



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR TERAPAN - VC 181819

UPAYA PEMANFAATAN GELOMBANG LAUT DI PANTAI KLAYAR PACITAN JAWA TIMUR SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK TERBARUKAN

Bisma Ilham Hidayat
NRP. 10111815000030

Dosen Pembimbing 1:

Dr. Ir. Kuntjoro, MT.
NIP. 19580629 198703 1 002

Dosen Pembimbing 2:

Dwi Indriyani, ST, MT.
NIP. 19810210 201404 2 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA IV LANJUT JENJANG
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020



TUGAS AKHIR TERAPAN - VC 181819

UPAYA PEMANFAATAN GELOMBANG LAUT DI PANTAI KLAYAR PACITAN JAWA TIMUR SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK TERBARUKAN

BISMA ILHAM HIDAYAT
NRP. 10111815000030

Dosen Pembimbing 1:

Dr. Ir. Kuntjoro, MT.
NIP. 19580629 198703 1 002

Dosen Pembimbing 2:

Dwi Indriyani, ST, MT.
NIP. 19810210 201404 2 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA IV LANJUT JENJANG
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020



THE FINAL PROJECT - VC 181819

EFFORTS TO UTILIZE SEA WAVES ON KLAYAR BEACH IN EAST JAVA PACITAN AS A RENEWABLE ELECTRIC ENERGY SOURCE

BISMA ILHAM HIDAYAT
NRP. 10111815000030

Advisor 1:

Dr. Ir. Kuntjoro, MT.
NIP. 19580629 198703 1 002

Advisor 2:

Dwi Indriyani, ST, MT.
NIP. 19810210 201404 2 001

DIPLOMA IV CIVIL ENGINEERING
INFRASTRUCTURE CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Vocation Faculty
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2020

LEMBAR PENGESAHAN

UPAYA PEMANFAATAN GELOMBANG LAUT DI
PANTAI KLAYAR PACITAN JAWA TIMUR
SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK
TERBARUKAN

TUGAS AKHIR TERAPAN

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T.)

Pada

Program Studi Diploma IV Teknik Sipil

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Mahasiswa



Bisma Ilham Hidayat

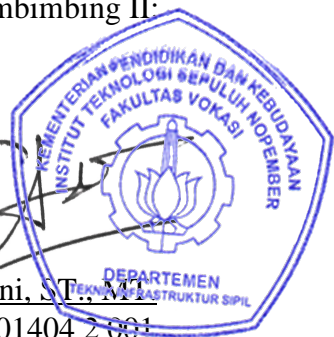
10111815000030

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir Terapan
Dosen Pembimbing I: Dosen Pembimbing II:



Dr. H. Kuntjoro, MT.

19580629 198703 1 002



Dwi Indriyani, ST., MT.

19810210 201404 2 001



Berita Acara Sidang Proyek Akhir

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi ITS
Semester Genap 2019-2020

Nomor BA :

Nomor Jadwal : **31**

Program Studi : D4 Teknik Sipil Lanjut Jenjang
Diinout oleh : Dwi Indriyani, ST., MT.
Bahwa pada hari ini : Kamis, 06-Agt-2020 Pukul : 13.00 s/d 15.00
Di tempat : Online Meeting

Telah dilaksanakan sidang Proposal Tugas Akhir dengan judul:

UPAYA PEMANFAATAN GELOMBANG LAUT DI PANTAI KLAYAR PACITAN JAWA TIMUR SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK TERBARUKAN

Yang dihadiri dan dipresentasikan oleh mahasiswa : (Hadir / Tidak Hadir)
10111815000030 BISMA ILHAM HIDAYAT **Hadir**

Yang dihadiri oleh dosen Pembimbing: (Hadir / Tidak Hadir)
1 Dr. Ir. Kuntjoro, MT. **Hadir**
2 Dwi Indriyani, ST., MT. **Hadir**

Yang dihadiri oleh dosen Penguji: (Hadir / Tidak Hadir)
1 Dr. Ir. Hendra Wahyudi, MS. **Hadir**
2 S. Kamilia Aziz, ST., MT. **Hadir**
3

Bahasannya. musyawarah pembimbing dan penguji pada sidang provek akhir ini memutuskan:
10111815000030 BISMA ILHAM HIDAYAT
LULUS, DENGAN REVISI MINOR

Catatan / revisi / masukan :

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, MS.

- a Bagaimana menghubungkan data bathimetri dengan data pasang surut?
- b
- c
- d
- e
- f

S. Kamilia Aziz, ST., MT.

- a Data tanah harus disebutkan dalam laporan jika memang asumsi
- b
- c
- d
- e
- f

- a
- b
- c
- d
- e
- f

Tindak lanjut :

Mahasiswa memperbaiki/merevisi Proyek Akhir sesuai dengan masukan di atas.

Penutup :

Demikian Berita Acara Sidang Proyek Akhir ini dibuat sebagai panduan revisi oleh Mahasiswa.

Lampiran :

Tempelkan screen capture peserta meeting online disini.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa. Karena berkat kasih dan anugerah-Nya. Laporan Tugas Akhir Terapan ini dapat terselesaikan tanpa ada halangan suatu apapun.

Laporan Proposal Tugas Akhir Terapan ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam mengikuti Pendidikan pada Program Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya untuk mendapat gelar Sarjana Sains Terapan.

Pokok pembahasan pada Tugas Akhir Terapan ini adalah kajian tentang “**Upaya Pemanfaatan Gelombang Laut di Pantai Klayar Pacitan Jawa Timur Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan**”. Tujuan pembahasan ini adalah sebagai salah satu upaya untuk meningkatkan pengetahuan dan kemampuan dalam menganalisis suatu masalah dengan harapan hasil studi tersebut nantinya dapat menjadi pertimbangan untuk pembangunan di daerah tersebut.

Tersusunnya Laporan Tugas Akhir Terapan ini juga tidak lepas dari dukungan dan motivasi berbagai pihak yang banyak membantu dan memberi masukan serta arahan kepada kami. Untuk itu kami sampaikan terima kasih terutama kepada:

1. Allah SWT, kedua orang tua dan semua anggota keluarga saya yang selama proses pengerjaan Tugas Akhir Terapan saya ini menjadi penyemangat terbesar dari saya telah banyak memberi dukungan materil dan moril berupa do'a.
2. Dr. Ir. Kuntjoro, MT., dan Dwi Indriyani, ST., MT., selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir Terapan Terapan.
3. S. Kamilia Aziz, ST., MT., selaku dosen wali saya yang telah mendidik dan memberi motivasi kepada saya.
4. Mohamad Khoiri, ST., MT., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Infrastruktur Sipil.

5. Teman-teman mahasiswa Diploma Teknik Sipil Angkatan 2014 atau DS 35 dan semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang telah membantu saya dalam penyelesaian Tugas Akhir Terapan ini.

Kami menyadari akan ada kekurangan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir Terapan ini. Oleh karena itu, bimbingan dan arahan dari berbagai pihak sangat saya harapkan demi hasil yang lebih baik.

Semoga apa yang saya sajikan dapat memberi manfaat bagi pembaca dan semua pihak, Amin.

Surabaya, 24 Agustus 2020

Penyusun

**Upaya Pemanfaatan Gelombang Laut di Pantai
Klayar Pacitan Jawa Timur Sebagai Sumber Energi
Listrik Terbaru**

Nama Mahasiswa : Bisma Ilham Hidayat
NRP : 10111815000030
Dosen Pembimbing 1 : Dr. Ir. Kuntjoro, MT.
NIP : 19580629 198703 1 002
Dosen Pembimbing 2 : Dwi Indriyani, ST., MT.
NIP : 19810210 201404 2 001

ABSTRAK

Sulitnya akses pelayanan dan pemasangan jaringan listrik di daerah sekitar pesisir pantai menjadi faktor penyebab tidak meratanya sebaran jaringan listrik. PT. PLN (Persero) menjadi lembaga pemerintah dalam penyediaan kelistrikan nasional belum mampu menyediakan energi listrik seiring pesatnya kebutuhan listrik di masyarakat dan industri. Kebutuhan listrik di Indonesia ada 4 meliputi rumah tangga, usaha atau bisnis, industri dan umum (sosial, gedung pemerintah dan penerangan jalan umum).

Indonesia merupakan negara kelautan terbesar di dunia, luas laut Indonesia mencapai 5,8 juta km². 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. Akan tetapi belum ada pemanfaatan potensi energi kelautan secara optimum, terutama dalam membangkitkan tenaga listrik. Potensi energi laut dan samudra untuk menghasilkan listrik merupakan salah satu potensi yang belum banyak dimanfaatkan untuk saat ini.

Pengkonversian energi gelombang laut agar dapat berubah menjadi energi listrik adalah dengan menggunakan pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) dengan

tipe *Oscillating Water Column (OWC)* adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan tekanan udara dalam kolom yang dihasilkan dorongan dari gelombang laut untuk memutar turbin yang disambungkan ke generator. Pada studi ini dilakukan analisa gelombang dan potensi energi listrik yang bisa dihasilkan di Pantai Klayar Pacitan Jawa Timur. Dari peramalan gelombang dengan menggunakan data angin dari tahun 2012-2017 dapat diketahui tinggi gelombang yang terjadi di Pantai Klayar Pacitan .

Perhitungan dilakukan menggunakan desain *OWC* yang lebih efisien dan mudah diterapkan. Menggunakan desain *OWC* yang sudah ada dengan 3 kolom. Untuk menentukan lebar dimensi yang dapat menghasilkan daya listrik yang maksimal. Dilakukan perbandingan variasi lebar dimensi yaitu antara 2m, 4m dan 6m. Rencana lokasi penentuan lokasi pembangkit ini dimana gelombang yang dipilih yaitu pada kedalaman 5m dengan latitude $-8,225685^\circ$ dan longitude $110,944273^\circ$. Pada kedalaman 5m memiliki tinggi gelombang 2,17m dan periode 8,2 s. Dari hasil perhitungan yang dilakukan terhadap variasi ketiga dimensi. Dapat diketahui daya terbesar yang bisa dihasilkan adalah dengan lebar dimensi kolom *OWC* 6m. Dengan desain pembangkit *OWC* tipe *fixed* dengan 3 kolom yang masing- masing lebar kolom memiliki 6m dapat menghasilkan daya listrik sebesar 189,172 kW.

Kata Kunci: Pantai Klayar Pacitan, konsumsi listrik, Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut, gelombang laut dan *OWC*.

**Efforts to Utilize Sea Waves on Klayar Beach in
East Java Pacitan as a Renewable Electric
Energy Source**

Nama Mahasiswa : Bisma Ilham Hidayat
NRP : 10111815000030
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Kuntjoro, MT.
NIP : 19580629 198703 1 002
Dosen Pembimbing : Dwi Indriyani, ST, MT.
NIP : 19810210 201404 2 001

ABSTRACT

Difficult access to services and installation of electricity networks in areas around the coast become a factor causing uneven distribution of electricity networks. PT. PLN (Persero) has become a government agency in the provision of national electricity that has not been able to provide electrical energy in line with the rapid demand for electricity in society and industry. There are 4 electricity needs in Indonesia including households, businesses or businesses, industry and public (social, government buildings and street lighting).

Indonesia is the largest marine country in the world, Indonesia's sea area reaches 5.8 million km². Compared to solar and wind energy, this wave energy provides 90% availability with unlimited potential area, as long as there are waves, electrical energy can be obtained. However, there is no optimum utilization of marine energy potential, especially in generating electricity. The potential of ocean and ocean energy to produce electricity is one of the potentials that has not been widely utilized at this time.

The conversion of ocean wave energy so that it can be turned into electrical energy is to use ocean wave power plants (PLTGL) with the type of Oscillating Water Column. OWC is a power plant that utilizes air pressure in the column generated by the thrust of ocean waves to turn a turbine that is connected

to a generator. In this study, an analysis of waves and the potential of electrical energy that can be produced at Klayar Pacitan Beach, East Java. From wave forecasting by using wind data from 2012-2017 it can be seen that the wave height that occurred at Klayar Pacitan Beach is as in table 4. 5.

The calculation is done using an OWC design that is more efficient and easy to implement. Uses existing OWC design with 3 columns. To determine the width of the dimensions that can produce maximum electric power. Dimension variations of the width between 2m, 4m and 6m were performed. The location plan for determining the location of this generator is where the selected waves are at a depth of 5m with latitude -8.225685° and longitude 110.944273° . At a depth of 5m it has a wave height of 2.17m and a period of 8.2 s. From the results of calculations performed on variations of the three dimensions. It can be seen that the greatest power that can be produced is the width of the OWC column dimensions of 6m. With the design of a fixed type OWC generator with 3 columns, each column width of 6m can generate electric power of 189,172 kW.

Keywords: Klayar Pacitan Beach, electricity consumption, Sea Wave Power Plant, sea wave and OWC.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
1.6 Lokasi	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.2 Teori Gelombang	7
2.2 Teori Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut	13
2.2.1 <i>Oscillating Water Colomn (OWC)</i>	13
2.2.2 Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut-Sistem Bandul (PLTGL- SB)	25
2.2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut <i>Thapered Chanel, Wave Surge</i> atau <i>Focusing Devises</i>	28

2.3	Pemilihan Metode Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang	29
2.4	Dasar Teori	30
2.4.1	Perhitungan Energi Gelombang	30
2.4.2	Perhitungan Daya Gelombang pada <i>OWC</i>	34
2.4.3	Perhitungan Efisiensi <i>OWC</i>	38
2.4.4	Perkiraan Daya Listrik yang Dihasilkan.....	38
BAB III METODOLOGI.....		39
3.1.	Langkah – langkah Penelitian.....	39
3.1.1	Perumusan Masalah	39
3.1.2	Studi Literatur	39
3.1.3	Penetapan Tujuan Penelitian	40
3.1.4	Pengumpulan Data.....	40
3.1.6	Analisa dan Perhitungan daya pada <i>OWC</i>	40
3.1.7	Kesimpulan dan Saran.....	41
3.2.	Diagram Alir	41
BAB IV ANALISA DATA.....		43
4.1	Data Teknis	43
4.1.2	Analisa Peta Batimetri.....	43
4.1.4	Peramalan Gelombang	50
4.1.5	Analisa Pasang Surut.....	56
4.2	Perencanaan Model <i>OWC</i>	59
4.3	Perhitungan Daya Gelombang	60
4.4	Perhitungan Daya <i>OWC</i>	64

4. 5 Perhitungan Efisiensi OWC	78
4. 5 Perhitungan Daya Listrik OWC.	78
4. 6 Perencanaan Desain Bangunan OWC.	79
4. 7 Analisa Design Pondasi pada Orifice.	80
4.7.1 <i>Preliminary Design</i>	80
4.7.2 Analisa Dinamis Tanpa Tiang Pancang.....	81
4.7.3 Analisa Dinamis Dengan Tiang Pancang	84
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	91
5.1 Kesimpulan.....	91
5.2 Saran	92
DAFTAR PUSTAKA	93
BIODATA PENULIS	95
LAMPIRAN	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik perbandingan konsumsi dan produksi energi listrik.....	3
Gambar 1. 2 Peta lokasi Pantai Klayar Pacitan.	5
Gambar 2. 1 Karakteristik gelombang.	8
Gambar 2. 2 Refraksi gelombang.....	10
Gambar 2. 3 Difraksi gelombang di belakang rintangan.	12
Gambar 2. 4 Refleksi gelombang laut.	12
Gambar 2. 5 Refleksi pada dinding vertikal.	13
Gambar 2. 6 Mekanisme sistem	15
Gambar 2. 7 Mekanisme sistem turbin Masuda.	16
Gambar 2. 8 Sistem turbin Mc Cormick.	17
Gambar 2. 9 Sistem turbin Wells.	18
Gambar 2. 10 Elemen sistem pokok tenaga.	19
Gambar 2. 11 Generator AC sederhana.....	20
Gambar 2. 12 Kolektor pada sistem pembangkit <i>OWC</i>	21
Gambar 2. 13 Konverter atau orifice pada <i>OWC</i>	21
Gambar 2. 14 Proses pengerukan.	22
Gambar 2. 15 Proses pengecoran setelah pengerukan.	22
Gambar 2. 16 Proses pemasangan balok beton.	23
Gambar 2. 17 Proses penutupan dengan pengecoran.	23
Gambar 2. 18 Proses pemasangan orifice.	24
Gambar 2. 19 Proses penghancuran tembok penghalang.	25
Gambar 2. 20 <i>OWC</i> yang sudah beroperasi.	25
Gambar 2. 21 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandul Zamrisyaf.	26
Gambar 2. 22 Sistem bandul sebagai penggerak PLTGL-SB.	27
Gambar 2. 23 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) sistem <i>tapered chanel (tapcan)</i>	29
Gambar 2. 24 Profil gelombang dan keterangannya.	31
Gambar 2. 25 Penampang <i>OWC</i> tipe <i>fixed</i>	35
Gambar 2. 26 <i>Flowchart</i>	42
Gambar 4. 1 Peta Batimetri Pantai Klayar Pacitan.....	48

Gambar 4. 2 <i>Wind rose</i> (mawar angin) 2012 – 2017.....	50
Gambar 4. 3 Grafik peramalan gelombang.	52
Gambar 4. 4 Grafik Pasang Surut di Pantai Klayar, Kab. Pacitan.	57
Gambar 4. 5 Konsep hubungan pasang surut dengan permukaan tanah.	59
Gambar 4. 6 Penampang melintang kolom <i>OWC</i>	60
Gambar 4. 7 Peta lokasi perencanaan sistem <i>OWC</i>	65
Gambar 4. 8 Grafik antara v_1 dengan t	67
Gambar 4. 9 Grafik antara v_2 dan t	69
Gambar 4. 11 Grafik v_2 dan t	70
Gambar 4. 10 Grafik v_2 dan t	70
Gambar 4. 12 Lokasi rencana sistem pembangkit <i>OWC</i>	80
Gambar 4. 13 Grafik antara faktor frekuensi (ν) dan ratio massa b	82
Gambar 4. 14 Grafik rasio massa dengan faktor amplitudo A	83
Gambar 4. 15 Faktor interaksi α	87
Gambar 4. 16 Konsep desain bangunan dinding pelindung pada <i>orifice</i>	90
Gambar 4. 17 Grafik antara pemindahan amplitudo dengan frekuensi getaran.	90

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Kordinat Peta Batimetri.....	43
Tabel 4. 2 Data angin jumlah kejadian.....	49
Tabel 4. 3 Intensitas angin dan presentase kejadian.	49
Tabel 4. 4 Hasil Plotting pada Grafik <i>Fetch</i>	52
Tabel 4. 5 Hasil perhitungan perambatan gelombang.	55
Tabel 4. 6 Data pasang surut di Pantai Klayar Pacitan.	56
Tabel 4. 7 Tabel nilai konstanta pasang surut.	57
Tabel 4. 8 Tipe pasang surut menurut nilai <i>Formzahl</i>	58
Tabel 4. 9 Daya gelombang di Pantai Klayar Pacitan.	62
Tabel 4. 10 Tabel kecepatan aliran udara (v_1).	66
Tabel 4. 11 Luas area pada kolom A_1 dan A_2	68
Tabel 4. 12 Tabel kecepatan aliran didalam <i>orifice</i> v_2	68
Tabel 4. 13 Kapasitas aliran udara didalam <i>orifice</i>	72
Tabel 4. 14 Potensial kecepatan didalam orifice <i>OWC</i>	74
Tabel 4. 15 Tekanan udara pada <i>orifice</i>	76
Tabel 4. 16 Daya pada <i>OWC</i>	77
Tabel 4. 17 Hubungan faktor frekuensi dengan \bar{S}_1 dan \bar{S}_2	86
Tabel 4. 18 Penentuan nilai harga αA	87

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sulitnya akses pelayanan dan pemasangan jaringan listrik di daerah sekitar pesisir pantai menjadi faktor penyebab tidak meratanya sebaran jaringan listrik, sehingga perlu mendapat perhatian lebih dalam menghadapi permasalahan tersebut. PT. PLN (Persero) menjadi lembaga pemerintah dalam penyediaan kelistrikan nasional belum mampu menyediakan energi listrik seiring pesatnya kebutuhan listrik di masyarakat dan industri.

Indikator kemajuan ekonomi suatu negara salah satunya bisa diukur dari konsumsi energi per kapita. Dengan mengoptimalkan listrik yang tersedia, melalui pemanfaatan untuk produktivitas dan melalui pemerataan listrik ke seluruh wilayah Indonesia, maka ekonomi Indonesia akan semakin meningkat. Kebutuhan listrik di Indonesia atau juga konsumsi listrik di Indonesia untuk saat ini masih 1.012 kWh per kapita atau 267,168 TWh. Dibanding negara maju konsumsi listrik Indonesia masih tertinggal jauh. Sebut saja Amerika Serikat yang mencapai 12.820 kWh per kapita, Korea Selatan 10.620, Jepang 7.970 dan Inggris 5.030 kWh per kapita. Untuk dikawasan ASEAN pun Indonesia masih tertinggal seperti dibandingkan Singapura yang mencapai 9.040 kWh per kapita, Malaysia 4.660 kWh, Thailand 2.870 dan bahkan Vietnam yang konsumsi listrik per kapita diangka 1.620 kWh per kapita. Sedangkan produksi listrik saat ini di Indonesia total sebesar 260,184TWh. Untuk energi listrik hasil produksi PLN sendiri sebesar 171,61 TWh sementara pembelian dari luar PLN sebesar 88,574TWh.

