generator. Rata – rata tersebut adalah daya yang dihasilkan untuk pembangkit.

No	bulan	tahun	HTot (m)	Ptot (s)	Pout (kilowatt)		
					w= 2m	w= 3m	w= 4m
1	januari	2011	1.1	5.0	5.4	8.1	10.9
2	februari	2011	1.0	4.7	4.3	6.4	8.5
3	maret	2011	0.7	4.3	2.0	3.0	4.0
4	april	2011	0.6	4.2	1.4	2.1	2.8
5	mei	2011	0.7	4.5	2.3	3.4	4.5
6	juni	2011	0.8	4.4	2.7	4.0	5.3
7	juli	2011	0.8	4.3	2.3	3.5	4.6
8	agustus	2011	0.7	4.1	2.0	3.0	4.0
9	september	2011	0.7	4.2	2.2	3.3	4.4
10	oktober	2011	0.6	4.0	1.3	2.0	2.6
11	november	2011	0.6	4.3	1.7	2.5	3.3
12	desember	2011	0.6	4.2	1.5	2.2	3.0
	rata-rata				2.4	3.6	4.8

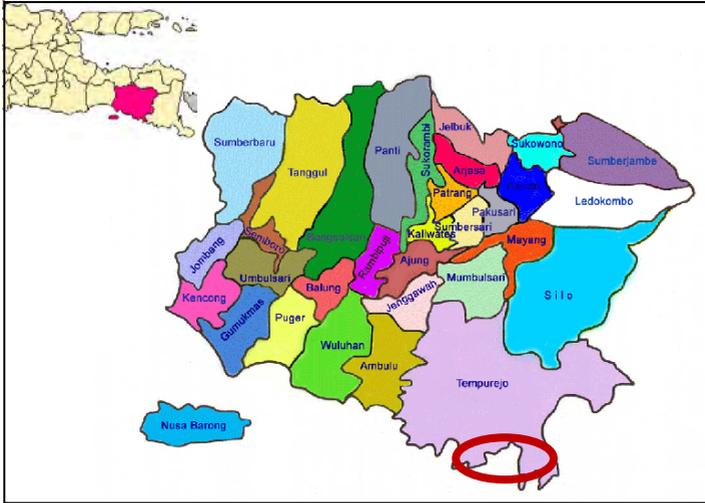
Tabel 4.11 Daya output PLTGL pada tahun 2011

Tabel diatas adalah hasil dari perhitungan perkiraan daya listrik yang dibangkitkan. Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa column PLTGL dengan lebar tiap kolom 4 meter menghasilkan daya listrik yang lebih besar daripada 2 dimensi column PLTGL yang lain. Dari hasil perhitungan diatas diambil column PLTGL dengan ukuran kolom 4 meter yang digunakan sebagai pembangkit listrik di pantai Bandalit, Jember.

4.6 Perencanaan Pengaplikasian OWC

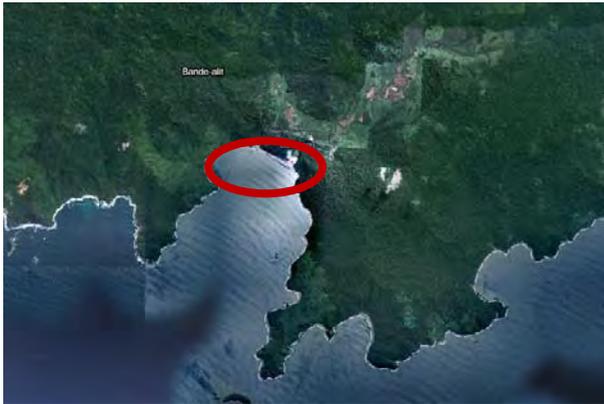
Untuk memenuhi beban listrik daerah sekitar pantai bandealit yang terdiri dari 53 unit rumah yang diasumsikan tiap rumah 450 watt dan kebutuhan total sebesar 23850 wattatau sebesar 23,85 kilowatt, maka dibutuhkan paling tidak 6 unit pembangkit listrik yang diaplikasikan di daerah tersebut.

Sehingga untuk memenuhi semua beban listrik untuk rumah – rumah di daerah bandealit yang belum terpasang listrik dibawah ini adalah posisi PLTO, tanda lingkaran merah pada gambar dibawah adalah posisi pantai yang akan dibangun PLTO.