Kebutuhan listrik di Indonesia ada 4 meliputi rumah tangga, usaha atau bisnis, industri dan umum (sosial, gedung pemerintah dan penerangan jalan umum). Pada tahun ini untuk rumah tangga mengkonsumsi 113,10 TWh (42,33%), usaha 49,93 TWh (18,69%), umum 17,70 TWh (6,61%) dan untuk

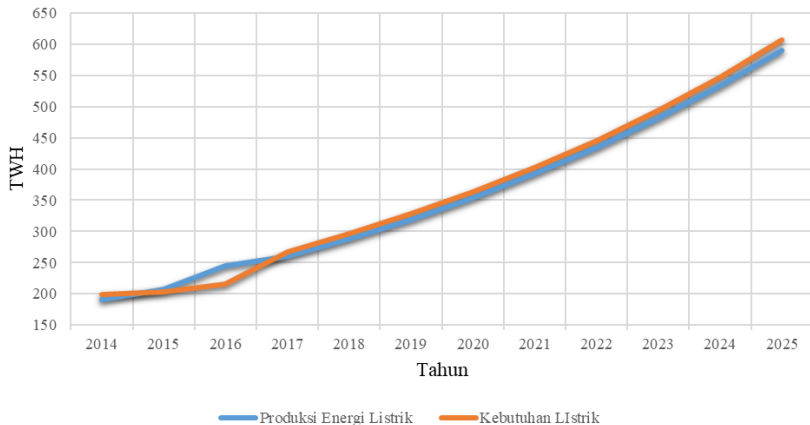
konsumen industri sebesar 86,48 TWh (32,37%). Data konsumsi listrik di Indonesia pada tahun 2017 sebesar 267,168 TWh kemudian diproyeksikan menggunakan metode *forecasting* sehingga diperoleh nilai pertumbuhan 10,78% dan nilai konsumsi pada tahun 2025 sebesar 605,9799 TWh. Begitupun juga untuk nilai produksi listrik dengan metode sama pada tahun 2017 data produksi listriknya sebesar 260,184 dengan pertumbuhan 10,89% didapatkan nilai produksi tahun 2025 hasil proyeksi sebesar 590,0463 TWh. Perbandingan antara data konsumsi dan produksi listrik ditunjukkan pada gambar 1. 1.

Sumber-sumber listrik saat ini yang digunakan dibedakan menjadi 2 yaitu sumber energi yang tidak dapat diperbarui dan sumber energi yang bisa diperbarui. Untuk yang tidak bisa diperbarui yaitu batu bara, minyak bumi, dan gas. Sedangkan untuk sumber energi yang bisa diperbarui dan sedang digunakan produksi energi listrik saat ini adalah tenaga surya, tenaga bayu (angin) dan tenaga air. Ada juga sumber energi yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik yang bisa diperbarui yaitu gelombang laut.

Dikarenakan Indonesia merupakan negara kelautan terbesar di dunia, luas laut Indonesia mencapai 5,8 juta km². 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. Akan tetapi belum ada pemanfaatan potensi energi kelautan secara optimum, terutama dalam membangkitkan tenaga listrik. Potensi energi laut dan samudra untuk menghasilkan listrik merupakan salah satu potensi yang belum banyak dimanfaatkan untuk saat ini. Dan juga PLTGL berasal dari sumber daya alam terbarukan, murah dan relatif mudah diaplikasikan.

Oleh karena itu pada Tugas Akhir Terapan ini akan dibahas pemanfaatan gelombang air laut sebagai pembangkit energi listrik atau sebagai *wave energy conversion*. Sedangkan

pemilihan lokasi di Pantai Klayar Pacitan sebagai lokasi studi dikarenakan potensial gelombang laut Pantai Klayar yang berlokasi di Pantai Selatan Jawa yang cukup besar. Selain itu lokasi pemukiman di pesisir pantai selatan yang di beberapa lokasi di pantai selatan masih terpencil dan belum terjangkau aliran listrik PLN.



Gambar 1. 1 Grafik perbandingan konsumsi dan produksi energi listrik. [9]

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang tersebut, maka pokok permasalahan yang akan dibahas adalah :

- 1) Bagaimana analisis tinggi gelombang laut di pantai Klayar Pacitan?.
- 2) Bagaimana desain pembangkit listrik tenaga gelombang?.
- 3) Berapa kapasitas daya listrik yang dibangkitkan atau dihasilkan?.

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam Tugas Akhir Terapan ini tidak meluas, maka diberikan batasan – batasan masalah sebagai berikut :

- 1) Daerah penelitian hanya meliputi Pantai Klayar Pacitan Jawa Timur.
- 2) Konversi energi yang digunakan adalah model *OWC fixed*.
- 3) Hanya mencari daya yang dihasilkan oleh pembangkit model *OWC fixed* dengan melakukan perbandingan variasi kolom dengan lebar 2m, 4m dan 6m.
- 4) Asumsi perkiraan tinggi gelombang dibangkitkan dari data angin di Pantai Klayar Pacitan dari tahun 2012- 2017.
- 5) Tidak menghitung rencana anggaran biaya (RAB).
- 6) Pada Tugas Akhir Terapan ini juga tidak melakukan perhitungan struktur bangunan dan pondasi dikarenakan data tanah dilokasi studi tidak ada.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan laporan Tugas Akhir Terapan ini adalah :

- 1) Untuk mengetahui tinggi gelombang laut di Pantai Klayar Pacitan.
- 2) Untuk mendapat desain pembangkit listrik gelombang laut.
- 3) Untuk mendapatkan besar daya yang dihasilkan energi gelombang air laut di Pantai Klayar Pacitan.

1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan Tugas akhir Terapan ini adalah :

- 1) Dapat mengetahui cara memanfaatkan gelombang laut sebagai sumber pembangkit listrik.
- 2) Bagi penulis untuk tambahan ilmu dengan wawasan bahwa gelombang air laut dapat digunakan sebagai sumber pembangkit listrik.

1.6 Lokasi

Lokasi studi yang ditinjau yaitu pantai Klayar Pacitan Jawa Timur bisa dilihat pada gambar 1.2.



Gambar 1. 2 Peta lokasi Pantai Klayar Pacitan. [6]

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

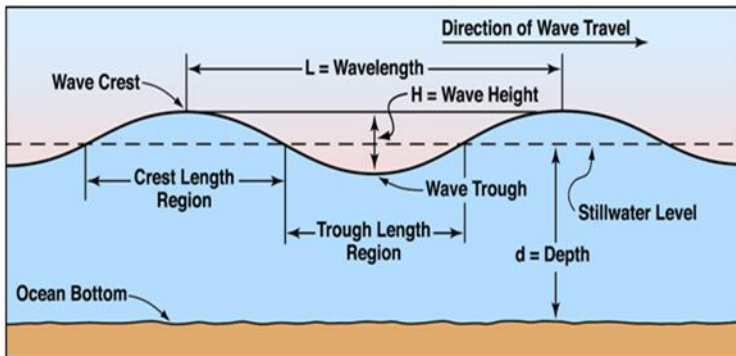
2.2 Teori Gelombang

Gelombang permukaan laut adalah gelombang yang terjadi di permukaan laut. Peristiwa terjadinya gelombang laut 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 melewati 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 gelombang laut. Gelombang laut adalah perubahan energi yang sederhana. Energi ini telah dimiliki dari permulaan. Sumber Energi ombak terjadi karena empat fenomena, yaitu: [10]

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 aktivitas pergerakan bumi.
4. Gravitasi matahari dan bulan yang mengakibatkan terjadinya ombak.

Karakteristik dari ombak adalah panjang ombak (L), tinggi gelombang laut (H), dan periode ombak (T). Panjang gelombang laut (L) adalah pengukuran jarak dari beberapa poin pada ombak yang berdekatan. Tinggi ombak (H) adalah jarak vertikal dari puncak ke dasar ombak. Periode (T) adalah waktu yang diambil dari ombak untuk melewati suatu poin. Amplitudo (A) adalah jarak dari pergerakan ombak ke atas dan ke bawah dari level laut. *Celerity* (C) adalah kecepatan pergerakan dari gelombang laut. Karakteristik gelombang laut bisa dilihat pada gambar 2. 1.



Gambar 2. 1 Karakteristik gelombang. [7]

1. Faktor Yang Mempengaruhi Gelombang Laut

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

A. Angin

Angin adalah salah satu faktor yang mempengaruhi terjadinya gelombang laut, angin mempengaruhi variasi pada tinggi dan periode terjadinya gelombang laut. Gelombang laut 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 di atas sangat menentukan tinggi dan periode dari gelombang laut teratur. Jika angin berhembus dengan kecepatan konstan maka ketinggian gelombang laut akan bertambah begitu juga dengan periode dari gelombang laut. Kemudian gelombang laut teratur berjalan dari jarak ratusan meter, karena daerah pembangkitan gelombang laut jauh dari pantai. Dalam perjalanannya ketinggian gelombang laut akan berkurang namun periode gelombang laut meningkat. [1]

B. Batimetri

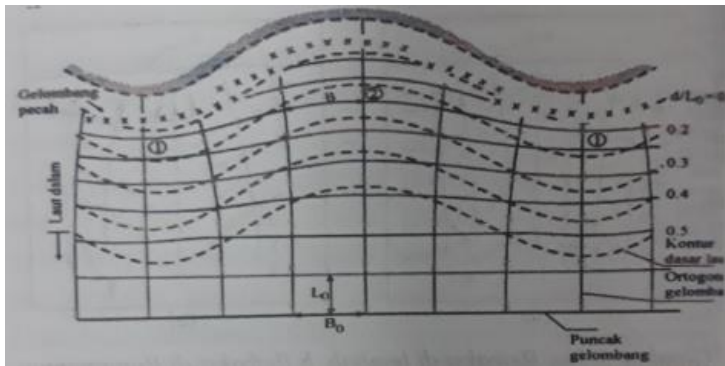
Peta batimetri adalah peta yang menggambarkan kedalaman laut dan disajikan dengan menggunakan garis kontur kedalaman. Garis kontur adalah garis abstrak yang menghubungkan beberapa lokasi atau daerah yang memiliki ketinggian atau kedalaman yang sama.

C. 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 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. [10]

Refraksi menyebabkan perubahan arah gelombang dan akan menghasilkan konvergensi (memusat) atau divergensi (penyebaran) energi gelombang dan berpengaruh pada energi gelombang yang sampai di pantai. Berikut ini pada gambar 2. 2 menunjukkan contoh refraksi gelombang di pantai yang memiliki garis kontur dasar laut dan garis pantai yang tidak teratur.

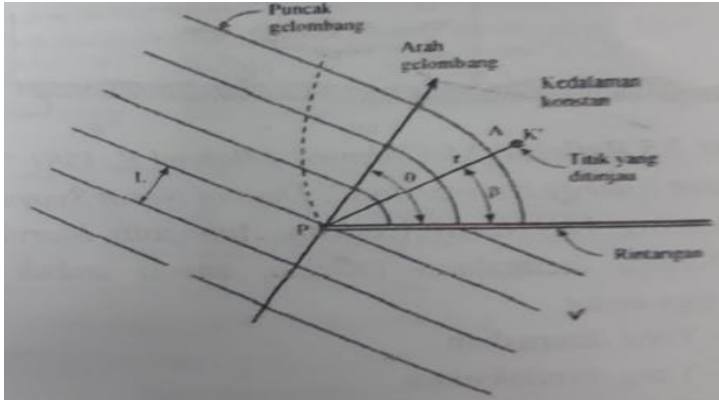


Gambar 2. 2 Refraksi gelombang. [12]

Pada gambar 2.2 terlihat bahwa garis puncak gelombang berubah mengikuti kontur dasar laut dan garis pantai. Garis ortogonal gelombang menyebar dalam arah menuju tegak lurus garis kontur. Pada lokasi 1, garis ortogonal gelombang menguncup sedangkan di lokasi 2 garis ortogonal gelombang menyebar. Energi di antara dua garis ortogonal adalah konstan. Pada lokasi 1 energi yang terkandung lebih besar daripada lokasi 2 karena jarak antar garis ortogonal pada lokasi 1 lebih kecil daripada lokasi 2. Jika merencanakan pembangkit listrik energi ombak, lokasi 1 lebih cocok daripada lokasi 2 karena energi dari ombak yang dihasilkan besar.

D. Difraksi

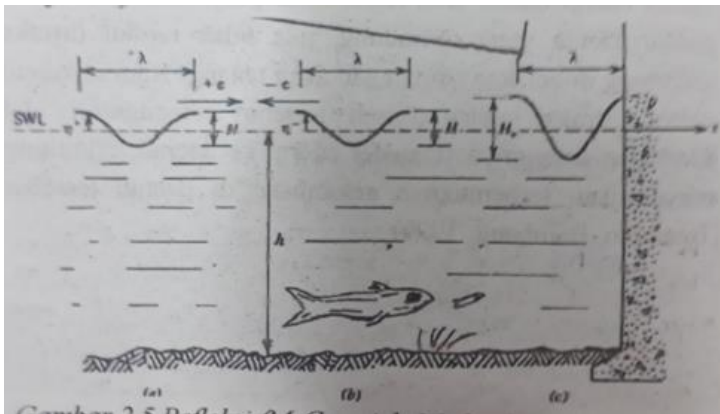
Jika gelombang yang datang terhalang oleh suatu rintangan, maka gelombang akan membelok disekitar ujung rintangan dan masuk di daerah terlindungi dibelakangnya. Fenomena ini adalah difraksi gelombang. Pada difraksi terjadi transfer energi dalam arah tegak lurus penjalaran gelombang menuju daerah yang 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. Berikut adalah ilustrasi difraksi gelombang di belakang rintangan. Terlihat pada gambar 2. 3. [12]



Gambar 2. 3 Difraksi gelombang di belakang rintangan.[12]

E. Refleksi

Saat ombak membentur rintangan vertikal, seperti dinding pantai, senengi ombak tersebut akan diserap sebagian oleh dinding pantai jika dinding tersebut keropos. Namun keadaan sebenarnya energi tidak diserap namun dipantulkan (*reflected*), maka refleksi adalah pemantulan energi gelombang akibat membentur rintangan. Seperti ilustrasi pada (gambar 2.4).

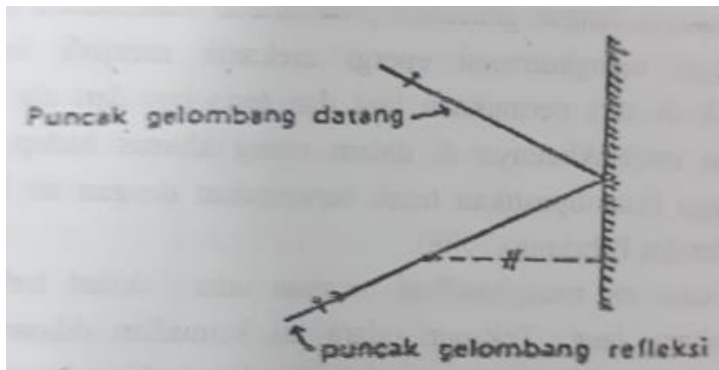


Gambar 2. 4 Refleksi gelombang laut. [12]

Ketika mengalami refleksi, energi ombak terurai menjadi tiga unsur:

- Yang diteruskan
- Yang direfleksikan
- Yang hilang

Tinggi gelombang laut setelah refleksi akan berkurang dibanding dengan tinggi gelombang laut yang akan datang [1]. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada (gambar 2. 5).



Gambar 2. 5 Refleksi pada dinding vertikal.[1]

2.2 Teori Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut

Ada beberapa macam sistem pembangkit listrik yang sudah ditemukan oleh para peneliti. Berikut ini akan dijelaskan tiga jenis pembangkit listrik tenaga gelombang laut.

2.2.1 *Oscillating Water Column (OWC)*

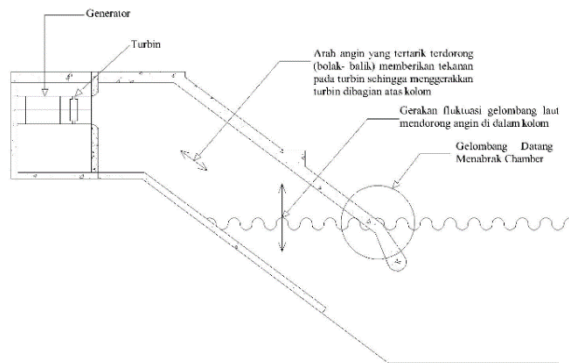
Sistem pembangkit *OWC* ada 2 tipe, yaitu tipe *floating* dan tipe *fixed*. Tipe *floating* merupakan pembangkit listrik tipe *Oscillating Water Column* yang diletakkan dikedalaman tertentu di laut lepas. Untuk mendapatkan tinggi gelombang yang diinginkan. *OWC* tipe ini juga lebih fleksibel dalam menghadapi pasang surut air laut karena letaknya di tengah laut

OWC tipe ini juga lebih banyak membutuhkan biaya untuk menyalurkan energi listrik yang dihasilkan dari laut menuju darat biasanya memakai kabel laut yang panjang. Dan belum juga biaya perawatannya juga lebih besar.

Sedangkan selanjutnya ada pembangkit listrik model *OWC fixed*. Pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe ini ini banyak diminati para peneliti dikarenakan sistem yang sederhana dan kemudahan dalam pengkonversian energi dari gelombang laut menjadi energi listrik. Pertimbangan dasar lainnya yaitu karena tipe *OWC fixed* ini tidak memiliki komponen pendistribusian energi didalam air laut yang sangat bersifat korosif. Sistem ini terdiri dari *air collector chamber* berisikan udara yang akan menggerakkan turbin. Kolom tempat naik turunnya gelombang air laut.

Sistem ini membangkitkan listrik dari fluktuasi gelombang air laut yang masuk ke dalam sebuah kolom osilasi yang berlubang. Fluktuasi 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 udara yang sudah dikopel dengan generator listrik.

Turbin udara tersebut dirancang untuk bisa bekerja dengan generator putaran dua arah. Sistem yang berfungsi mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik terletak di atas permukaan air laut. Diletakkan dalam ruang khusus yang terisolasi dengan air laut dan kedap air. Dimaksudkan agar melindungi alat-alat tersebut dari sifat korosif air laut maupun cuaca yang terik maupun hujan [11]. Untuk lebih jelasnya mekanisme dari sistem *OWC* tipe *fixed* bisa dilihat pada gambar 2. 6.



Gambar 2. 6 Mekanisme sistem *OWC*.

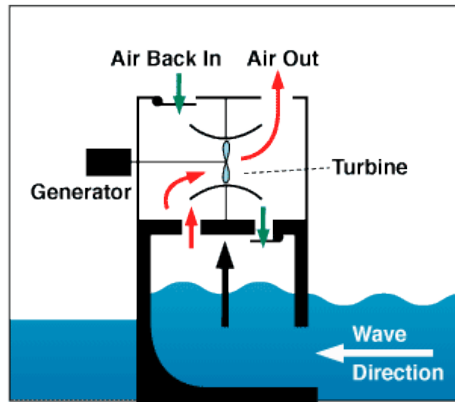
A. Turbin

Turbin secara umum adalah suatu mesin yang berputar disebabkan oleh aliran fluida yang datang dan berfungsi untuk mengubah energi menjadi energi gerak untuk menggerakkan generator. Dari penjelasan sebelumnya pada sistem *OWC* ini menggunakan turbin udara yang dikopel dengan generator. Ada tiga model turbin yang biasa digunakan untuk sistem pembangkit *OWC* ini baik untuk tipe *OWC floating* ataupun *OWC tipe fixed*.

Yang pertama telah dipatenkan oleh Masuda dari Jepang. Menggunakan turbin jenis baling – baling dengan beberapa katup pembuka dan penutup. Sistem dari turbin Masuda ini dapat tetap berputar satu arah dengan cara menggunakan katub buka tutup sebagai pengarah aliran udaranya. Bila tekanan udara terdorong ke atas karena terdorong gelombang yang datang maka katub kiri bawah akan membuka dan tekanan yang masuk tadi memutar turbin selanjutnya katub kanan atas akan terbuka untuk mengeluarkan tekanan udara masuk tadi.

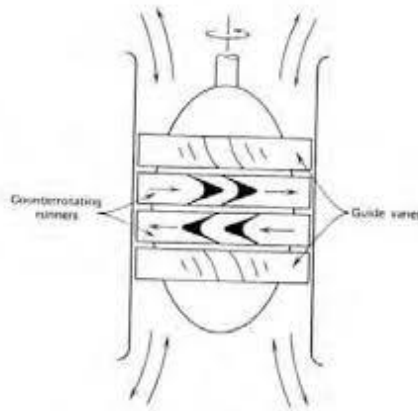
Dan sebaliknya saat gelombang turun udara terhisap melalui katub atas kiri yang terbuka karena tekanan hisap tadi dan aliran udara memutar turbin dari kiri sehingga turbin akan berputar tetap pada arah yang sama dengan ketika saat

gelombang naik saat datang. Selanjutnya katub kanan bawah terbuka untuk menghisap tekanan kebawah. Untuk mekanismenya terlihat pada gambar 2.7. Efisiensi untuk turbin ini berkisar 0,8 sampai 0,85. [10]



Gambar 2. 7 Mekanisme sistem turbin Masuda. [11]

Model turbin yang lain yaitu turbin yang ditemukan oleh Mc Cormick. Yang menggunakan teknik *self rectifying property*. Seperti terlihat pada gambar 2. 8. Tekanan udara dialirkan melewati pengarah ke kiri sehingga akan memutar sudut 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. Efisiensi turbin ini berkisar 0.85-0.9. [11]



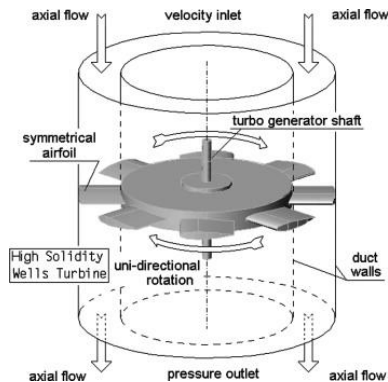
Gambar 2. 8 Sistem turbin Mc Cormick. [11]

Kemudian yang ketiga ada turbin Wells. Turbin Wells adalah turbin bertekanan udara rendah yang berputar satu arah meskipun arah aliran udara yang melewatinya berubah. Turbin ini ditemukan oleh Profesor Allan Arthur Wells dari Queen's University Belfast pada tahun 1976. Blade pada turbin ini memiliki bentuk *airfoil* yang simetris dan juga simetris pada bidang rotasi dan tegak lurus terhadap aliran udara. Turbin ini dikembangkan untuk digunakan dalam pembangkit tenaga ombak, dimana permukaan air naik dan turun bergerak dalam ruang kompresi udara menghasilkan aliran udara berosilasi.

Penggunaan turbin yang bersifat *bidirectional* ini bertujuan untuk menghindari kebutuhan untuk perawatan sistem katup yang berfungsi untuk mengatur arah aliran udara. Namun turbin ini memiliki nilai efisiensi lebih rendah dibandingkan dengan turbin dengan arah aliran udara konstan dan asimetris *airfoil*. Salah satu alasan nilai efisiensinya 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 (pisau kecepatan/rasio udara kecepatan rendah), seperti yang terjadi selama kecepatan udara maksimal 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.

Turbin udara pada Oscillating Water Column berfungsi merubah tekanan udara yang dihasilkan oleh kolektor menjadi energi gerak atau menjadi energi mekanik. 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 mengubah energi mekanis yang dihasilkan pada poros turbin menjadi energi listrik.



Gambar 2. 9 Sistem turbin *Wells*. [11]

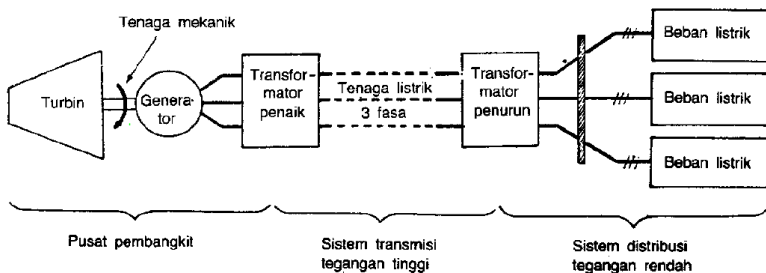
B. Sistem Tenaga

Generator sinkron adalah mesin listrik yang mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik dengan perantara induksi medan magnet. Energi mekanik dihasilkan listrik. Sumber energi mekanik sendiri adalah *prime mover*. Bisa dihasilkan dari sumber penggerak mesin diesel, turbin udara, turbin air, turbin gas ataupun pembangkit sejenis

lainnya. *Output* dari generator sinkron yaitu tegangan bolak balik. Oleh karena generator sinkron disebut juga generator AC.

Dari energi mekanik yang dihasilkan *prime mover* diubah menjadi tenaga listrik tiga fasa. Oleh 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*) $12R$ yang menyertainya. Ketika saluran transmisi mencapai pusat beban, tegangan tersebut kembali diturunkan menjadi tegangan menengah, melalui transformator penurun tegangan (*step – down transformer*). [14]

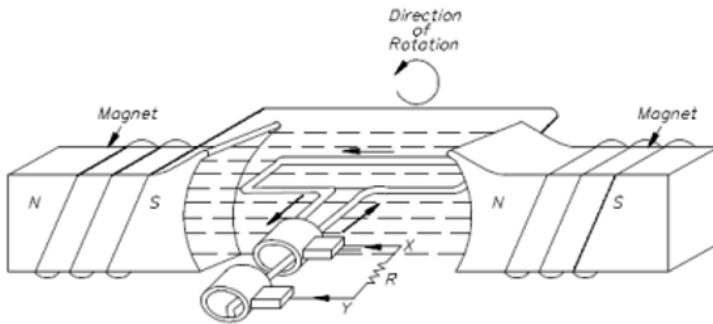
Pada pusat- pusat beban yang terhubung dengan saluran distribusi, energi listrik ini diubah kembali menjadi bentuk – bentuk energi terpakai lainnya seperti energi mekanis, penerangan, pemanas, pendingin dll. Elemen pokok sistem tenaga dapat dilihat pada gambar 2. 10.



Gambar 2. 10 Elemen sistem pokok tenaga. [14]

C. Generator

Generator dapat menghasilkan listrik karena adanya konversi energi dari mekanik menjadi energi listrik yang berlangsung melalui media medan magnet. Dengan demikian medan magnet berfungsi sebagai media untuk mengkopel proses perubahan energi. Berikut adalah bentuk generator AC sederhana pada gambar 2. 11.

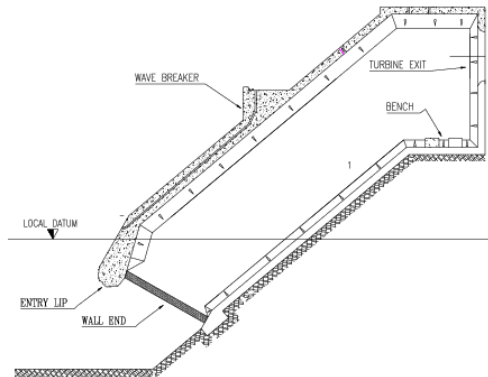


Gambar 2. 11 Generator AC sederhana. [10]

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.

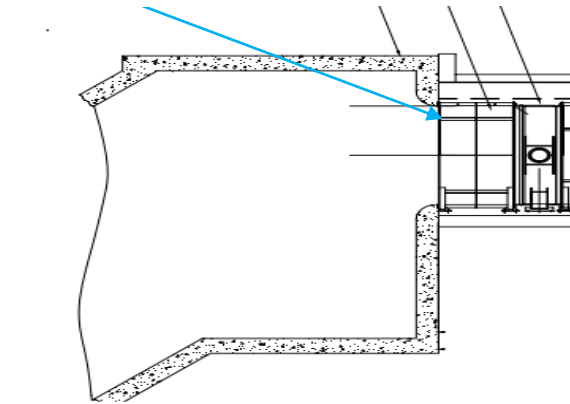
D. Pembangunan dan Konstruksi OWC

Oscilating Water Column memiliki konstruksi didalamnya yaitu kolektor/*chamber* dan *converter/orifice*. OWC yang dibangun di bibir pantai menggunakan beban beton untuk kosntruksinya. Lebih jelas terdapat pada (gambar 2. 12 dan gambar 2. 13).



Gambar 2. 12 Kolektor pada sistem pembangkit OWC. [8]

Konverter pada *orifice*



Gambar 2. 13 Konverter atau *orifice* pada OWC. [8]

Pada (gambar 2. 14) adalah foto pembangunan *OWC* pertama adalah melakukan pengerukan pada bibir pantai yang paling luar dibiarkan utuh menahan air laut. Kedalaman pengerukan disesuaikan dengan kedalaman *OWC*.



Gambar 2. 14 Proses pengerukan. [8]

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. Seperti pada (gambar 2. 15).



Gambar 2. 15 Proses pengecoran setelah pengerukan. [8]

Pada (gambar 2. 16) adalah proses menutup bagian atas dari OWC dengan balok – balok beton. Kemudian balok – balok beton di atasnya akan di cor kembali agar menyatu dan rongga – rongga dari sela – sela balok beton dapat tertutup, seperti pada (gambar 2. 17).



Gambar 2. 16 Proses pemasangan balok beton. [8]



Gambar 2. 17 Proses penutupan dengan pengecoran. [8]

Setelah proses pengecoran selesai, kemudian pada (gambar 2. 18) dilanjutkan proses pemasangan *orifice* atau

lubang *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, udara didalam kolom akan membuat udara dari luar masuk kembali ke dalam kolektor melalui lubang *orifice* dan memutar turbin.



Gambar 2. 18 Proses pemasangan *orifice*. [8]

Setelah *OWC* selesai pembangunan dan pemasangan maka proses selanjutnya adalah dengan membuka dinding penahan air laut pada gambar 2. 19. Setelah dinding terbuka maka *OWC* sebagian kolektor akan terbenam air laut. Pada gambar 2. 20 adalah proses pengerukan tembok penahan air laut.



Gambar 2. 19 Proses penghancuran tembok penghalang. [8]



Gambar 2. 20 OWC yang sudah beroperasi. [8]

2.2.2 Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut-Sistem Bandul (PLTGL- SB)

Teknologi pembangkit listrik tenaga gelombang laut di Indonesia pertama kali dikembangkan ada tahun 2002 oleh Zamrisyaf (staf PUSLITBANG PLN), menggunakan sistem bandul. Pembangkit ini dapat dikategorikan dalam skema *Oscilating Bodies* dengan sistem transmisi atau konversi energi

dengan menggunakan motor hidrolik, turbin hidrolik atau generator linier. Pada teknologi ini, gelombang laut yang bergerak dengan parameter periode dan tinggi gelombang tertentu yang menabrakan dinding lambung ponton (*hull*) dan menimbulkan gerakan [4]. Berikut pada (gambar 2. 21) adalah bentuk pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem bandul.

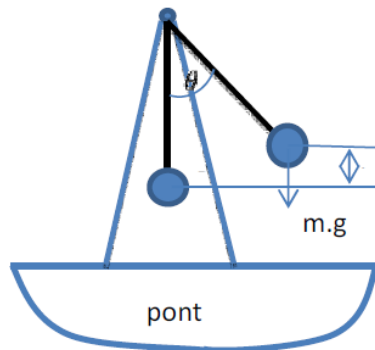
Ponton ditempatkan mengapung di atas permukaan air laut, dan PLTGL-SB tersebut akan mengikuti gerak/arus gelombang sesuai dengan frekuensi gelombang laut, sehingga menyebabkan posisi PLTGL-SB selalu bergerak terombang ambing sesuai dengan alur gelombang. Karena gerakan terombang ambing ponton yang terus-menerus tersebut menyebabkan ayunan bandul yang akan dirubah jadi putaran generator dalam hal ini ada empat bandul, sehingga PLTGL-SB mengeluarkan Energi/Daya Listrik. Gerakan bandul yang bergoyang dirobah dengan menggunakan sistem transmisi menjadi putaran yang dapat memutar dinamo/generator.



Gambar 2. 21 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandul Zamrisyaf. [4]

Hal ini disebabkan adanya momentum partikel air laut pada lambung ponton. Bandul yang berada di atas ponton dan

menghasilkan gerakan rotasi (bandul posisi horizontal) serta gerakan bolak-balik (bandul posisi vertikal). Generator yang terhubung oleh bandul akan ikut bergerak dan mendapatkan energi listrik dengan sistem langsung atau tidak langsung, maupun dengan menggunakan sistem hidrolik atau mekanik. Semua peralatan pendukung ponton diletakkan di atas ponton, sehingga pemeliharaannya akan lebih mudah.



Gambar 2. 22 Sistem bandul sebagai penggerak PLTGL-SB.
[13]

Bandul yang digunakan pada pembangkit listrik ini digantung dengan lengan baja (gambar 2. 22) sehingga poros dari lengan akan dapat berputar bolak balik dan bandul dipasang di atas sebuah ponton. Gaya F yang diperoleh dari ayunan bandul inilah yang diharapkan akan dapat diubah menjadi energi listrik. Gerakan bolak balik dari bandul akan dirobah menjadi gerak putaran melalui suatu mekanisme. Putaran yang dihasilkan tentunya akan lambat tetapi memiliki momen torsi yang besar, dengan menggunakan sistem transmisi dan roda gila atau *fly wheel* putaran tersebut dinaikan mencapai putaran kerja dari generator/dinamo sehingga generator akan menghasilkan energi listrik yang diharapkan.

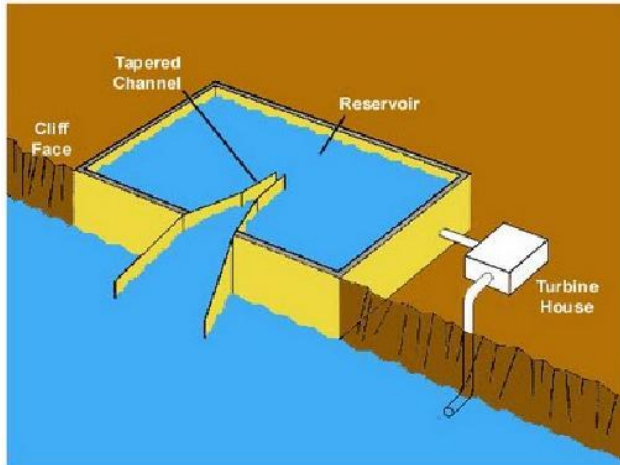
Bandul akan bergoyang diakibatkan oleh gelombang, frekwensi gelombang laut juga sangat menentukan terhadap besarnya gaya yang dihasilkan. Frekwensi gelombang laut bervariasi disetiap daerah dan dipengaruhi oleh kecepatan hembusan angin diatas permukaan laut. Sistem ini menggunakan empat bandul untuk menghasilkan putaran yang lebih besar dan lebih stabil.

2.2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut *Thapered Chanel, Wave Surge atau Focusing Devises*

Sistem ini biasa disebut *taphered chanel* atau kanal meruncing atau sistem tapchan, dipasang pada sebuah struktur kanal yang dibangun di pantai untuk mengkonsentrasikan gelombang, membawanya ke dalam kolam penampung yang ditinggikan. Air yang mengalir keluar dari kolam penampung ini yang digunakan untuk membangkitkan listrik dengan menggunakan teknologi standar *hydropower*. Berikut pada gambar 2. 23 adalah sistem *taphered chanel*. Bangunan untuk memasukkan air laut ini terdiri dari dua unit, kolektor dan konverter. Kolektor berfungsi menangkap ombak, menahan energinya semaksimal mungkin, lalu memusatkan gelombang tersebut ke konverter.

Konverter yang didesain berbentuk saluran yang runcing di salah satu ujungnya ini selanjutnya akan meneruskan air laut tersebut naik menuju reservoir. Oleh karena bentuknya yang spesifik ini, saluran tersebut dinamakan tapchan (*tappered channel*). Setelah air tertampung pada reservoir, proses pembangkitan listrik tidak berbeda dengan mekanisme kerja yang ada pada pembangkit listrik tenaga air, yaitu air yang sudah terkumpul itu diterjunkan ke sisi bangunan yang lain. Energi potensial inilah yang berfungsi menggerakkan atau memutar turbin sehingga menghasilkan energi listrik. Turbin tersebut didesain untuk bisa bekerja dengan generator putaran

dua arah. Sistem yang berfungsi mengonversi 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.



Gambar 2. 23 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) sistem *tapered chanel (tapcan)*. [5]

2.3 Pemilihan Metode Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang

Dari Penjelasan ketiga tipe pembangkit listrik dapat disimpulkan

1. *Oscilating Water Coulumn.*

- Cocok untuk topografi pantai yang curam atau bertebing.
- Tidak memerlukan area yang luas.
- Lebih mudah menyalurkan energi di darat Atau bisa dikatakan biaya pembuatan jaringan distribusi didarat lebih murah dan efisien.

- Cocok untuk pantai yang memiliki ketinggian gelombang laut yang konstan.
2. Pembangkit Listrik Tenaga Sistem Bandul.
 - Diletakkan di lepas pantai.
 - Membutuhkan banyak biaya untuk menyalurkan energi ke darat.
 - Sangat fleksibel dalam menghadapi pasang surut air laut, karena berada di tengah laut yang tidak terpengaruh pasang surut air laut.
 3. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut *Thapered Chanel*.
 - Lebih mudah menyalurkan energi di darat.
 - Memerlukan area konstruksi yang luas.
 - Tidak cocok untuk di daerah pantai bertebing.

Dapat di simpulkan dari ketiga tipe pembangkit tersebut lebih cocok digunakan dan lebih efisiensi direncanakan di Pantai Klayar Pacitan adalah tipe *Oscillating Water Coulumn fixed*.

2.4 Dasar Teori

2.4.1 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 kinetik dan energi potensial. Energi potensial dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$PE = mg \frac{y(x-t)}{2}$$

Dengan :

PE= energi potensial (J)

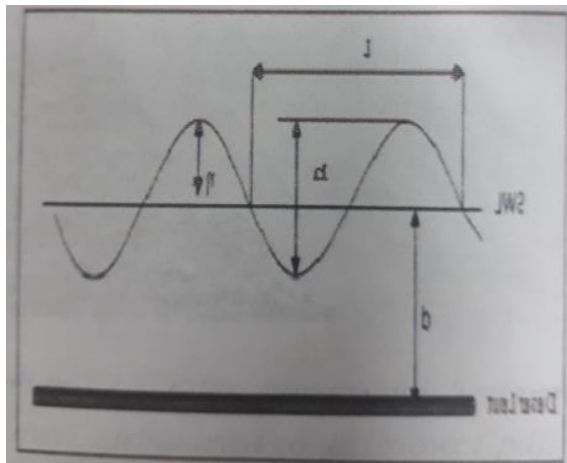
m = massa gelombang (kg)

g = gaya gravitasi (m/s^2)

$y = y(x, t)$ = tinggi dari dasar laut ke permukaan ($d+\eta$)

[10]

Pada (gambar 2. 24) adalah profil gelombang.



Gambar 2. 24 Profil gelombang dan keterangannya. [10]

Keterangan Gambar:

λ = panjang gelombang

h = tinggi gelombang

d = kedalaman

SWL = *sea water level*

η = amplitudo 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:

$$dPE = 0.5 wpa^2 \sin^2(kx - \omega t) dx$$

$$PE = \int_0^\lambda dPE$$

$$PE = \int_0^\lambda 0.5 wpa^2 \sin^2(kx - \omega t) dx$$

$$= \frac{1}{2} wpga^2 \left[\frac{1}{2} x - \frac{1}{4} \sin^2(kx - \omega t) \right]_0^\lambda [10]$$

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

$$PE = \frac{1}{4} wpga^2 \lambda$$

Total energi kinetik setelah satu periode adalah hasil total energi potensial

$$KE = \frac{1}{4} wpga^2 \lambda$$

Sehingga total energi satu periode adalah

$$E_w = PE + KE = \frac{1}{2} wpga^2 \lambda$$

[10]

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

$$\text{Energy density} = E_{WD} = \frac{E_W}{T} = \frac{1}{2} p g a^2$$

$$\text{Power} = P_W = \frac{E_W}{T}$$

$$\text{Power Density} = P_{WD} = \frac{P_W}{\lambda w} = \frac{1}{2T} w p g a^2$$

Sekarang dipertimbangkan kedalaman air, sehingga persamaanya menjadi :

$$\omega^2 = k.g = \left(\frac{2\pi}{\lambda}g\right) \lambda = \frac{g}{2\pi} T^2 = 1.56T^2$$

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

$$E_W = 0.78 w p g a^2 T^2$$

$$P_W = \frac{1}{8} w p g h^2 T$$

[10]

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

$$E_W = 0.195 w p g h^2 T^2$$

$$E_{WD} = \frac{1}{2} p g a^2$$

$$P_W = 0.195 w p g h^2 T$$

$$P_{WD} = \frac{1}{8T} p g h^2$$

[10]

Dengan :

$$\text{KE} = \text{Energi kinetik (J)}$$

$$P = \text{Densitas air (kg/m}^3\text{)}$$

- 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)

2.4.2 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 $1,030(kg/m^3)$ dan $9,81 m/sec^2$. 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 di atas. Berikut penampang *OWC* tipe *fixed* pada (gambar 2.25).



Gambar 2. 25 Penampang *OWC* tipe fixed. [10]

Keterangan Gambar :

1. *Front Wall*
2. *Sea water entrance*
3. Kolom udara
4. Orifice & Turbin.

Untuk memeriksa efisiensi sistem *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 sistem *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 di atas didefinisikan oleh rumus bernitas berikut :

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

Dengan :

P_U = Daya pada OWC (Watt)

P_2 = Tekanan udara pada Orifice (Pa)

P = Denisatas Air (kg/m³)

v_1 = Kecepatan udara pada kolom OWC (m/sec)

A_1 = Area kolom OWC (m²)

[10]

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

Menghitung panjang gelombang.