Gambar 4.14 Peta Lokasi PLTGL

Sumber : Wikipedia



Gambar 4.15 Peta Lokasi PLTGL

Sumber : Google map



Gambar 4.16 Peta Lokasi PLTGL

Sumber : Google map



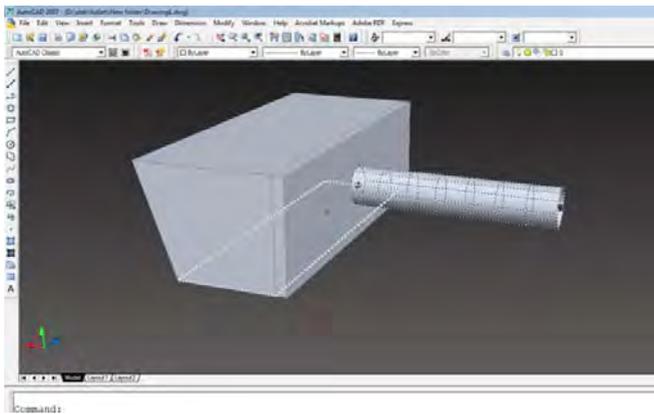
Gambar 4.17 Lokasi Rencana Pembangunan PLTGL

4.7 Computational Fluid Dynamics

4.7.1. Icem CFD

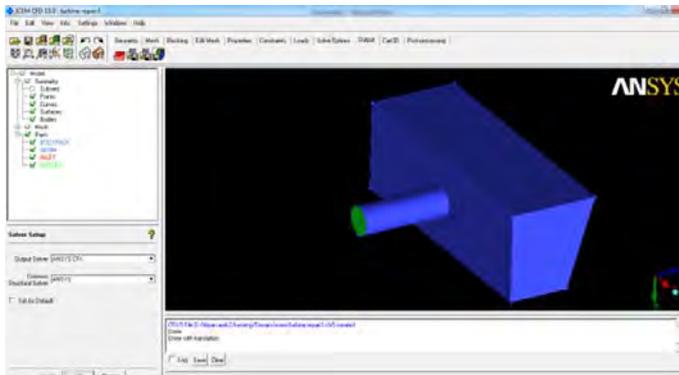
Langkah ini merupakan awal dari proses CFD sebelum dilakukan analisa pada program ansys CFX selanjutnya. Langkah – langkah yang dilakukan dalam proses ini adalah:

- a. Membuka kembali gambar column OWC dari autocad.

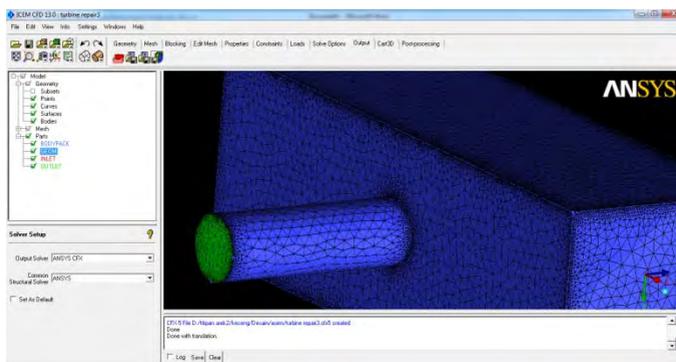


Gambar 4.18 Pemodelan Kolom Menggunakan CAD

- b. Selanjutnya melakukan proses pemberian surface pada kerangka model.
- c. Kemudian dilakukan proses mesh. Dalam proses ini dibuat semacam jaring – jaring untuk mengukur seberapa detail benda akan dianalisa. Jadi pada proses ini benda di modelkan seperti aslinya..



Gambar 4.19 Pemodelan kolom menggunakan ICEM



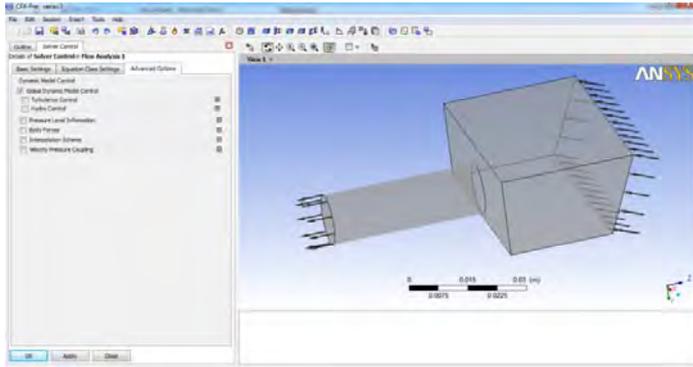
Gambar 4.20 Proses Meshing Pada Model

4.7.2. Ansys CFX

Tahap ini merupakan proses analisa dalam program CFD. Langkah – langkah yang dilakukan dalam proses ini adalah:

- a. Membuka gambar hasil meshing ke dalam ansys CFX.
- b. Kembali memasukkan batasan – batasan yang sudah dibuat pada icem CFD. Batasan –batasan tersebut