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

1. Menghitung frejuensi di dalam kolom

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

2. Menghitung kecepatan sudut dari gelombang

$$\omega = 2\pi f$$

3. Menghitung kecepatan aliran udara sekitar kolom

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

4. Menghitung aliran udara *orifice*

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

5. Menghitung tekanan pada *orifice*

- a. Menghitung tekanan pada *orifice*

$$Q_1 = v_1 A_1$$

$$Q_1 = v_2 A_2$$

- b. Menghitung potensial kecepatan H²

$$\varphi_1 = v_1 \eta_1 = -\frac{\omega H^2}{2} \sin(\omega t) \cos(\omega t)$$

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

Tekanan pada orifice

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

[10]

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_1 = 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 (m^3/sec)

Q_2 = debit udara pada orifice (m^3/sec)

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

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

2.4.3 Perhitungan Efisiensi OWC

Setelah mengetahui daya gelombang dan daya keluaran dari OWC maka efisiensi OWC dapat dihitung dengan perbandingan dari daya gelombang yang masuk ke dalam kolom dengan daya yang keluar dari OWC.

$$\eta_{OWC} = \frac{P_g}{P_w} \times 100\% \quad [1]$$

2.4.4 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 kolektor, efisiensi turbin dan efisiensi generator.

$$\eta_{PLTGL} = \eta_{OWC} \times \eta_{generator} \times \eta_{turbin} \quad [1]$$

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

$$P_g = P_w \times \eta_{PLTGL} \quad [1]$$

Dimana:

P_g = daya generator (watt)

P_w = daya yang dihasilkan ombak (watt)

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. Pemilihan tipe pembangkit listrik tenaga gelombang laut.
6. Analisa dan perhitungan daya pada sistem pembangkit yang dipilih.
7. Perhitungan Daya Listrik rata – rata yang dapat dihasilkan sistem pembangkit yang dipilih.
8. Kesimpulan dan Saran.

3.1.1 Perumusan Masalah

Pada tahap ini dilakukan penentuan permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir Terapan ini yaitu studi perencanaan pembangkit listrik tenaga gelombang laut. Hal ini dilakukan agar dalam penyelesaian Tugas Akhir Terapan ini lebih fokus 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 Terapan. Terutama melakukan tinjauan pustaka tentang *OWC* baik bentuk, dimens, 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 Klayar Pacitan.

3.1.4 Pengumpulan Data

Pada tahapan ini dilakukan pencarian data dengan melakukan pengumpulan data diperlukan dalam pengerjaan Tugas Akhir Terapan ini. Data diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Data yang diperoleh adalah data angin, gelombang, batimetri dan peta topografi.

3.1.5 Pemilihan tipe pembangkit listrik tenaga gelombang laut.

Pada tahap ini dilakukan pemilihan tipe pembangkit listrik tenaga gelombang laut. Dari pertimbangan yang telah dijelaskan di Bab 2 maka terpilihlah metode *Oscillating Water Column*. Kemudian melakukan 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

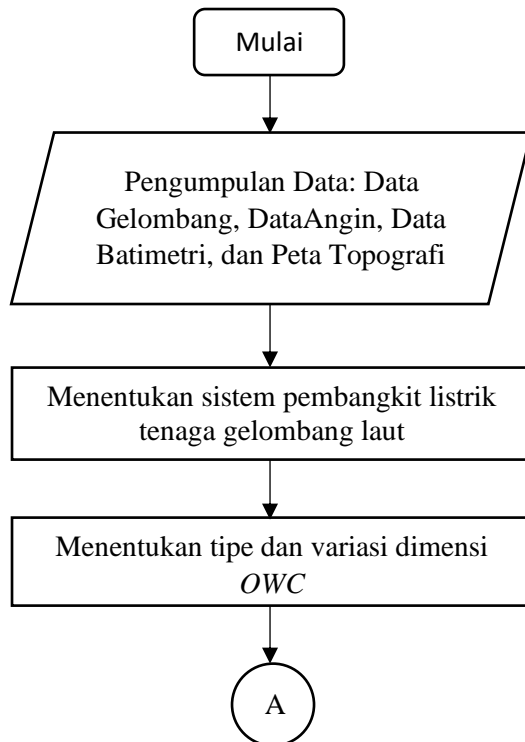
Pada tahap ini dilakukan perhitungan daya yang dihasilkan OWC dengan variasi dimensi yang sudah ditentukan. Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah tinggi gelombang, periode gelombang dan lebar kolom.

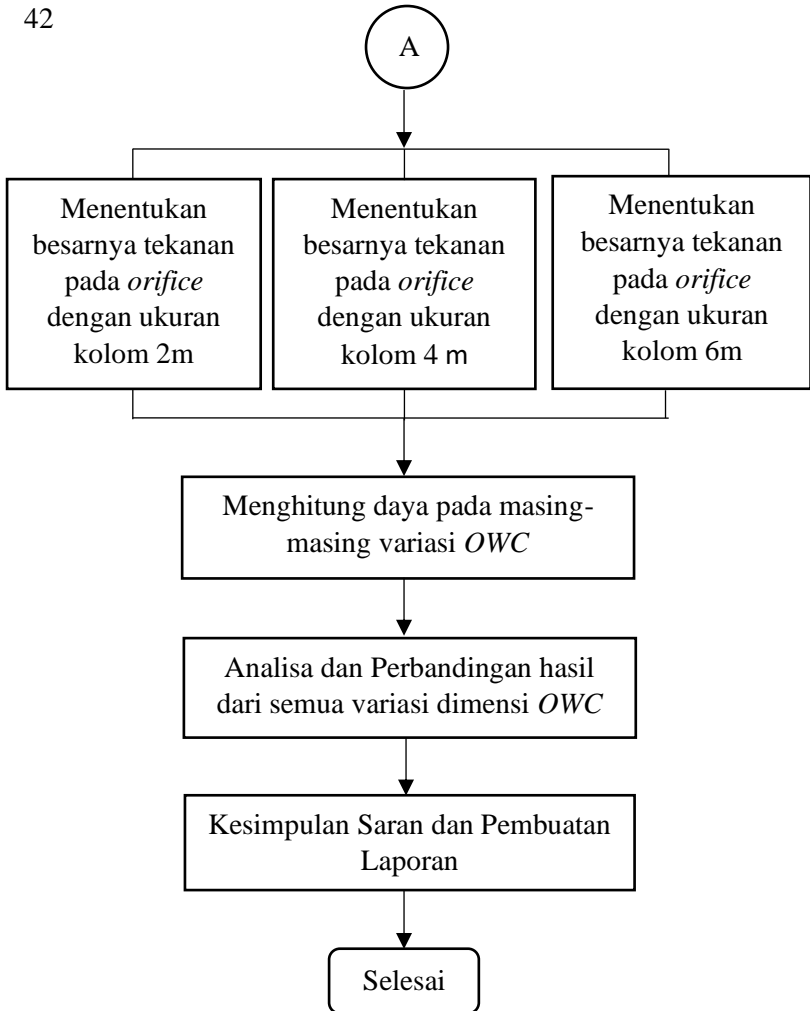
3.1.7 Kesimpulan dan Saran

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

3.2. Diagram Alir

Secara skematis, Tugas Akhir Terapan ini dilakukan dalam tahapan- tahapan pada gambar 2. 26:





Gambar 2. 26 Flowchart.

BAB IV ANALISA DATA

4.1 Data Teknis

Data teknis yang diperlukan antar lain peta batimetri, data angin, dan data pasang surut.

4.1.2 Analisa Peta Batimetri

Peta batimetri diperuntukan untuk mengetahui kondisi kedalaman laut dan kondisi gelombang di sekitar lokasi yaitu Pantai Klayar. Pantai Klayar sendiri terletak di Pacitan, Jawa Timur dan berbatasan dengan Wonogiri, Jawa Tengah. Tepatnya berada di Desa Sendang Kecamatan Donorojo, Kabupaten Pacitan. Data Peta Batimetri diambil dari BATNAS (Batimetri Nasional) yang berbentuk *tif.file*. Kemudian dari data tersebut diolah menggunakan aplikasi *Global Mapper* dan *Surfer*. Adapun langkah – langkah untuk melakukan plotting peta batimetri yang direncanakan menggunakan program surfer adalah sebagai berikut :

Menentukan titik koordinat dari Peta Batimetri dari proram *Global Mapper* kemudian didapat titik koordinat (x,y,z) dan kemudian dipindah di *Microsoft Excel* dengan tabel. 4.1.

Tabel 4. 1 Kordinat Peta Batimetri.

Titik	X	Y	Z
1	493281.100	9090374.502	0
2	493632.468	9090326.937	0
3	494221.622	9090381.089	0
4	494783.376	9090264.793	0
5	494783.376	9090183.553	-1

Lanjutan Tabel 4. 1

6	493281.100	9090355.737	-1
7	493622.674	9090303.630	-1
8	494206.448	9090343.385	-1
9	494783.376	9090224.173	-1
10	493281.100	9090337.226	-2
11	493683.193	9090277.474	-2
12	494188.232	9090306.423	-2
13	493281.100	9090317.855	-3
14	493509.129	9090268.540	-3
15	494246.887	9090264.672	-3
16	494783.376	9090142.933	-3
17	493281.100	9090299.924	-4
18	493592.755	9090248.785	-4
19	494236.668	9090237.367	-4
20	494783.376	9090102.313	-4
21	493281.100	9090281.445	-5
22	493583.749	9090233.769	-5
23	494226.449	9090210.063	-5
24	494628.041	9090113.666	-5
25	494783.376	9090025.490	-5
26	493281.100	9090264.435	-6
27	493475.762	9090225.833	-6
28	494300.700	9090166.957	-6
29	494615.289	9090072.724	-6
30	494783.376	9089939.296	-6
31	493281.100	9090249.293	-7
32	493470.200	9090211.380	-7
33	494114.837	9090171.667	-7

Lanjutan Tabel 4. 1

34	494366.726	9090118.680	-7
35	494538.467	9090051.138	-7
36	494783.376	9089865.298	-7
37	493281.100	9090234.150	-8
38	493464.638	9090196.928	-8
39	494100.131	9090146.854	-8
40	494323.838	9090095.651	-8
41	494504.392	9090009.112	-8
42	494783.376	9089796.907	-8
43	493281.100	9090219.844	-9
44	494215.750	9090093.285	-9
45	494473.399	9089968.377	-9
46	494783.376	9089728.832	-9
47	493281.100	9090204.485	-10
48	494171.467	9090065.893	-10
49	494539.851	9089868.128	-10
50	494783.376	9089672.268	-10
51	493281.100	9090189.505	-11
52	493942.050	9090094.070	-11
53	494138.720	9090034.077	-11
54	494507.642	9089834.775	-11
55	494783.376	9089615.703	-11
56	493281.100	9090174.217	-12
57	493825.363	9090087.788	-12
58	494119.329	9089997.608	-12
59	494485.165	9089798.264	-12
60	494783.376	9089559.139	-12
61	493281.100	9090158.752	-13

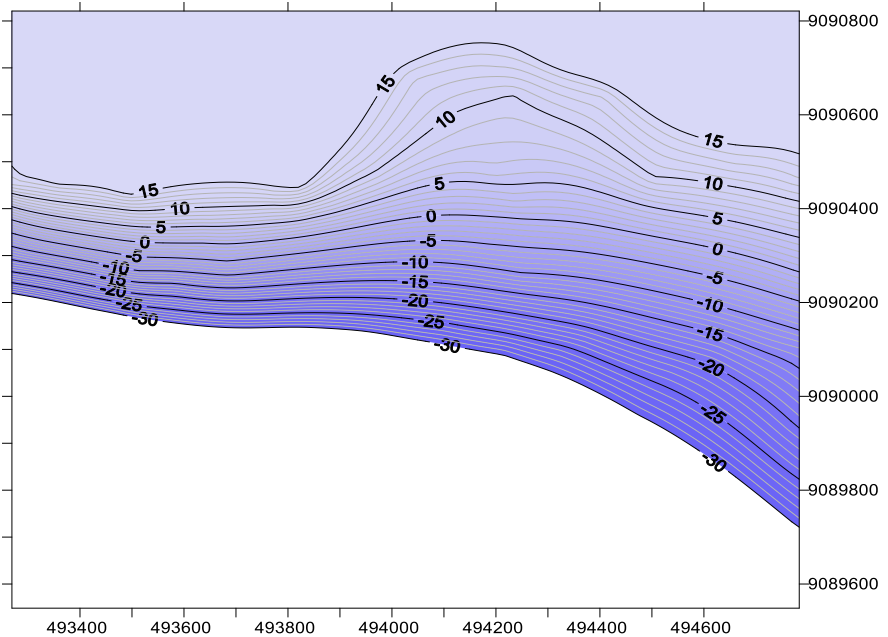
Lanjutan Tabel 4. 1

62	493778.560	9090065.286	-13
63	494097.425	9089962.605	-13
64	494452.684	9089770.830	-13
65	494736.062	9089548.537	-13
66	493281.100	9090036.393	-14
67	493762.422	9089936.405	-14
68	494060.429	9089936.405	-14
69	494420.203	9089743.397	-14
70	494677.835	9089548.537	-14
71	494560.694	9089548.537	-15
72	493281.100	9090127.269	-15
73	494023.551	9089910.452	-15
74	494282.343	9089783.611	-15
75	494619.608	9089548.537	-15
76	493281.100	9090111.847	-16
77	493988.048	9089887.379	-16
78	494250.947	9089758.604	-16
79	493281.100	9090096.278	-17
80	494030.414	9089830.124	-17
81	494501.245	9089548.537	-17
82	493281.100	9090074.384	-18
83	493939.560	9089834.224	-18
84	494441.795	9089548.537	-18
85	493281.100	9090047.309	-19
86	493924.043	9089804.931	-19
87	494381.797	9089548.537	-19
88	493281.100	9090020.240	-20
89	493904.233	9089777.994	-20

Lanjutan Tabel 4. 1

90	494320.896	9089548.537	-20
91	493281.100	9089993.192	-21
92	493874.135	9089756.706	-21
93	494259.995	9089548.537	-21
94	493281.100	9089966.131	-22
95	493844.036	9089735.417	-22
96	494198.735	9089548.537	-22
97	493281.100	9089939.098	-23
98	493815.309	9089715.485	-23
99	494198.735	9089548.537	-23
100	493281.100	9089911.698	-24
101	494074.272	9089548.537	-24
102	493281.100	9089884.983	-25
103	494011.904	9089548.537	-25
104	493281.100	9089858.313	-26
105	493949.076	9089548.537	-26
106	493281.100	9089831.635	-27
107	493823.643	9089548.537	-27
108	493281.100	9089804.948	-28
109	493823.643	9089548.537	-28
110	493281.100	9089778.256	-29
111	493761.853	9089548.537	-29
112	493281.100	9089751.546	-30
113	493700.062	9089548.537	-30

Dari data tersebut kemudian diinput kedalam aplikasi *Surfer* dan diperoleh peta batimetri pada gambar 4. 1.



Gambar 4. 1 Peta Batimetri Pantai Klayar Pacitan.

4.1.3 Analisa Data Angin

Data angin yang dipakai meliputi data arah dan kecepatan angin. Data angin di Pantai Klayar Pacitan diperoleh dari BMKG Stasiun Meteorologi Perak 1 Surabaya data yang diperoleh meliputi tahun 2012 sampai dengan tahun 2017. Untuk perhitungan digunakan data dari tahun 2012 – 2017 untuk memberikan data kecepatan dan arah angin dominan (intensitas). Kemudian kecepatan membuat penggolongan berdasarkan besar kecepatan menjadi enam kelas, yaitu 0.5 – 2.10, 2.10 – 3.60, 3.60 – 5.70, 5.70 – 8.80, 8.80 – 11.10 dan >11.10 knot seperti dilihat dalam tabel 4.2 dan 4.3.

Tabel 4. 2 Data angin jumlah kejadian.

NO	Arah Angin	Jumlah Kejadian						Total
		Kecepatan Angin						
		0.5 - 2.10	2.10 - 3.60	3.60 - 5.70	5.70 - 8.80	8.80 - 11.10	>11.10	
1	Utara (337.5 - 22.5)	57	45	90	34	11	0	237
2	Timur Laut (22.5 - 67.5)	145	106	226	44	0	0	521
3	Timur (67.5 - 112.5)	275	218	752	1068	422	25	2760
4	Tenggara (112.5 - 157.5)	1200	287	1311	4154	2678	268	9898
5	Selatan (157.5 - 202.5)	279	278	563	216	8	0	1344
6	Barat Daya (202.5 - 247.5)	192	271	605	189	0	0	1257
7	Barat (247.5 - 292.5)	391	267	825	1151	233	88	2955
8	Barat Laut (292.5 - 337.5)	162	123	275	335	54	22	971
	Sub Total	2701	1595	4647	7191	3406	403	19943
	Calms							30141
	Missing/In complete							379
	Total							50463

Tabel 4. 3 Intensitas angin dan presentase kejadian.

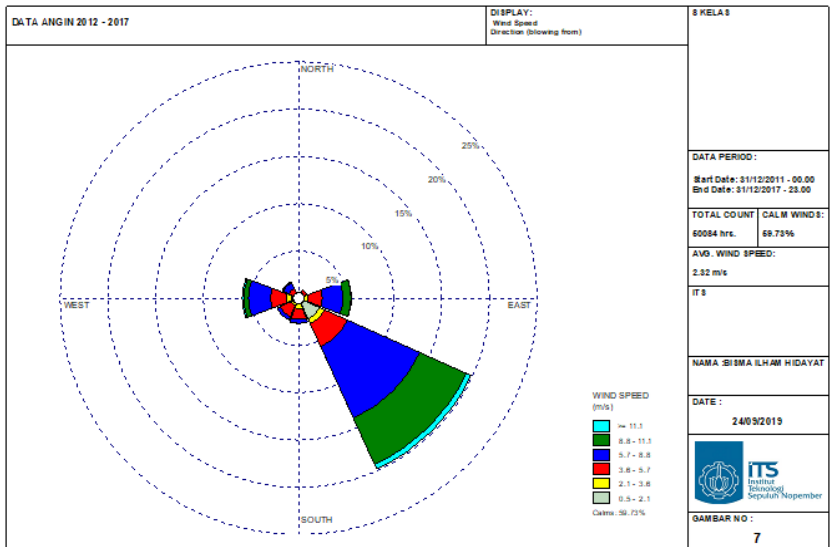
NO	Arah Angin	Prosentase Kejadian						Total (%)
		Kecepatan Angin						
		0.5 - 2.10	2.10 - 3.60	3.60 - 5.70	5.70 - 8.80	8.80 - 11.10	>11.10	
1	Utara (337.5 - 22.5)	0.11381	0.08985	0.17907	0.06789	0.02196	0	0.47258
2	Timur Laut (22.5 - 67.5)	0.28951	0.21164	0.45124	0.08785	0	0	1.04024
3	Timur (67.5 - 112.5)	0.54908	0.43527	1.50148	2.13242	0.84258	0.04992	5.51075
4	Tenggara (112.5 - 157.5)	2.39597	0.57304	2.6176	8.29407	5.34702	0.5351	19.7628
5	Selatan (157.5 - 202.5)	0.55706	0.55507	1.12411	0.43128	0.01597	0	2.68349
6	Barat Daya (202.5 - 247.5)	0.38336	0.54109	1.20797	0.37737	0	0	2.50979
7	Barat (247.5 - 292.5)	0.78069	0.5331	1.64723	2.29814	0.46522	0.1757	5.90008
8	Barat Laut (292.5 - 337.5)	0.32346	0.24559	0.54908	0.66888	0.10782	0.04393	1.93876
	Sub Total	5.39294	3.18465	9.27778	14.3579	6.80057	0.7986	39.81244
	Calms							59.7289
	Missing/In complete							0.45866
	Total							100

Dari tabel diatas 4.2 dan 4.3 ditunjukkan:

- Jumlah kejadian merupakan jumlah kumulatif setiap arah angin berdasarkan setiap kelas *range* kelas.
- Jumlah merupakan jumlah kumulatif setiap golongan kecepatan angin dari setiap arah angin.

Penggolongan enam golongan kelas di atas digunakan untuk mengetahui arah angin dan durasi setiap arah angin.

Gambar *wind rose* (mawar angin) untuk masing – masing arah dan kecepatan dengan presentase yang sudah dihitung seperti yang ditampilkan pada gambar 4. 2.



Gambar 4. 2 *Wind rose* (mawar angin) 2012 – 2017.

Untuk perencanaan, dapat ditentukan arah angin berdasarkan presentase yang terbesar, yaitu arah angin Tenggara dengan range golongan kecepatan pada 5.70 – 8.80 knot sebesar 19.77 % dan 14.36 %.

4.1.4 Peramalan Gelombang

Dalam studi data gelombang diramalkan dengan menggunakan data angin. Hal ini, karena telah diperoleh tenaga angin dari analisa data angin. Hasil dari perhitungan data angin tenaga gelombang terbesar dari arah tenggara

sehingga dapat diperkirakan energi gelombang dari arah tenggara menuju Pantai Klayar, Kabupaten Pacitan.

Untuk memperkirakan tinggi gelombang dan periode gelombang di laut dalam, perlu mempertimbangkan kecepatan angin dari perhitungan di atas.

4.1.4.1. Analisis Gelombang di Laut Dalam

Dari Berdasarkan data angin yang dihimpun dengan kecepatan angin yang terjadi pada elevasi = 10 m, maka dilakukan perhitungan sebagai berikut ;

1. Perhitungan Konversi Angin (U_z)

Berdasarkan dari hasil perhitungan diperoleh kecepatan angin, U (knot) pada *range golongan* 0.5 – 2.10, 2.10 – 3.60, 3.60 – 5.70, 5.70 – 8.80, 8.80 – 11.10 dan >11.10 knot. Maka dikonversi ke dalam nilai U_z (m/s) dengan rumus :

$$U_z \text{ (m/s)} = \frac{(U_{min}+U_{max})}{2} \text{ [12]}$$

2. Perhitungan Kecepatan Angin di Elevasi 10 m ($U_{(10)}$)

Kecepatan angin yang terjadi diukur pada elevasi 10 m dari muka tanah, yang telah sesuai dengan kondisi tegangan konstan. Dimana untuk z lebih kecil dari 20 m adalah dengan rumus

$$U_{(10)} = U_z \left(\frac{10}{z} \right)^{1/7} \text{ [12]}$$

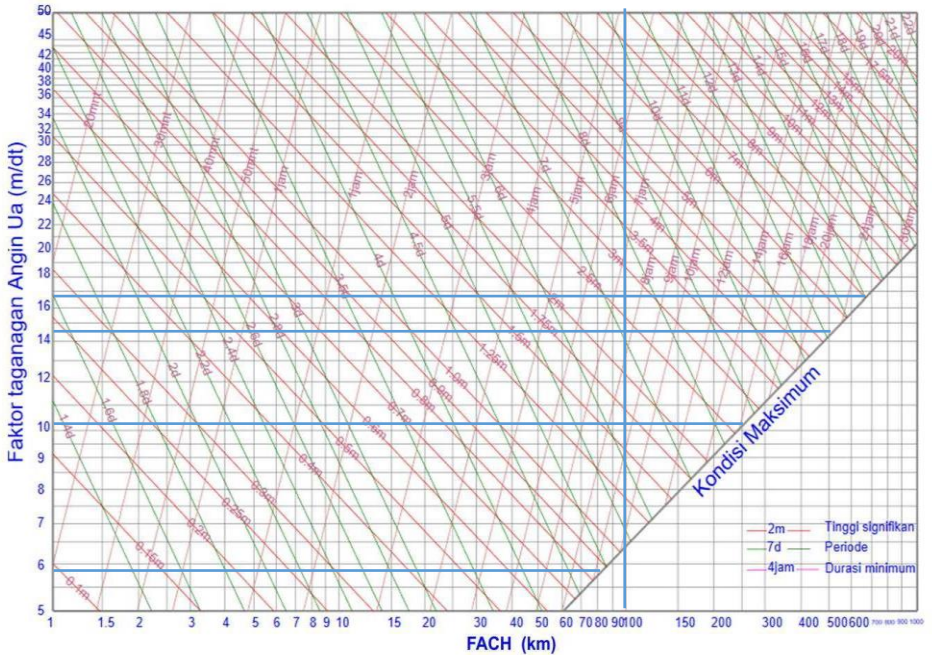
3. Perhitungan Faktor Tegangan Angin (U_A)

Diperlukan parameter faktor tegangan angin U_A dengan rumus :

$$U_A = 0.71 (U_{(10)})^{1.23} \text{ [12]}$$

Dari ketiga rumus di atas maka digunakan untuk menentukan panjang *fetch* (F). Karena Pantai Klayar berada di pantai selatan maka berada di kondisi maksimum yaitu *fetch* (F) berada di kondisi maksimum. Nilai T_o dan H_o diperoleh

dari grafik peramalan gelombang pada gambar 4. 3 setelah sebelumnya mendapatkan ketiga nilai faktor di atas.



Gambar 4. 3 Grafik peramalan gelombang. [12]

Dilihat dari grafik diatas yang sudah di *plotting* dengan ketiga faktor angin yang diperlukan dan juga dari masing – masing golongan kecepatan angin maka diperoleh data pada tabel 4. 4:

Tabel 4. 4 Hasil Plotting pada Grafik *Fetch*.

Parameter	Satuan	Analisa Gelombang di laut dalam					
Uz	m/s	1.3	2.85	4.65	7.25	9.95	11
U10	m/s	1.544	3.385	5.522	8.611	11.817	13.064
Ua	m/s	1.211	3.181	5.809	10.031	14.807	16.751

Lanjutan Tabel 4. 4

H0	m	-	-	0.8	2.5	5	7
T0	dt	-	-	5.4	8.2	12.3	14

4.1.4.2. Analisa Perambatan Gelombang

Dalam analisa ini dapat mengetahui nilai tinggi gelombang dari laut dalam hingga menuju pantai. Dari penjalaran tinggi gelombang tersebut dipengaruhi oleh proses soaling dan refraksi gelombang di sepanjang Pantai Klayar ini juga terpengaruh dari arah tenaga angin dari arah Tenggara yang memiliki presentase lebih besar dari yang lain.

Sehingga berdasarkan tabel 4. 4 digunakan data $H_0 = 2.5\text{m}$ dan $T_0 = 8.2\text{ s}$ dikarenakan pada *range* golongan 5.70 – 8.80 knot dengan nilai $U_z = 7.25\text{ m/s}$ mempunyai intensitas yang lebih dominan dari lima golongan yang lain.

Maka pada contoh perhitungan pada titik 5 = (dengan kordinat x, y = 495783.376; 9090183.553) :

$$z = -1$$

$$d = 1\text{m}$$

$$\alpha_0^\circ = 45,06^\circ$$

$$H_0 = 2.5\text{ m}$$

$$T_0 = 8,2\text{ s}$$

- Panjang Gelombang di Laut Dalam [12]

$$\begin{aligned} L_0 &= 1.56 \times T_0^2 \\ &= 1,56 \times 8,2^2 \\ &= 105,0357\text{ m} \end{aligned}$$

- Kecepatan di Laut Dalam [12]

$$C_o = \frac{L_o}{T_o} = \frac{105,0357}{8,2} = 12.8092 \text{ m/s}$$

- Panjang Gelombang [12]

$$\begin{aligned} L &= \frac{g \cdot T_o^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi}{d/L'} \\ &= \frac{9,81 \times 8,2^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi}{1/25,427} = 25,427 \end{aligned}$$

Berasal dari trial and error.

- Sin α Gelombang [12]

$$\begin{aligned} \text{Sin } \alpha &= \frac{c}{C_o} \sin \alpha_o = \frac{3,10}{12,8092} \sin (0,7864) \\ &= 0,17 \end{aligned}$$

- Koefisien Refraksi [12]

$$K_r = \sqrt{\left(\cos \frac{\alpha}{\alpha_o}\right)} = \sqrt{\left(\cos \frac{9,87}{0,17}\right)} = 0,85$$

- Angka Gelombang [12]

$$k = \frac{2\pi}{L} = \frac{2\pi}{25,427} = 0,25$$

- Suku Gelombang [12]

$$n = \frac{0,5 \times (1+2k)}{\sinh 2k} = \frac{0,5 \times (1+2 \times 0,247)}{\sinh 2 \times 0,247} = 0,99$$

- Koefisien pendangkalan [12]

$$K_s = \sqrt{\left(\frac{1/2 L_o}{n \times L}\right)} = \sqrt{\left(\frac{1/2 \times 105,0357}{0,99 \times 25,427}\right)} = 1,44$$

- Tinggi Gelombang [12]

$$H = K_r K_s H_o = 0,85 \times 1,44 \times 2,5 = 3,05$$

- Pendangkalan/ Shoaling [12]

$$\left(\frac{H}{H_0}\right)^2 = \left(\frac{3,05}{2,5}\right)^2 = 1,49.$$

Demikian contoh hasil perhitungan di titik 5 dan diteruskan dengan memakai cara di atas untuk titik kordinat selanjutnya dan hasil perhitungan lainnya bisa dilihat pada tabel 4. 5.

Tabel 4. 5 Hasil perhitungan perambatan gelombang.

Titik	Koordinat			d(m)	d/Lo (m)	ao (derajat)	L	C	k=2*pi()*d/L	n	Soaling			Refraksi		H	ks	H/d	Ket	
	x	y	z								C/Co	(H/ho)	(H/ho)2	Sin (α)	α					Kr
1	493281.100	9090374.502	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Tidak	
2	493632.468	9090326.937	0	0	0	44.91	0	0	0	0	0	0	0	0	0.84	0	0	0	Tidak	
3	494221.622	9090381.089	0	0	0	45.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0.84	0	0	0	Tidak	
4	494783.376	9090264.793	0	0	0	45.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0.84	0	0	0	Tidak	
5	495783.376	9090183.553	-1	1	0.00952	45.06	25.427	3.10	0.25	0.99	0.24	1.22	1.49	0.17	9.88	0.85	3.05	1.44	3.05	pecah
6	493281.100	9090355.737	-1	1	0.00952	45.04	25.427	3.10	0.25	0.99	0.24	1.22	1.49	0.17	9.88	0.85	3.05	1.44	3.05	pecah
7	493622.674	9090303.630	-1	1	0.00952	45.09	25.427	3.10	0.25	0.99	0.24	1.22	1.49	0.17	9.89	0.85	3.05	1.44	3.05	pecah
8	494206.448	9090343.385	-1	1	0.00952	45.08	25.427	3.10	0.25	0.99	0.24	1.22	1.49	0.17	9.88	0.85	3.05	1.44	3.05	pecah
9	494783.376	9090224.173	-1	1	0.00952	44.91	25.427	3.10	0.25	0.99	0.24	1.22	1.49	0.17	9.85	0.85	3.05	1.44	3.05	pecah
10	493281.100	9090337.226	-2	2	0.01904	45.08	35.596	4.34	0.35	0.99	0.34	1.04	1.08	0.24	13.90	0.85	2.60	1.22	1.30	pecah
11	493683.193	9090277.474	-2	2	0.01904	45.10	35.596	4.34	0.35	0.99	0.34	1.04	1.08	0.24	13.91	0.85	2.60	1.22	1.30	pecah
12	494188.232	9090306.423	-2	2	0.01904	45.22	35.596	4.34	0.35	0.99	0.34	1.04	1.08	0.24	13.94	0.85	2.60	1.22	1.30	pecah
13	493281.100	9090317.855	-3	3	0.02856	44.87	43.151	5.26	0.44	0.98	0.41	0.96	0.92	0.29	16.87	0.86	2.39	1.11	0.80	pecah
14	493509.129	9090237.367	-3	3	0.02856	45.09	43.151	5.26	0.44	0.98	0.41	0.96	0.91	0.29	16.94	0.86	2.39	1.11	0.80	pecah
15	494246.887	9090264.672	-3	3	0.02856	45.07	43.151	5.26	0.44	0.98	0.41	0.96	0.91	0.29	16.93	0.86	2.39	1.11	0.80	pecah
16	494783.376	9090142.933	-3	3	0.02856	45.09	43.151	5.26	0.44	0.98	0.41	0.96	0.91	0.29	16.94	0.86	2.39	1.11	0.80	pecah
17	493281.100	9090299.924	-4	4	0.03808	45.08	49.312	6.01	0.51	0.98	0.47	0.90	0.81	0.33	19.44	0.87	2.26	1.04	0.56	Tidak
18	493592.755	9090248.785	-4	4	0.03808	45.09	49.312	6.01	0.51	0.98	0.47	0.90	0.81	0.33	19.45	0.87	2.26	1.04	0.56	Tidak
19	494236.668	9090237.367	-4	4	0.03808	45.08	49.312	6.01	0.51	0.98	0.47	0.90	0.81	0.33	19.44	0.87	2.26	1.04	0.56	Tidak
20	494783.376	9090102.313	-4	4	0.03808	45.09	49.312	6.01	0.51	0.98	0.47	0.90	0.81	0.33	19.45	0.87	2.26	1.04	0.56	Tidak
21	493281.100	9090281.445	-5	5	0.0476	45.07	54.557	6.65	0.58	0.97	0.52	0.87	0.75	0.37	21.61	0.87	2.17	0.99	0.43	Tidak
22	493583.749	9090233.769	-5	5	0.0476	45.09	54.557	6.65	0.58	0.97	0.52	0.87	0.75	0.37	21.62	0.87	2.17	0.99	0.43	Tidak
23	494226.449	9090210.063	-5	5	0.0476	45.09	54.557	6.65	0.58	0.97	0.52	0.87	0.75	0.37	21.61	0.87	2.17	0.99	0.43	Tidak
24	494628.041	9090113.666	-5	5	0.0476	45.16	54.557	6.65	0.58	0.97	0.52	0.87	0.75	0.37	21.64	0.87	2.17	0.99	0.43	Tidak
25	494783.376	9090025.490	-5	5	0.0476	45.07	54.557	6.65	0.58	0.97	0.52	0.87	0.75	0.37	21.60	0.87	2.17	0.99	0.43	Tidak
26	493281.100	9090264.435	-6	6	0.05712	45.07	59.134	7.21	0.64	0.97	0.56	0.84	0.71	0.40	23.52	0.88	2.10	0.96	0.35	Tidak
27	493475.762	9090225.833	-6	6	0.05712	45.09	59.134	7.21	0.64	0.97	0.56	0.84	0.71	0.40	23.53	0.88	2.10	0.96	0.35	Tidak
28	494300.700	9090166.957	-6	6	0.05712	45.08	59.134	7.21	0.64	0.97	0.56	0.84	0.71	0.40	23.53	0.88	2.10	0.96	0.35	Tidak
29	494615.289	9090072.724	-6	6	0.05712	45.19	59.134	7.21	0.64	0.97	0.56	0.84	0.71	0.40	23.57	0.88	2.10	0.96	0.35	Tidak
30	494783.376	9089939.296	-6	6	0.05712	45.07	59.134	7.21	0.64	0.97	0.56	0.84	0.71	0.40	23.52	0.88	2.10	0.96	0.35	Tidak
31	493281.100	9090249.293	-7	7	0.06664	45.07	63.191	7.71	0.70	0.96	0.60	0.82	0.67	0.43	25.24	0.88	2.05	0.93	0.29	Tidak
32	493470.200	9090211.380	-7	7	0.06664	45.11	63.191	7.71	0.70	0.96	0.60	0.82	0.67	0.43	25.26	0.88	2.05	0.93	0.29	Tidak
33	494114.837	9090171.667	-7	7	0.06664	45.10	63.191	7.71	0.70	0.96	0.60	0.82	0.67	0.43	25.26	0.88	2.05	0.93	0.29	Tidak
34	494366.726	9090118.680	-7	7	0.06664	45.21	63.191	7.71	0.70	0.96	0.60	0.82	0.67	0.43	25.31	0.88	2.05	0.93	0.29	Tidak
35	494538.467	9090051.138	-7	7	0.06664	45.22	63.191	7.71	0.70	0.96	0.60	0.82	0.67	0.43	25.31	0.88	2.05	0.93	0.29	Tidak
36	494783.376	9089865.298	-7	7	0.06664	45.07	63.191	7.71	0.70	0.96	0.60	0.82	0.67	0.43	25.25	0.88	2.05	0.93	0.29	Tidak
37	493281.100	9090234.150	-8	8	0.07616	45.07	66.826	8.15	0.75	0.96	0.64	0.81	0.65	0.45	26.81	0.89	2.02	0.91	0.25	Tidak
38	493464.638	9090196.928	-8	8	0.07616	45.11	66.826	8.15	0.75	0.96	0.64	0.81	0.65	0.45	26.83	0.89	2.02	0.91	0.25	Tidak
39	494100.131	9090146.854	-8	8	0.07616	45.10	66.826	8.15	0.75	0.96	0.64	0.81	0.65	0.45	26.83	0.89	2.02	0.91	0.25	Tidak
40	494323.838	9090095.651	-8	8	0.07616	45.22	66.826	8.15	0.75	0.96	0.64	0.81	0.65	0.45	26.89	0.89	2.01	0.91	0.25	Tidak
41	494504.392	9090009.112	-8	8	0.07616	45.20	66.826	8.15	0.75	0.96	0.64	0.81	0.65	0.45	26.87	0.89	2.01	0.91	0.25	Tidak
42	494783.376	9089796.907	-8	8	0.07616	45.07	66.826	8.15	0.75	0.96	0.64	0.81	0.65	0.45	26.81	0.89	2.02	0.91	0.25	Tidak
43	493281.100	9090219.844	-9	9	0.08569	45.16	70.109	8.55	0.81	0.95	0.67	0.79	0.63	0.47	28.29	0.89	1.99	0.89	0.22	Tidak
44	494215.750	9090093.285	-9	9	0.08569	45.08	70.109	8.55	0.81	0.95	0.67	0.80	0.63	0.47	28.24	0.90	1.99	0.89	0.22	Tidak
45	494473.399	9089968.377	-9	9	0.08569	45.16	70.109	8.55	0.81	0.95	0.67	0.79	0.63	0.47	28.29	0.89	1.99	0.89	0.22	Tidak
46	494783.376	9089728.832	-9	9	0.08569	45.08	70.109	8.55	0.81	0.95	0.67	0.80	0.63	0.47	28.24	0.90	1.99	0.89	0.22	Tidak
47	493281.100	9090204.485	-10	10	0.09521	45.15	73.09	8.91	0.86	0.94	0.70	0.79	0.62	0.49	29.60	0.90	1.97	0.87	0.20	Tidak
48	494171.467	9090065.893	-10	10	0.09521	45.07	73.09	8.91	0.86	0.94	0.70	0.79	0.62	0.49	29.56	0.90	1.97	0.87	0.20	Tidak
49	494539.851	9089868.128	-10	10	0.09521	45.15	73.09	8.91	0.86	0.94	0.70	0.79	0.62	0.49	29.60	0.90	1.97	0.87	0.20	Tidak
50	494783.376	9089672.268	-10	10	0.09521	45.07	73.09	8.91	0.86	0.94	0.70	0.79	0.62	0.49	29.56	0.90	1.97	0.87	0.20	Tidak
51	493281.100	9090189.505	-11	11	0.10473	45.11	75.808	9.24	0.91	0.94	0.72	0.78	0.61	0.51	30.80	0.91	1.95	0.86	0.18	Tidak
52	493942.050	9090094.070	-11	11	0.10473	45.10	75.808	9.24	0.91	0.94	0.72	0.78	0.61	0.51	30.79	0.91	1.95	0.86	0.18	Tidak
53	494138.720	9090034.077	-11	11	0.10473	45.16	75.808	9.24	0.91	0.94	0.72	0.78	0.61	0.51	30.83	0.91	1.95	0.86	0.18	Tidak
54	494507.642	9089834.775	-11	11	0.10473	45.14	75.808	9.24	0.91	0.94	0.72	0.78	0.61	0.51	30.82	0.91	1.95	0.86	0.18	Tidak
55	494783.376	9089615.703	-11	11	0.10473	45.07	75.808	9.24	0.91	0.94	0.72	0.78	0.61	0.51	30.78	0.91	1.95	0.86	0.18	Tidak
56	493281.100	9090174.217	-12	12	0.11425	45.09	78.294	9.55	0.96	0.93	0.75	0.77	0.60	0.53	31.91	0.91	1.94	0.85	0.16	Tidak
57	493825.363	9090087.788	-12	12	0.11425	45.11	78.294	9.55	0.96	0.93	0.75	0.77	0.60	0.53	31.92	0.91	1.94	0.85	0.16	Tidak
58	494191.329	9089997.608	-12	12	0.11425	45.14	78.294	9.55	0.96	0.93	0.75	0.77	0.60	0.53	31.94	0.91	1.94	0.85	0.16	Tidak
59	494485.165	9089798.264	-12	12	0.11425	45.14	78.294	9.55	0.96	0.93	0.75	0.77	0.60	0.53	31.94	0.91	1.94	0.85	0.16	Tidak

4.1.5 Analisa Pasang Surut

Pasang surut adalah naik turunnya permukaan air laut yang disebabkan oleh gaya gravitasi bulan dan matahari. Ada tiga sumber gaya yang saling mempengaruhi terjadinya pasang surut air laut yaitu: matahari, bulan dan laut. Pada tabel 4. 6 adalah data pasang surut dan grafik pasang surut di Pantai Klayar Pacitan.

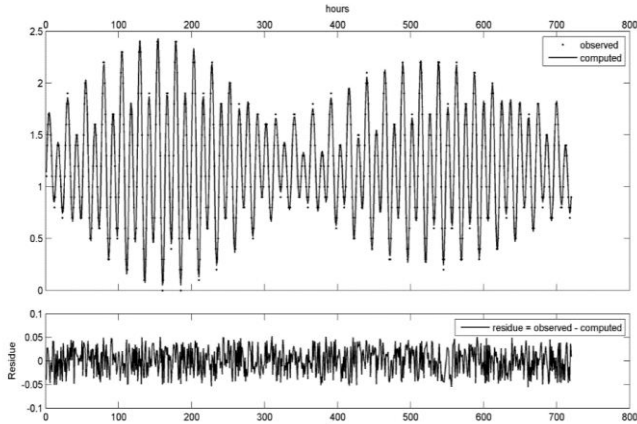
Tabel 4. 6 Data pasang surut di Pantai Klayar Pacitan.