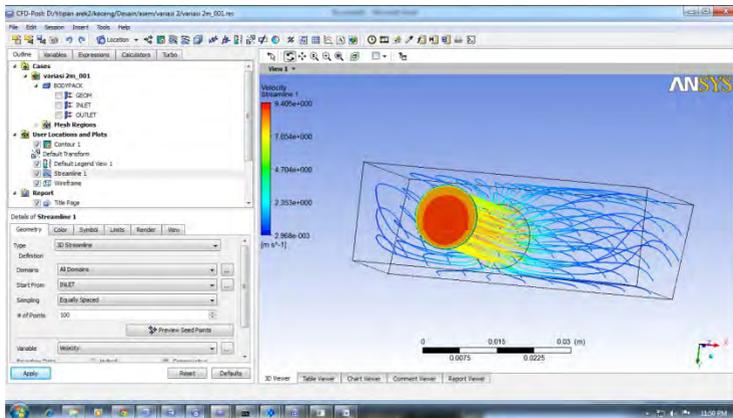
disesuaikan dengan yang sudah dibuat pada icem CFD.



Gambar 4.21 Penentuan Batasan-batasan pada Model

- c. Menentukan jumlah iterasi yang akan dijalankan dalam program ansys CFD. Dalam hal ini diambil 20 iterasi. Proses ini

Selanjutnya melakukan proses running. Dalam proses running, model dianalisa kemungkinan – kemungkinan yang berkaitan dengan batasan – batasan yang sudah dibuat diatas. Hasil dari proses running dapat dicari menentukan beragam besaran. Dalam hal ini digunakan untuk menentukan besaran gaya yang terjadi konverter atau oriface. Gaya tersebut digunakan untuk menentukan kemungkinan arah putaran dari turbin. Disamping itu, gaya digunakan untuk menghitung torsi pada turbin. Hasil dari proses running dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 4.22 Hasil Running Model pada CFD

Proses diatas dilakukan terhadap dua model yang lain yaitu model dengan lebar kolom 2m dan 4m. Dalam hasil uji coba ketiga model tersebut dilakukan perhitungan dan diperoleh diperoleh hasil sebagai berikut:

lebar tiap kolom		H (m)	T (s)	V1 (m/s)	V2 (m/s)	p2-p1 (pa)
2m	max	1.1	5	0.69	2.215	4.751
	min	0.6	4	0.47	1.032	1.523
3m	max	1.1	5	0.69	14.437	32.692
	min	0.6	4	0.47	5.769	12.834
4m	max	1.1	5	0.69	25.472	342.461
	min	0.6	4	0.47	17.164	127.751

Tabel 4.12 hasil uji coba dengan menggunakan CFD

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

CONCLUSION

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Dari hasil perhitungan yang dilakukan terhadap ketiga model maka didapatkan dimensi column menghasilkan daya listrik yang cukup maka yang terpilih adalah column PLTO dengan lebar tiap kolom 4 meter dengan menghasilkan daya 10.85 Kw.
2. Semakin tinggi ombak dan lebar column PLTGL maka daya ombak yang dihasilkan juga tinggi. Misal untuk ukuran column 4 meter dengan ketinggian ombak 0,8 meter menghasilkan 16,6 kilowatt, untuk ketinggian ombak 1 meter menghasilkan 26,8 kilowatt dan untuk ombak 1,1 meter menghasilkan 33,8 kilowatt.
3. Untuk daerah penempatan dari PLTGL dipilih daerah pantai Bandalit Jember dengan koordinat ($113.70^{\circ}T - 8.51^{\circ}S$), karena daerah tersebut dekat dengan tempat-tempat yang tidak terjangkau oleh listrik PLN.
4. Daerah pantai yang potensial untuk pembangkit ini adalah pantai yang tidak ada halangan ombak dengan 74 ketinggian minimal satu meter untuk sampai di bibir pantai. Contoh halangan tersebut adalah karang dan pemecah ombak. Jika terdapat halangan tersebut maka ketinggian ombak yang diharapkan tidak akan terjadi dan membuat daya yang dihasilkan menurun

5.2 Saran

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

1. Untuk menghasilkan hasil yang optimal tugas akhir ini dapat dilakukan penelitian yang terus menerus
2. PLTGL ini cocok digunakan untuk pulau – pulau yang tidak memiliki pembangkit yang terinterkoneksi dengan pembangkit – pembangkit besar seperti di pulau Jawa
3. Model PLTO lebih baik di uji pada towing tank dengan ukuran model di skala dari model asli dan menggunakan sensor pengukuran yang ditempatkan pada modeu ntuk mendapat data yang lebih valid.