J T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Tgl
1	1.1	1.4	1.6	1.7	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0	0.9	0.8	0.9	1.1	1.2	1.4	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	0.8	0.7	0.8	1
2	0.9	1.1	1.4	1.6	1.8	1.9	1.8	1.6	1.4	1.1	0.9	0.7	0.7	0.8	0.9	1.2	1.4	1.5	1.5	1.4	1.2	1.0	0.8	0.7	2
3	0.7	0.9	1.1	1.5	1.8	2.0	2.0	1.9	1.7	1.4	1.0	0.7	0.5	0.5	0.6	0.9	1.2	1.4	1.6	1.6	1.5	1.2	1.0	0.7	3
4	0.6	0.6	0.8	1.2	1.6	1.9	2.2	2.2	2.0	1.7	1.3	0.8	0.5	0.3	0.3	0.5	0.9	1.3	1.6	1.7	1.7	1.5	1.2	0.9	4
5	0.6	0.5	0.6	0.9	1.3	1.7	2.1	2.3	2.3	2.0	1.6	1.1	0.6	0.3	0.2	0.2	0.5	1.0	1.4	1.7	1.8	1.7	1.5	1.1	5
6	0.8	0.5	0.5	0.6	1.0	1.4	1.9	2.3	2.4	2.3	1.9	1.5	0.9	0.4	0.1	0.1	0.3	0.6	1.1	1.5	1.8	1.9	1.7	1.4	6
7	1.0	0.7	0.5	0.5	0.7	1.1	1.6	2.1	2.4	2.4	2.2	1.8	1.3	0.7	0.3	0.0	0.1	0.3	0.8	1.3	1.7	1.9	1.9	1.6	7
8	1.3	0.9	0.6	0.4	0.5	0.8	1.3	1.8	2.2	2.4	2.4	2.1	1.6	1.0	0.5	0.2	0.0	0.2	0.5	1.0	1.4	1.8	1.9	1.8	8
9	1.5	1.2	0.8	0.6	0.5	0.6	1.0	1.4	1.9	2.2	2.3	2.2	1.9	1.4	0.9	0.4	0.2	0.1	0.3	0.7	1.1	1.5	1.8	1.9	9
10	1.7	1.4	1.1	0.8	0.6	0.6	0.8	1.1	1.5	1.9	2.1	2.2	2.0	1.6	1.2	0.7	0.4	0.2	0.3	0.5	0.9	1.3	1.6	1.8	10
11	1.8	1.6	1.4	1.1	0.8	0.7	0.7	0.9	1.2	1.6	1.9	2.0	2.0	1.8	1.4	1.0	0.7	0.5	0.4	0.4	0.7	1.0	1.4	1.6	11
12	1.8	1.7	1.6	1.3	1.1	0.9	0.8	0.8	1.0	1.2	1.5	1.7	1.8	1.8	1.6	1.3	1.0	0.7	0.6	0.5	0.6	0.8	1.1	1.4	12
13	1.6	1.7	1.7	1.5	1.3	1.1	1.0	0.9	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.6	1.6	1.4	1.2	1.0	0.8	0.7	0.7	0.8	0.9	1.2	13
14	1.4	1.6	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	1.0	14
15	1.2	1.4	1.6	1.7	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0	0.9	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.9	15
16	1.0	1.2	1.4	1.6	1.7	1.8	1.7	1.6	1.4	1.1	0.9	0.8	0.8	0.8	1.0	1.1	1.2	1.3	1.3	1.3	1.2	1.0	0.9	0.9	16
17	0.9	1.0	1.2	1.5	1.7	1.8	1.9	1.8	1.6	1.3	1.1	0.8	0.7	0.6	0.7	0.9	1.1	1.3	1.4	1.4	1.3	1.2	1.0	0.9	17
18	0.8	0.9	1.0	1.3	1.6	1.8	1.9	1.9	1.8	1.6	1.2	0.9	0.7	0.5	0.5	0.7	0.9	1.1	1.4	1.5	1.5	1.4	1.2	1.0	18
19	0.8	0.8	0.9	1.1	1.4	1.7	2.0	2.1	2.0	1.8	1.5	1.1	0.7	0.5	0.4	0.5	0.7	1.0	1.3	1.5	1.5	1.5	1.3	1.1	19
20	0.9	0.8	0.8	0.9	1.2	1.6	1.9	2.1	2.1	2.0	1.7	1.3	0.9	0.5	0.3	0.3	0.5	0.8	1.1	1.4	1.6	1.6	1.5	1.2	20
21	1.0	0.8	0.7	0.8	1.0	1.4	1.7	2.0	2.2	2.1	1.9	1.5	1.1	0.7	0.4	0.3	0.4	0.6	1.0	1.3	1.6	1.7	1.6	1.4	21
22	1.1	0.8	0.7	0.7	0.8	1.1	1.5	1.9	2.2	2.2	2.1	1.7	1.3	0.8	0.5	0.3	0.3	0.5	0.8	1.2	1.5	1.7	1.7	1.5	22
23	1.3	1.0	0.7	0.6	0.7	0.9	1.3	1.7	2.0	2.2	2.2	1.9	1.5	1.0	0.6	0.3	0.2	0.3	0.6	1.0	1.4	1.7	1.8	1.7	23
24	1.4	1.1	0.8	0.6	0.6	0.8	1.1	1.5	1.8	2.1	2.2	2.0	1.7	1.3	0.8	0.5	0.3	0.3	0.5	0.8	1.2	1.6	1.8	1.8	24
25	1.6	1.3	1.0	0.8	0.6	0.7	0.9	1.2	1.6	1.9	2.1	2.1	1.8	1.5	1.1	0.7	0.4	0.3	0.4	0.7	1.0	1.4	1.7	1.8	25
26	1.8	1.5	1.2	1.0	0.7	0.7	0.7	1.0	1.3	1.6	1.9	2.0	1.9	1.6	1.3	0.9	0.6	0.4	0.4	0.5	0.8	1.2	1.5	1.8	26
27	1.8	1.7	1.5	1.2	0.9	0.8	0.7	0.8	1.0	1.3	1.6	1.8	1.8	1.7	1.5	1.1	0.8	0.6	0.5	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6	27
28	1.8	1.8	1.7	1.5	1.2	1.0	0.8	0.8	0.9	1.1	1.3	1.5	1.6	1.7	1.5	1.3	1.0	0.8	0.6	0.6	0.6	0.8	1.1	1.4	28
29	1.6	1.8	1.8	1.7	1.5	1.3	1.1	0.9	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.5	1.5	1.4	1.2	1.0	0.9	0.7	0.7	0.7	0.9	1.1	29
30	1.4	1.6	1.8	1.8	1.7	1.6	1.4	1.1	1.0	0.8	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.4	1.4	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	0.8	0.9	30

[2]

Didapatkan dari tabel 4. 6 beberapa elevasi muka air yang ada di Pantai Klayar Pacitan dan juga gambar grafik pasang

surut seperti gambar 4. 4. Grafik dan elevasi muka air diperoleh menggunakan bantuan aplikasi *matlab*. Pada gambar 4. 4 ditunjukkan grafik elevasi muka air di Pantai Klayar, Kabupaten Pacitan.



Gambar 4. 4 Grafik Pasang Surut di Pantai Klayar, Kab. Pacitan. [2]

Tabel 4. 7 Tabel nilai konstanta pasang surut.

Tabel nilai konstanta pasang surut Pantai Klayar Pacitan									MS
So	M2	S2	N2	K2	K1	O1	P1	M4	4
1.2	0.6	0.3	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
007	142	088	065	685	851	042	712	121	038

Dari tabel 4. 7 dapat diketahui tipe pasang surut di Pantai Klayar Pacitan. Untuk mengetahui tipe pasang surut menggunakan formula *Formzahl*:

$$F = \frac{(K1+O1)}{(M2+S2)} [12]$$

Maka :

$$F = \frac{(0,1851+0,1042)}{(0,6142+0,3088)}$$

$$F = 0,313.$$

Diketahui bahwa nilai F yang diperoleh sebesar 0.313 maka tipe pasang surut yang terjadi di Pantai Klayar Pacitan adalah pasang surut campuran tipe ganda lebih menonjol (Condong Ganda) $0,25 < F \leq 1,50$ Seperti pada tabel 4.8 berikut.

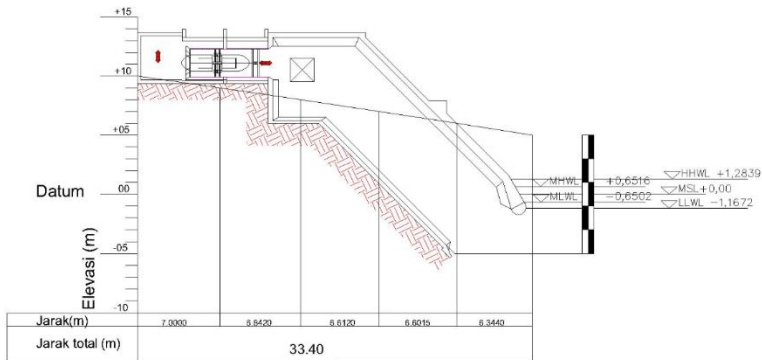
Tabel 4. 8 Tipe pasang surut menurut nilai *Formzahl*. [12]

Nilai <i>Formzahl</i>	Tipe Pasang Surut	Keterangan
$0,00 < F \leq 0,25$	Setengah Harian (Semidiurnal/ Ganda)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Dalam sehari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut. ✓ Bentuk gelombang simetris.
$0,25 < F \leq 1,50$	Campuran dengan tipe ganda lebih menonjol (Condong Ganda)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Dalam sehari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut. ✓ Bentuk gelombang pasang pertama tidak sama dengan gelombang pasang kedua (asimetris) dengan bentuk condong semi diurnal.
$1,50 < F \leq 3,00$	Campuran dengan tipe tunggal lebih menonjol (Condong Tunggal)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Dalam sehari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut. ✓ Bentuk gelombang pasang pertama tidak sama dengan gelombang pasang kedua (asimetris) dengan bentuk condong diurnal.
$F > 3,00$	Harian (Tunggal)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Dalam sehari terjadi sekali pasang dan sekali surut.

Maka diperoleh beberapa elevasi muka air yaitu :

1. HHWL = +1,2839
2. MHWL = +0,6516
3. MSL = +0,0000
4. MLWL = -0,6502
5. LLWL = -1,1672

Kemudian dari hasil pasang surut yang diperoleh ini dihubungkan dengan datum permukaan tanah dimana diasumsikan bahwa elevasi +0 di permukaan dianggap sama dengan MSL (*Mean Sea Level*) atau titik pengamatannya seperti pada gambar 4. 5.



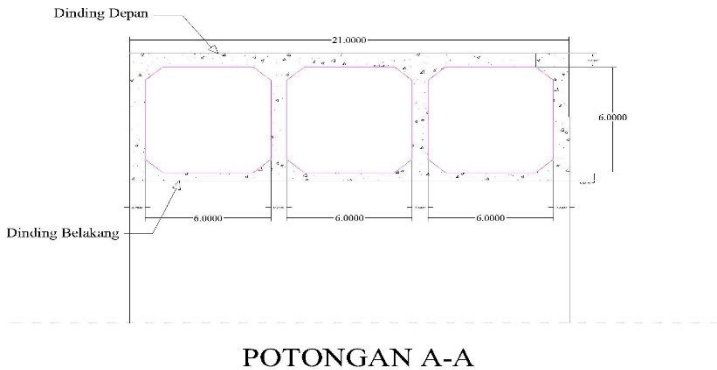
Gambar 4. 5 Konsep hubungan pasang surut dengan permukaan tanah.

4. 2 Perencanaan Model *OWC*

Untuk merencanakan permodelan diperlukan beberapa langkah. Tinggi gelombang telah didapatkan dari pembangkitan menggunakan data angin. Tinggi gelombang yang dibangkitkan berada disetiap elevasi. Kemudian dari nilai pasang surut yang ada juga sebagai bahan pertimbangan untuk perencanaan *OWC*.

Dimana data pasang surut muka air laut digunakan saat muka air pasang *OWC* ini tidak sampai terendam kolektornya dan saat surut muka airnya masih berada didalam kolom *OWC* sehingga pembangkit bisa selalu beroperasi untuk membangkitkan listrik. Dari data – data di atas direncanakan desain awal terlebih dahulu. Dengan mengikuti desain yang sudah pernah dibangun *Islay of Limpet Wave Power Plant*. Berdasarkan referensi bangunan yang pernah diinstall di *Islay*

of *Limpet Wave Wave Power Plant*, desain kolom yang digunakan memiliki 3 kolom dengan penampang seperti pada gambar 4. 6:



Gambar 4. 6 Penampang melintang kolom *OWC*.

Dari gambar diatas, untuk mendapatkan perbandingan desain yang efisien dari segi daya yang dihasilkan. Dan juga mempertimbangkan lahan yang tersedia di lokasi. Maka direncanakan kolom dengan variasi lebar tiap kolom dengan ukuran 2m, 4m dan 6m. Kemudian masing- masing variasi kolom dihitung daya yang bisa dihasilkan dari gelombang di Pantai Klayar Pacitan.

4. 3 Perhitungan Daya Gelombang

Daya yang dimaksud disini adalah daya gelombang *input* dikarenakan dihitung dari gelombang laut yang masuk pada kolom *OWC*. Dari data gelombang yang sudah didapatkan pada tabel 4. 5 maka dapat diperoleh daya yang bisa dihasilkan oleh gelombang yang masuk kedalam ketiga kolom *OWC* tersebut.

Langkah pertama yaitu menghitung energi gelombang laut yang masuk menggunakan persamaan berikut :

$$E_w = 0.195 w p g h^2 T^2 \text{ [10]}$$

Keterangan : w =lebar kolom (m)
 p = massa jenis air laut (kg/m^3)
 g = gaya gravitasi (m/s^2)
 h = tinggi gelombang (m)
 T = Periode gelombang (s)

Berikut contoh perhitungan pada salah satu elevasi pada variasi kolom $w= 2\text{m}$.

Diketahui:

Lebar kolom	$w= 2 \text{ m}$
Terletak pada titik kordinat	$x= 493509,129$
	$y= 90990268,540$
	$z= -3$
Kedalaman	$d= 3 \text{ m}$
Tinggi gelombang	$H= 2,39 \text{ m}$
Periode	$T_0= 8,2 \text{ s}$
Massa jenis air laut	$p= 1030 \text{ kg/m}^3$
Gaya gravitasi	$g= 9,81 \text{ m/s}^2$

$$\begin{aligned} E_w &= 0,195 w p g h^2 T^2 \text{ [10]} \\ &= 0,195 \times 2 \times 1030 \times 9,81 \times 2,39^2 \times 8,2^2 \\ &= 1.510.947 \text{ Joule.} \end{aligned}$$

Jadi setelah mendapatkan energi gelombang dari persamaan diatas pada lebar kolom 2m, 4m dan 6m. Maka daya gelombang pada kolom bisa diperoleh dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\text{Power} : P_w = \frac{E_w}{T} \text{ [10]}$$

Keterangan : P_w = Daya gelombang (kW)

E_w = Energi gelombang pada kolom (J)

T = Periode gelombang (s)

Berikut contoh perhitungan dengan data yang sama dengan sebelumnya. Energi kita menggunakan dari hasil perhitungan sebelumnya yaitu: 1.510.947 Joule.

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{E_w}{T} \\
 &= \frac{1.510.947 \text{ Joule}}{8.2 \text{ s}} \\
 &= 184,26 \text{ kW}.
 \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh daya gelombang pada lebar kolom 2m, 4m dan 6m secara keseluruhan pada tiap titik kordinat. Tabel 4. 9 menunjukkan hasil perhitungan daya yang bisa dihasilkan oleh gelombang yang masuk pada semua variasi kolom.

Tabel 4. 9 Daya gelombang di Pantai Klayar Pacitan.

No.	x	y	z	d	H (m)	To (s)	E_w (Joule)			P_w (Kilowatt)		
							w=2	w=4	w=6	w=2	w=4	w=6
1	495783.376	9090183.553	-1	1	3.05	8.2	2464881	4929761	7394642	300.60	601.19	901.79
2	493281.100	9090355.737	-1	1	3.05	8.2	2465636	4931271	7396907	300.69	601.37	902.06
3	493622.674	9090303.630	-1	1	3.05	8.2	2463510	4927020	7390530	300.43	600.86	901.28
4	494206.448	9090343.385	-1	1	3.05	8.2	2464152	4928304	7392455	300.51	601.01	901.52
5	494783.376	9090224.173	-1	1	3.05	8.2	2471009	4942019	7413028	301.34	602.69	904.03
6	493281.100	9090337.226	-2	2	2.60	8.2	1795564	3591127	5386691	218.97	437.94	656.91
7	493683.193	9090277.474	-2	2	2.60	8.2	1795081	3590163	5385244	218.91	437.82	656.74
8	494188.232	9090306.423	-2	2	2.60	8.2	1791441	3582882	5374322	218.47	436.94	655.41
9	493281.100	9090317.855	-3	3	2.39	8.2	1516088	3032175	4548263	184.89	369.78	554.67
10	493509.129	9090268.540	-3	3	2.39	8.2	1510759	3021518	4532277	184.24	368.48	552.72

Lanjutan Tabel 4. 9 Daya gelombang di Pantai Klayar Pacitan.

11	494246.887	9090264.672	-3	3	2.39	8.2	1511282	3022565	4533847	184.30	368.61	552.91
12	494783.376	9090142.933	-3	3	2.39	8.2	1510773	3021545	4532318	184.24	368.48	552.72
13	493281.100	9090299.924	-4	4	2.26	8.2	1348936	2697872	4046807	164.50	329.01	493.51
14	493592.755	9090248.785	-4	4	2.26	8.2	1348561	2697123	4045684	164.46	328.92	493.38
15	494236.668	9090237.367	-4	4	2.26	8.2	1348933	2697866	4046800	164.50	329.01	493.51
16	494783.376	9090102.313	-4	4	2.26	8.2	1348570	2697140	4045709	164.46	328.92	493.38
17	493281.100	9090281.445	-5	5	2.17	8.2	1243694	2487388	3731081	151.67	303.34	455.01
18	493583.749	9090233.769	-5	5	2.17	8.2	1243332	2486664	3729995	151.63	303.25	454.88
19	494226.449	9090210.063	-5	5	2.17	8.2	1243490	2486981	3730471	151.65	303.29	454.94
20	494628.041	9090113.666	-5	5	2.17	8.2	1242105	2484209	3726314	151.48	302.95	454.43
21	494783.376	9090025.490	-5	5	2.17	8.2	1243843	2487686	3731529	151.69	303.38	455.06
22	493281.100	9090264.435	-6	6	2.10	8.2	1170449	2340899	3511348	142.74	285.48	428.21
23	493475.762	9090225.833	-6	6	2.10	8.2	1170132	2340264	3510396	142.70	285.40	428.10
24	494300.700	9090166.957	-6	6	2.10	8.2	1170282	2340565	3510847	142.72	285.43	428.15
25	494615.289	9090072.724	-6	6	2.10	8.2	1168495	2336991	3505486	142.50	285.00	427.50
26	494783.376	9089939.296	-6	6	2.10	8.2	1170473	2340945	3511418	142.74	285.48	428.22
27	493281.100	9090249.293	-7	7	2.05	8.2	1117063	2234126	3351189	136.23	272.45	408.68
28	493470.200	9090211.380	-7	7	2.05	8.2	1116473	2232947	3349420	136.16	272.31	408.47
29	494114.837	9090171.667	-7	7	2.05	8.2	1116586	2233171	3349757	136.17	272.34	408.51
30	494366.726	9090118.680	-7	7	2.05	8.2	1114881	2229762	3344642	135.96	271.92	407.88
31	494538.467	9090051.138	-7	7	2.05	8.2	1114818	2229635	3344453	135.95	271.91	407.86
32	494783.376	9089865.298	-7	7	2.05	8.2	1117018	2234036	3351054	136.22	272.44	408.67
33	493281.100	9090234.150	-8	8	2.02	8.2	1077164	2154328	3231492	131.36	262.72	394.08
34	493464.638	9090196.928	-8	8	2.02	8.2	1076587	2153174	3229762	131.29	262.58	393.87
35	494100.131	9090146.854	-8	8	2.02	8.2	1076658	2153315	3229973	131.30	262.60	393.90
36	494323.838	9090095.651	-8	8	2.01	8.2	1074999	2149998	3224998	131.10	262.19	393.29
37	494504.392	9090009.112	-8	8	2.01	8.2	1075369	2150738	3226107	131.14	262.29	393.43
38	494783.376	9089796.907	-8	8	2.02	8.2	1077090	2154181	3231271	131.35	262.70	394.06
39	493281.100	9090219.844	-9	9	1.99	8.2	1045698	2091397	3137095	127.52	255.05	382.57
40	494215.750	9090093.285	-9	9	1.99	8.2	1046784	2093568	3140353	127.66	255.31	382.97
41	494473.399	9089968.377	-9	9	1.99	8.2	1045697	2091395	3137092	127.52	255.05	382.57
42	494783.376	9089728.832	-9	9	1.99	8.2	1046784	2093569	3140353	127.66	255.31	382.97
43	493281.100	9090204.485	-10	10	1.96	8.2	1022780	2045561	3068341	124.73	249.46	374.19
44	494171.467	9090065.893	-10	10	1.97	8.2	1023702	2047404	3071106	124.84	249.68	374.53
45	494539.851	9089868.128	-10	10	1.96	8.2	1022780	2045560	3068340	124.73	249.46	374.19
46	494783.376	9089672.268	-10	10	1.97	8.2	1023702	2047404	3071106	124.84	249.68	374.53

Dari data dari tabel 4. 9 bisa disimpulkan dengan tinggi gelombang laut yang sama (H) dan periode yang sama namun dimensi kolom yang berbeda akan mengakibatkan perbedaan daya yang dihasilkan pada kolom *OWC* ini. Lebar sempitnya kolom ini yang pada sistem *OWC* ini sebagai kolektor gelombang laut. Dan bisa disimpulkan jika semakin lebar kolektor tersebut maka daya yang dihasilkan gelombang tersebut semakin besar karena daya tangkap gelombang juga besar.

4. 4 Perhitungan Daya *OWC*

Setelah diperoleh daya gelombang pada kolom *OWC* atau daya *input*. Langkah berikutnya menghitung daya output dari kolom tersebut agar dapat mengetahui efisiensi dari pembangkit *OWC* ini. Oleh karena itu, diperlukan perhitungan untuk mengetahui kecepatan udara dalam sistem pembangkit ini. Maka untuk mencari (v_1) digunakan persamaan sebagai berikut :

$$v_1 = -\frac{\omega}{2} H \sin(\omega t) \quad [10]$$

1. Langkah pertama mencari nilai (ω) dengan persamaan berikut :

$$\omega = 2\pi f \quad [10]$$

2. Karena nilai (f) belum diketahui maka bisa dicari dengan rumus :

$$f = \frac{1}{T} \quad [10]$$

Nilai $T = 8.2$, sehingga $f = \frac{1}{8.2} = 0.122$

3. Berikutnya dimasukkan nilai (f), pada persamaan dilangkah pertama $\omega = 2\pi f \quad [10]$

$$= 2\pi (0.122)$$

$$= 0.77 \text{ rad/s}$$

4. *OWC* ini direncanakan di kedalaman 5 meter dengan tinggi gelombang (H) 2.17m. Sehingga didapatkan v_1 . Kedalaman 5 m hasil dari analisa pada peta lokasi penempatan *OWC* ini.

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

$$v_1 = -\frac{0.77}{2} 2.17 \sin(\omega t)$$

$$v_1 = -0.84 \sin(\omega t)$$

Berikut ini adalah letak lokasi lahan yang akan direncanakan untuk penempatan sistem pembangkit *OWC*. Alasannya untuk lokasi ditebing tersebut karena langsung bebas mengarah laut bebas tidak ada hambatan untuk angin berhembus. Sehingga gelombang yang dihasilkan dari hembusan angin bisa maksimal.



Gambar 4. 7 Peta lokasi perencanaan sistem *OWC*. [6]

Dari hasil persamaan diatas yang berupa persamaan sinusoidal berarti kecepatan aliran udara v_1 akan berubah – ubah menurut nilai dari (t) . Dibawah ini adalah salah contoh perhitungan untuk menentukan kecepatan aliran udara (v_1).

Dimana: $t = 0,4$ s.

$$\omega = 0,77 \text{ rad/s}$$

$$\omega t = 0,77 \text{ rad/s} \times 0,4 \text{ s}$$

$$\omega t = 17,55^\circ$$

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

$$v_1 = -\frac{0.77}{2} 2.17 \sin(17,55)$$

$$v_1 = -0.84 -0,96$$

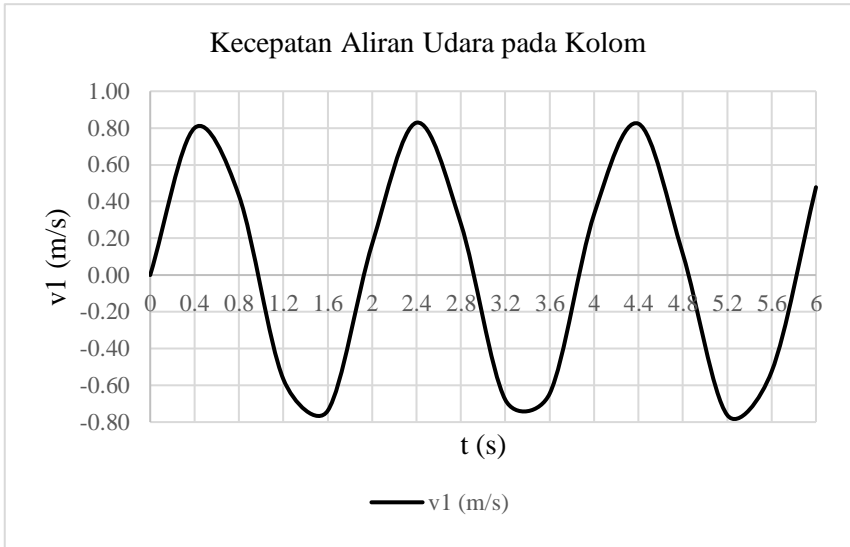
$$v_1 = 0.80$$

Berikut ini ditampilkan tabel hasil perhitungan hasil kecepatan aliran udara (v_1) terhadap nilai t yang berupa persamaan sinusoidal.

Tabel 4. 10 Tabel kecepatan aliran udara (v_1).

t(s)	$\omega t(^{\circ})$	$\sin(\omega t)$	v_1 (m/s)
0	0	0	0
0.4	17.55	-0.96	0.80
0.8	35.10	-0.52	0.43
1.2	52.66	0.68	-0.57
1.6	70.21	0.89	-0.74
2	87.76	-0.20	0.17
2.4	105.31	-1.00	0.83
2.8	122.86	-0.34	0.28
3.2	140.42	0.82	-0.68
3.6	157.97	0.78	-0.65
4	175.52	-0.40	0.33
4.4	193.07	-0.99	0.82
4.8	210.62	-0.14	0.11
5.2	228.18	0.92	-0.76
5.6	245.73	0.63	-0.53
6	263.28	-0.58	0.48

Untuk lebih jelas bisa dilihat pada grafik antara nilai kecepatan aliran udara pada kolom (v_1) dengan waktu (t).



Gambar 4. 8 Grafik antara v_1 dengan t

Setelah memperoleh data nilai kecepatan aliran udara pada kolom *OWC* (v_1) diatas. Maka dapat dihitung nilai kecepatan aliran udara pada kolom *orifice* (v_2) dengan menggunakan persamaan berikut :

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 [10]$$

Dari perencanaan awal bangunan ini untuk kemiringan kolom direncanakan sebesar 60° terhadap horizontal, sehingga didapatkan luas area kolom *OWC* (A_1) dan luas area kolom pada *orifice* (A_2). Pada tabel 4. 11 menunjukkan data kedua luasan tersebut :

Tabel 4. 11 Luas area pada kolom A₁ dan A₂.

Luas Area <i>Orifice</i> A ₂ (m ²)	Luas Area Kolom <i>OWC</i> A ₁ (m ²)		
	w=2	w=4	w=6
1.77	6.09	73.08	104.1

Dari data luasan area kolom diatas maka bisa didapatkan kapasitas dan kecepatan aliran udara yang ada di *orifice*. Berikut ini contoh perhitungan pada saat t = 0,4 s.

Dimana:

$$v_1 = 0,80$$

$$w = 2 \text{ m}$$

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

$$v_2 = \frac{6,09}{1,77} 0,80$$

$$v_2 = 2,76$$

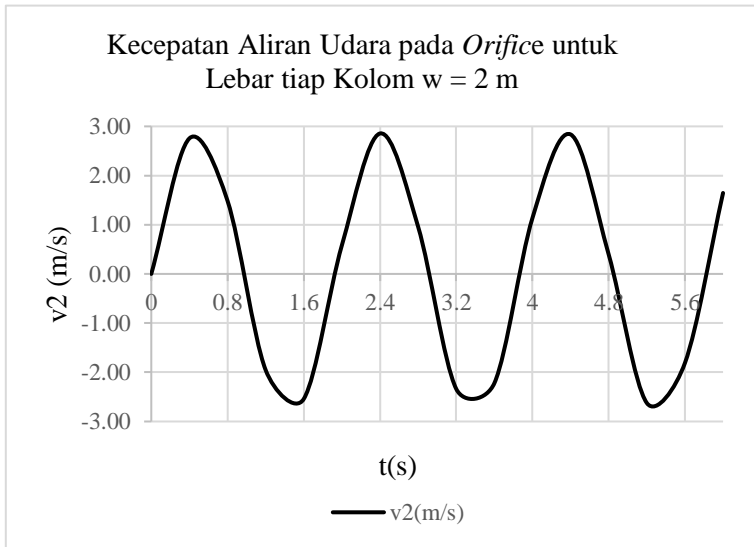
Demikianlah contoh pehitungan kecepatan aliran udara didalam orifice v₂. Untuk hasil peritungan lainnya ditampilkan pada tabel 4. 12 ini.

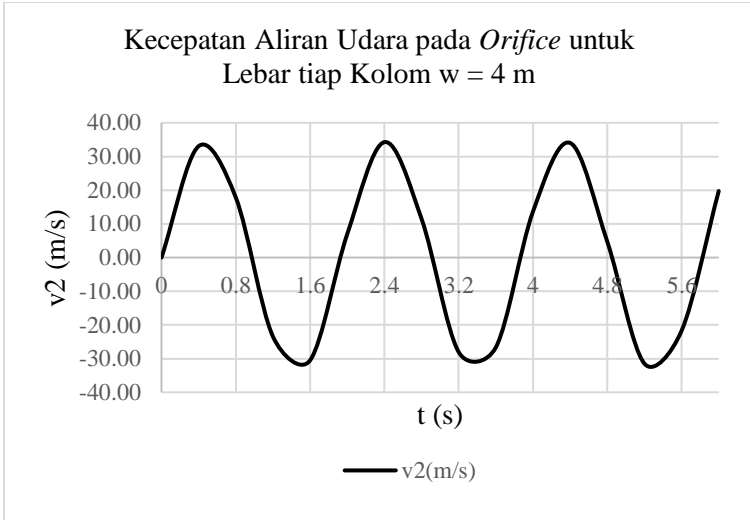
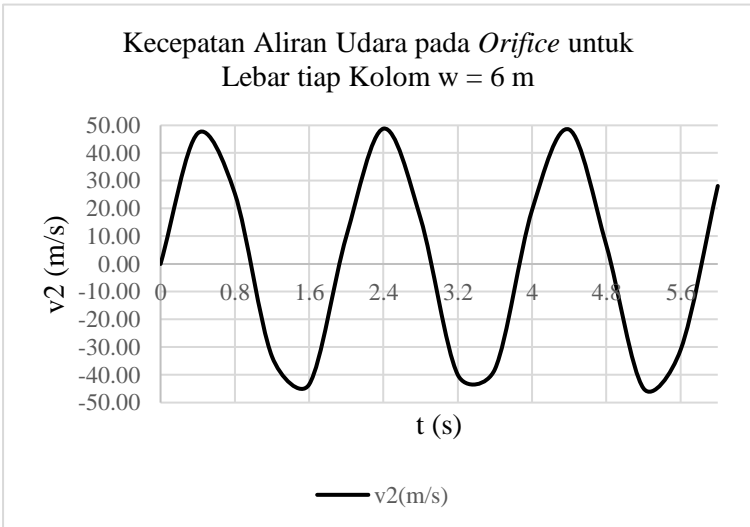
Tabel 4. 12 Tabel kecepatan aliran didalam orifice v₂.

t(s)	v ₁ (m/s)	v ₂ (m/s)		
		w=2	w=4	w=6
0	0	0	0	0
0.4	0.80	2.76	33.08	47.11
0.8	0.43	1.49	17.86	25.43
1.2	-0.57	-1.95	-23.44	-33.38
1.6	-0.74	-2.54	-30.51	-43.46

Lanjutan Tabel 4. 12

2	0.17	0.58	6.97	9.92
2.4	0.83	2.86	34.27	48.81
2.8	0.28	0.96	11.53	16.43
3.2	-0.68	-2.34	-28.04	-39.95
3.6	-0.65	-2.22	-26.67	-37.99
4	0.33	1.14	13.64	19.43
4.4	0.82	2.84	34.04	48.48
4.8	0.11	0.39	4.73	6.74
5.2	-0.76	-2.62	-31.48	-44.85
5.6	-0.53	-1.81	-21.73	-30.95
6	0.48	1.65	19.75	28.14

Gambar 4. 9 Grafik antara v_2 dan t .

Gambar 4. 11 Grafik v_2 dan t .Gambar 4. 10 Grafik v_2 dan t .

Dapat disimpulkan dari grafik diatas bahwa kecepatan aliran udara dalam orifice berupa grafik persamaan sinusoidal. Kecepatan aliran udara dalam *orifice* akan berubah arah dikarenakan naik dan turunnya permukaan air laut dalam kolom. Dikarenakan fluktuasi gelombang laut yang ada didalam kolom. Untuk besarnya kecepatan aliran udaranya 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 di dalam kolom. Setelah mengetahui kecepatan aliran dan luas area, maka kapasitas aliran (Q) dapat dicari dengan menggunakan rumus pada persamaan berikut :

$$Q = v \cdot A \text{ [10]}$$

Maka contoh perhitungan kapasitas aliran pada $w = 2 \text{ m}$ adalah sebagai berikut dengan $t = 0,4 \text{ s}$.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } v_2 &= 2,76 \text{ m/s} \\ A_2 &= 1,77 \text{ m}^2 \\ Q_2 &= v_2 \cdot A_2 \\ &= 2,76 \text{ m/s} \times 1,77 \text{ m}^2 \\ &= 4,87 \text{ m}^3/\text{s}. \end{aligned}$$

Jadi kapasitas aliran udara yang terdapat orifice (Q_2) pada lebar kolom 2 m dan $t = 0,4 \text{ s}$ adalah $4,87 \text{ m}^3/\text{s}$.

Sehingga diperoleh untuk perhitungan kapasitas aliran udara (Q_2) pada masing – masing variasi kolom ditampilkan pada tabel 4. 13.

Tabel 4. 13 Kapasitas aliran udara didalam *orifice*.

t(s)	v ₂ (m/s)			Q ₂ (m/s ³)		
	w=2	w=4	w=6	w=2	w=4	w=6
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.40	2.76	33.08	47.11	4.87	58.47	83.29
0.80	1.49	17.86	25.43	2.63	31.57	44.96
1.20	-1.95	-23.44	-33.38	-3.45	-41.43	-59.02
1.60	-2.54	-30.51	-43.46	-4.49	-53.93	-76.82
2.00	0.58	6.97	9.92	1.03	12.32	17.54
2.40	2.86	34.27	48.81	5.05	60.58	86.30
2.80	0.96	11.53	16.43	1.70	20.39	29.04
3.20	-2.34	-28.04	-39.95	-4.13	-49.57	-70.62
3.60	-2.22	-26.67	-37.99	-3.93	-47.15	-67.17
4.00	1.14	13.64	19.43	2.01	24.12	34.36
4.40	2.84	34.04	48.48	5.01	60.17	85.71
4.80	0.39	4.73	6.74	0.70	8.36	11.91
5.20	-2.62	-31.48	-44.85	-4.64	-55.66	-79.28
5.60	-1.81	-21.73	-30.95	-3.20	-38.41	-54.71
6.00	1.65	19.75	28.14	2.91	34.92	49.74

Dari hasil pada tabel 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 negatif 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 yaitu:

$$\varphi_2 \approx v_2 \eta_2 = -\left(\frac{A_1}{A_2}\right) v_1 \frac{\omega H^2}{4} \sin(\omega t) \cos(\omega t) \quad [10]$$

Berikut contoh perhitungan potensial kecepatan udara pada *orifice* (φ_2) pada lebar kolom $w = 2$ m dan $t = 0,4$ s.

- Menghitung $\sin\omega t$ dan $\cos\omega t$
Untuk ωt sudah diketahui dari perhitungan tabel 4. 8 yaitu $17,55^\circ$. Sehingga didapat juga $\sin\omega t = -0,96^\circ$ dan $\cos\omega t = 0,57$.
- Kecepatan aliran udara pada (v_1) tadi sudah diketahui yaitu : $0,80$ m/s.
- Kemudian mencari hasil perhitungan persamaan $\frac{\omega H^2}{4}$.
Dengan diketahui H atau tinggi gelombang = $2,17$ m

$$\frac{\omega H^2}{4} = \frac{0,77 \text{ rad/s } (0,77 \text{ m})^2}{4}$$

$$= 0,90$$

- Setelah menghitung perbandingan luas area
 $A_1/A_2 = 1,77/6,09$
 $= 10,77$
- Berikutnya dari kesemua hasil tadi dimasukkan dalam persamaan dibawah ini.

$$\varphi_2 \approx v_2 \eta_2 = -\left(\frac{A_1}{A_2}\right) v_1 \frac{\omega H^2}{4} \sin(\omega t) \cos(\omega t) \quad [10]$$

$$\varphi_2 \approx v_2 \eta_2 = -(10,77 \times 0,80 \times (-0,96) \times (0,57))$$

$$\varphi_2 \approx v_2 \eta_2 = 4,27 \text{ rad.m/s.}$$

Dan untuk perhitungan menggunakan langkah – langkah yang sama seperti di atas. Dan hasil perhitungan yang lain bisa dilihat pada tabel 4. 1 dibawah ini.

Tabel 4. 14 Potensial kecepatan didalam *orifice OWC*.

t(s)	$\omega(t)^\circ$	$\sin(\omega t)$	$\cos(\omega t)$	$v_1(\text{m/s})$	$\omega H^2/4$	A_1/A_2			φ_2		
						w=2	w=4	w=6	A=6.09	A=73.08	A=104.1
0	0	0	1	0	0.90	10.77	41.34	58.88	0.00	0.00	0.00
0.4	17.55	-0.96	0.57	0.80	0.90	10.77	41.34	58.88	4.27	16.40	23.36
0.8	35.10	-0.52	0.87	0.43	0.90	10.77	41.34	58.88	1.89	7.26	10.35
1.2	52.66	0.68	0.78	-0.57	0.90	10.77	41.34	58.88	2.91	11.19	15.94
1.6	70.21	0.89	0.63	-0.74	0.90	10.77	41.34	58.88	4.01	15.41	21.95
2	87.76	-0.20	0.98	0.17	0.90	10.77	41.34	58.88	0.32	1.25	1.78
2.4	105.31	-1.00	0.54	0.83	0.90	10.77	41.34	58.88	4.35	16.71	23.81
2.8	122.86	-0.34	0.94	0.28	0.90	10.77	41.34	58.88	0.86	3.30	4.70
3.2	140.42	0.82	0.68	-0.68	0.90	10.77	41.34	58.88	3.68	14.14	20.14
3.6	157.97	0.78	0.71	-0.65	0.90	10.77	41.34	58.88	3.47	13.32	18.97
4	175.52	-0.40	0.92	0.33	0.90	10.77	41.34	58.88	1.17	4.51	6.42
4.4	193.07	-0.99	0.55	0.82	0.90	10.77	41.34	58.88	4.34	16.66	23.73
4.8	210.62	-0.14	0.99	0.11	0.90	10.77	41.34	58.88	0.15	0.58	0.83
5.2	228.18	0.92	0.61	-0.76	0.90	10.77	41.34	58.88	4.12	15.83	22.55
5.6	245.73	0.63	0.81	-0.53	0.90	10.77	41.34	58.88	2.60	9.99	14.23
6	263.28	-0.58	0.84	0.48	0.90	10.77	41.34	58.88	2.24	8.59	12.24

Setelah mengetahui potensial kecepatan udara maka tekanan pada orifice dapat diketahui dengan menggunakan perhitungan pada persamaan, yaitu:

$$p_2 - p_0 = p \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \frac{d\varphi_2}{dt} + p \frac{Q}{A_2} (v_2 - v_1) \quad [10]$$

Dibawah ini adalah langkah – langkah untuk perhitungan tekanan pada *orifice*. Diambil contoh perhitungan pada $w = 2$ m dengan $t = 0,4$ s dan massa jenis air laut (ρ) = $1,03 \text{ kg/m}^3$.

- Pertama mencari dt atau selisih nilai t . Untuk nilai t sebelumnya 0 dan selanjutnya $t = 0,4$ s . Dengan nilai $dt = 0,4$ s.
- Setelah itu A_1/A_2 sudah diketahui sebelumnya yaitu: $10,77$ m dan juga $Q = 4,87 \text{ m}^3/\text{s}$.

- Kemudian menghitung Q/A_2

$$\frac{4,87 \text{ m}^3/\text{s}}{6,09 \text{ m}^2} = 0,80 \text{ m/s}$$

- Dan setelahnya mencari selisih potensial kecepatan pada *orifice* ($d\phi_2$). Untuk potensial kecepatan udara pada *orifice* $t = 0$ s, adalah 0 rad.m/s. Dan untuk selanjutnya pada $t = 0,4$ s adalah 4,27 rad.m/s. Jadi nilai $d\phi_2 = 4,27$ rad.m/s.
- Diketahui untuk menghitung nilai selisih kecepatan aliran udara pada *orifice* (v_2) dengan kecepatan aliran udara pada kolom (v_1). Nilai (v_2) = 2,76 m/s dan untuk nilai (v_1) = 0,80 m/s. Jadi untuk nilai ($v_2 - v_1$) = 1,96 m/s.
- Kemudian setelah itu dimasukkan dalam persamaan berikut:

$$\begin{aligned} p_2 - p_0 &= p \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \frac{d\phi_2}{dt} + p \frac{Q}{A_2} (v_2 - v_1) \quad [10] \\ &= (1,03 \text{ kg/m}^3 \times 10,77 \times \frac{4,27 \text{ rad.m/s}}{0,4 \text{ s}}) + (1,03 \\ &\text{ kg/m}^3 \times 0,80 \text{ m/s} \times (1,96 \text{ m/s})) \\ &= 120,02 \text{ kg/m}^2\text{s}^2. \end{aligned}$$

Demikian contoh perhitungan untuk mendapatkan nilai tekanan pada *orifice*. Untuk seterusnya pada t yang lain maupun variasi lebar kolom lain juga menggunakan langkah - langkah diatas. Dan berikut adalah hasil perhitungan tekanan pada *orifice* di masing – masing variasi kolom. Yang ditampilkan pada tabel 4. 15.

Tabel 4. 15 Tekanan udara pada *orifice*.

t(s)	dt	A ₁ /A ₂		Q(m ³ /s)			Q/A ₂			φ ₂			dφ ₂			v ₁ (m/s)	v ₂ (m/s)				(v ₂ -v ₁)		ρ (kg/m ³)	p ₂ -p ₀			
		w=2	w=4	w=6	w=2	w=4	w=6	6.09	73.08	104.1	6.09	73.08	104.1	6.09	73.08		104.1	w=2	w=4	w=6	w=2	w=4		w=6	w=2	w=4	w=6
0	0	10.77	41.34	58.88	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.03	0	0	0
0.4	0.4	10.77	41.34	58.88	4.87	58.47	83.29	0.80	0.80	0.80	4.27	16.40	23.36	4.27	16.40	23.36	0.80	2.76	33.08	47.11	1.96	32.27	46.31	1.03	120.02	1772.27	3580.31
0.8	0.4	10.77	41.34	58.88	2.63	31.57	44.96	0.43	0.43	0.43	1.89	7.26	10.35	-2.38	-9.14	-13.02	0.43	1.49	17.86	25.43	1.06	17.42	25.00	1.03	-65.50	-964.84	-1962.36
1.2	0.4	10.77	41.34	58.88	-3.45	-41.43	-59.02	-0.57	-0.57	-0.57	2.91	11.19	15.94	1.02	3.93	5.59	-0.57	-1.95	-23.44	-33.38	-1.39	-22.87	-32.82	1.03	29.16	431.27	867.16
1.6	0.4	10.77	41.34	58.88	-4.49	-53.93	-76.82	-0.74	-0.74	-0.74	4.01	15.41	21.95	1.10	4.22	6.01	-0.74	-2.54	-30.51	-43.46	-1.80	-29.77	-42.72	1.03	31.85	472.03	944.35
2	0.4	10.77	41.34	58.88	1.03	12.32	17.54	0.17	0.17	0.17	0.32	1.25	1.78	-3.69	-14.16	-20.17	0.17	0.58	6.97	9.92	0.41	6.80	9.76	1.03	-102.19	-1506.40	-3057.34
2.4	0.4	10.77	41.34	58.88	5.05	60.58	86.30	0.83	0.83	0.83	4.35	16.71	23.81	4.03	15.47	22.03	0.83	2.86	34.27	48.81	2.03	33.44	47.98	1.03	113.41	1674.96	3381.72
2.8	0.4	10.77	41.34	58.88	1.70	20.39	29.04	0.28	0.28	0.28	0.86	3.30	4.70	-3.49	-13.42	-19.11	0.28	0.96	11.53	16.43	0.68	11.25	16.15	1.03	-96.69	-1425.14	-2893.68
3.2	0.4	10.77	41.34	58.88	-4.13	-49.57	-70.62	-0.68	-0.68	-0.68	3.68	14.14	20.14	2.82	10.84	15.44	-0.68	-2.34	-28.04	-39.95	-1.66	-27.36	-39.27	1.03	79.42	1172.93	2368.63
3.6	0.4	10.77	41.34	58.88	-3.93	-47.15	-67.17	-0.65	-0.65	-0.65	3.47	13.32	18.97	-0.21	-0.82	-1.16	-0.65	-2.22	-26.67	-37.99	-1.58	-26.03	-37.35	1.03	-4.84	-69.52	-151.34
4	0.4	10.77	41.34	58.88	2.01	24.12	34.36	0.33	0.33	0.33	1.17	4.51	6.42	-2.30	-8.81	-12.56	0.33	1.14	13.64	19.43	0.81	13.31	19.10	1.03	-63.37	-933.73	-1897.32
4.4	0.4	10.77	41.34	58.88	5.01	60.17	85.71	0.82	0.82	0.82	4.34	16.66	23.73	3.17	12.16	17.32	0.82	2.84	34.04	48.48	2.01	33.21	47.66	1.03	89.48	1322.14	2666.03
4.8	0.4	10.77	41.34	58.88	0.70	8.36	11.91	0.11	0.11	0.11	0.15	0.58	0.83	-4.19	-16.08	-22.91	0.11	0.39	4.73	6.74	0.28	4.62	6.62	1.03	-116.07	-1711.08	-3472.29
5.2	0.4	10.77	41.34	58.88	-4.64	-55.66	-79.28	-0.76	-0.76	-0.76	4.12	15.83	22.55	3.97	15.25	21.72	-0.76	-2.62	-31.48	-44.85	-1.86	-30.72	-44.08	1.03	111.57	1647.43	3328.49
5.6	0.4	10.77	41.34	58.88	-3.20	-38.41	-54.71	-0.53	-0.53	-0.53	2.60	9.99	14.23	-1.52	-5.84	-8.32	-0.53	-1.81	-21.73	-30.95	-1.28	-21.20	-30.42	1.03	-41.46	-610.07	-1244.71
6	0.4	10.77	41.34	58.88	2.91	34.92	49.74	0.48	0.48	0.48	2.24	8.59	12.24	-0.36	-1.40	-1.99	0.48	1.65	19.75	28.14	1.17	19.3	27.7	1.03	-9.52	-139.40	-288.49

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

$$P = (p_2 - p_0) Q \quad [10]$$

Sehingga didapat bahwa daya yang bekerja pada turbin untuk masing – masing kolom. Seperti contoh perhitungan dibawah ini. Dimana diketahui pada lebar kolom $w = 2\text{m}$ dan pada nilai $t = 0,4 \text{ s}$.

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

$$P = (120,02) 4,87 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$P = 584, 83 \text{ Watt}.$$

Begitu demikian seterusnya untuk variasi lebar kolom lainnya . Dan dibawah ini adalah hasil perhitungan daya yang bekerja di turbin untuk semua variasi lebar kolom. Yang ditampilkan pada tabel 4. 16.

Tabel 4. 16 Daya pada OWC.

t(s)	p ₂ -p ₀			Q (m/s ²)			P (watt)		
	A=6.09	A=73.08	A=104.1	A=6.09	A=73.08	A=104.1	A=6.09	A=73.08	A=104.1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.4	120.02	1772.27	3580.31	4.87	58.47	83.29	584.83	103627.85	298208.78
0.8	-65.50	-964.84	-1962.36	2.63	31.57	44.96	-172.30	-30455.94	-88236.66
1.2	29.16	431.27	867.16	-3.45	-41.43	-59.02	-100.67	-17868.08	-51177.49
1.6	31.85	472.03	944.35	-4.49	-53.93	-76.82	-143.17	-25457.43	-72549.11
2	-102.19	-1506.40	-3057.34	1.03	12.32	17.54	-104.88	-18552.76	-53637.04
2.4	113.41	1674.96	3381.72	5.05	60.58	86.30	572.53	101471.14	291827.42
2.8	-96.69	-1425.14	-2893.68	1.70	20.39	29.04	-164.28	-29056.45	-84040.29
3.2	79.42	1172.93	2368.63	-4.13	-49.57	-70.62	-328.11	-58147.11	-167265.73
3.6	-4.84	-69.52	-151.34	-3.93	-47.15	-67.17	19.02	3278.02	10164.94
4	-63.37	-933.73	-1897.32	2.01	24.12	34.36	-127.37	-22521.61	-65188.66
4.4	89.48	1322.14	2666.03	5.01	60.17	85.71	448.68	79556.20	228514.12
4.8	-116.07	-1711.08	-3472.29	0.70	8.36	11.91	-80.90	-14310.93	-41368.04
5.2	111.57	1647.43	3328.49	-4.64	-55.66	-79.28	-517.48	-91691.11	-263888.03
5.6	-41.46	-610.07	-1244.71	-3.20	-38.41	-54.71	132.72	23432.77	68102.95
6	-9.52	-139.40	-288.49	2.91	34.92	49.74	-27.72	-4868.09	-14351.06

4.5 Perhitungan Efisiensi *OWC*

Dari hasil perhitungan daya keluaran *OWC* di atas, dapat diketahui bahwa daya terbesar yang dihasilkan dengan tinggi gelombang 2,17 m terdapat pada kolom *OWC* (P_w) yang memiliki lebar 6 m yaitu 298,21 kW. Dari rencana lokasi yang memiliki kedalaman 5 m daya yang bisa dihasilkan pada lokasi tersebut atau juga bisa disebut daya yang akan masuk pada kolom pembangkit ini adalah 454,96 kW. Kemudian dapat dihitung efisiensi dari *OWC* menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\begin{aligned}\eta_{OWC} &= \frac{P_g}{P_w} \times 100\% \quad [1] \\ &= \frac{\text{Daya yang keluar}}{\text{Daya yang masuk}} \times 100\% \\ &= \frac{298,21 \text{ kW}}{454,96 \text{ kW}} \times 100\% \\ &= 65,55 \%\end{aligned}$$

Sehingga efisiensi kolom *OWC* dapat diketahui sebesar 65,55% atau sebesar 0.66.

4.5 Perhitungan Daya Listrik *OWC*.

Untuk mengetahui daya listrik yang dibangkitkan maka perlu diketahui efisiensi dari Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang (PLTGL). Efisiensi dari PLTGL didapat dari perkalian antara efisiensi kolektor, efisiensi turbin dan efisiensi generator.

Dari keterangan sebelumnya untuk nilai efisiensi *wells turbine* adalah 0,4 – 0,7 dipilih 0,7. Dan nilai efisiensi generator adalah 0,8 – 0,9 dipilih 0,9. Sedangkan nilai efisiensi kolektor *OWC* didapatkan dari perhitungan sebelumnya yaitu 0,66. Maka bisa dihitung dalam persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 P_g &= P_w \times \eta_{OWC} \times \eta_{Generator} \times \eta_{Turbin} [1] \\
 &= 454,96 \text{ kW} \times 0,66 \times 0,9 \times 0,7 \\
 &= 189,172 \text{ kW}.
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas diperoleh daya listrik yang dihasilkan adalah 189,172 kW dari gelombang laut di Pantai Klayar Pacitan. Untuk rencana diletakkan pada kedalaman 5m.

4. 6 Perencanaan Desain Bangunan OWC.

Perencanaan konsep desain bangunan OWC ini akan direncanakan sebelah barat daya garis Pantai Klayar. Lebih jelasnya ditampilkan pada gambar 4.12. Berada di tebing dan menjorok ke laut dengan latitude $-8,225685^\circ$ dan longitude $110,944273^\circ$. Sistem ini tidak semua bangunannya terendam air laut. Maka pada penentuan lokasi ini juga menganalisa faktor pasang surut air laut agar sistem pembangkit OWC ini dapat bekerja efektif (agar air laut tidak masuk ke dalam orifice). Alasannya pada lokasi tersebut tidak ada halangan ketika gelombang akan masuk pada *wave chamber* langsung ke laut lepas. Contoh halangan tersebut adalah karang ataupun bangunan- bangunan pantai. Sehingga bisa maksimal gelombang yang akan masuk ke kolom.

Dari hasil analisa daya sebelumnya dapat dihasilkan daya maksimum pada lokasi yang direncanakan yaitu 18.787,19 kW dengan dimensi kolom 6m. Untuk desain konsep lainnya seperti OWC yang sudah proyek *Islay of Limpet* di Inggris Raya. Bangunan ini memiliki 2 bagian yaitu bagian *wave chamber* atau penangkap gelombang dan *orifice* terletak pada bagian daratan. Menggunakan dua turbin udara wells turbine dan dua generator.

Untuk menopang bangunan *OWC* ini menggunakan dua jenis pondasi yaitu pondasi tiang pancang dan pondasi menerus. Pondasi tiang pancang digunakan untuk menopang powerhouse yang berisikan *orifice*. Desain pondasi tiang bisa dilihat pada gambar 4.12. Dan pondasi menerus pada bagian *wave chamber*. Untuk analisa desain pondasi tiang pancang. Dilakukan pada sub bab 4. 7. Konsep desain pembangkit *OWC* ini sangat berpotensi pada negara seperti Indonesia ini. Karena memiliki garis pantai yang panjang dan gelombang yang relatif tinggi. Pada gambar akan lebih jelas untuk mengetahui konsep desain *OWC* di Pantai Klayar Pacitan.



Gambar 4. 12 Lokasi rencana sistem pembangkit *OWC*. [6]

4. 7 Analisa Design Pondasi pada *Orifice*.

4.7.1 Preliminary Design.

Dikarenakan data tanah pada lokasi rencana tidak ada, dikarenakan untuk mendapatkan data tanah yang riil dibutuhkan waktu yang dan biaya yang lebih. Sehingga data tanah yang digunakan diasumsikan menggunakan data yang digunakan pada Tugas Akhir yang membahas tentang pondasi dinamis. Jadi perhitungan pondasi pada *orifice* ini bersifat sebagai latihan saja atau simulasi.

Data-data Perencanaan

- Data-data Mesin

Nama mesin	: SGT – ADS (KBSS)
Frekuensi	: 50 Hz = 3000 rpm
Kategori mesin	: Rotating Machinery
Berat mesin	: 36290 Kg
Dimensi mesin	: 9000 x 2700 x 3100 mm

- Data-data Material

Mutu beton (F_c')	: 30 MPa
Kuat leleh (f_y)	: 400 MPa
Berat jenis beton	: 2400 kg/cm ³
Dimensi <i>Pile Cap</i>	: 3000 x 5000 x 1000 mm

- Data-data tanah

Data tanah pada perencanaan pondasi ini didapatkan dari Tugas Akhir yang berjudul “PERENCANAAN ULANG PONDASI DINAMIS CNG (COMPRESSED NATURAL GAS) GENSET PADA PLTMG (PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MESIN GAS) PULAU BAWEAN”, maka didapat :

$$\begin{aligned} \gamma &= 1672 \text{ kg/m}^3 & V &= 0,4 \\ P_z &= 2000 \text{ kg} & G &= 1468762 \text{ kg/m}^2 \text{ [3]} \end{aligned}$$

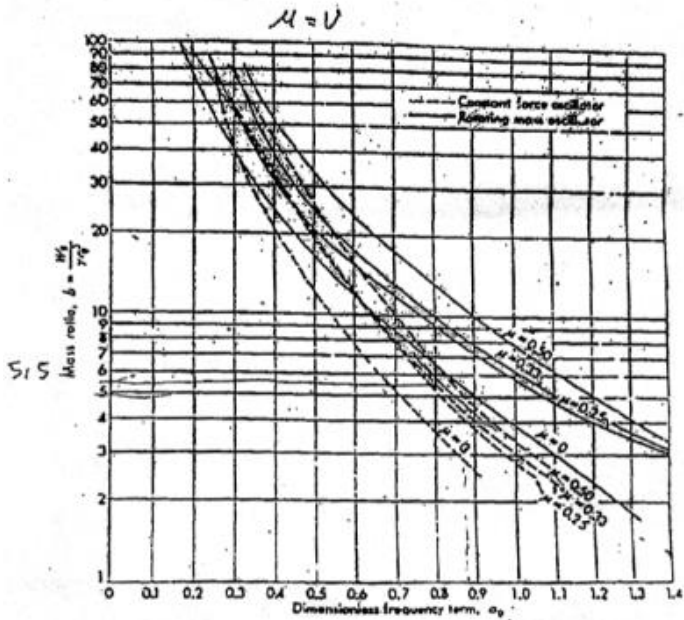
4.7.2 Analisa Dinamis Tanpa Tiang Pancang.

Cara *Linier Elastic Half Space (EHS)*

$$r_o = \sqrt{\frac{B.L}{\pi}} = \sqrt{\frac{3.5}{\pi}} = 2,185.$$

$$\text{Rasio massa } b = \frac{W}{\gamma r_o^3} = \frac{36290}{1672 \times 2,185^3} = 4,144.$$

Lihat gambar pada gambar 4. 13 dengan $b = 4,144$ serta $v = 0,4$ untuk beban vertikal konstan diperoleh $\alpha_o = 0,92$ (frekuensi resonansi tanpa dimensi)

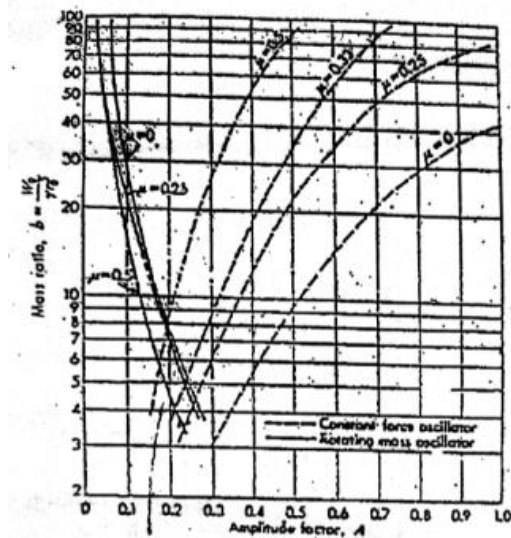


Gambar 4. 13 Grafik antara faktor frekuensi (ν) dan rasio massa b. [3]

$$Fres = \frac{a_0}{2\pi r_0} \sqrt{\frac{G}{P}} = \frac{0,92}{2 \times \pi \times 2,185} \sqrt{\frac{1468762}{\frac{1672}{9,81}}} = 6,221 \text{ cps} = 373,26 \text{ rpm}$$

$$\frac{Fres}{Fmesin} = \frac{373,26}{3000} = 0,124 < 0,5 \dots \text{OK}$$

Z adalah nilai A dalam gambar 4. 14 yaitu : $Z = 0,17$.



Gambar 4. 14 Grafik rasio massa dengan faktor amplitudo A. [3]

$$A_z = Z_o = \frac{Pz}{G ro} \times z = \frac{2000}{1468762 \times 2,185} \times 0,17 = 0,0001059 \text{ m} = 0,004171 \text{ inch}$$

Cara *Linear Lumped Parameter System (LPS)*

$$r_o = 2,185$$

$$K_z = \frac{4.G.ro}{1-v} = \frac{4 \times 1468762 \times 2,185}{1-0,4} = 21395914,91.$$

$$B_z = \frac{1-v}{4} \times \frac{W}{\gamma ro^3} = \frac{1-0,4}{4} \times \frac{36290}{1672 \times 2,185^3} = 0,622.$$

$$D_z = \frac{0,425}{\sqrt{Bz}} = \frac{0,425}{\sqrt{0,622}} = 0,539$$

$$F_{nz} = \frac{Wn}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{kz}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{21395914,91}{3629}} = 12,221.$$

$$Fz.res = Fnz \sqrt{1 - 2Dz^2} = 12,221 \times \sqrt{1 - 2 \times 0,539^2} = 7,909.$$

$$Z_0 = \frac{Q_0 / kz}{2Dz\sqrt{1-Dz^2}} = \frac{2000 / 30591356,06}{2 \times 0,587 \times \sqrt{1-0,587^2}} = 0,0001029 \text{ m} = 0,004053 \text{ inch}.$$

Berdasarkan gambar 4. 17 amplitudo yang terjadi pada perencanaan pondasi tanpa tiang tergolong dalam kategori “*servere to persons*”. Maka, diperlukan perencanaan pondasi dengan tiang pancang.

4.7.3 Analisa Dinamis Dengan Tiang Pancang

Dikarenakan menggunakan tiang pancang maka nilai konstanta pegas dan redaman berubah dengan analisa seperti di bawah ini. Kecepatan gelombang geser pada tanah dengan menggunakan rumus :

$$v_s = \left(\frac{Gs \times g}{\gamma_s} \right)^{0,5} = \left(\frac{148762 \times 9,81}{1672} \right)^{0,5} = 92,931 \text{ m/s}.$$

$$E_p = 200000 \text{ MPa}.$$

Kecepatan gelombang tekanan pada pile dengan menggunakan rumus :

$$v_s = \left(\frac{E_p \times g}{\gamma_p} \right)^{0,5} = \left(\frac{2 \times 10^{10} \times 9,81}{2400} \right)^{0,5} = 9041,571 \text{ m/s}$$

$$r_o = \sqrt{\frac{B.L}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,55 \times 0,55}{\pi}} = 0,310.$$

Panjang tiang pancang 4 m, maka :

$$\frac{l}{r_o} = \frac{4}{0,310} = 12,891.$$

$$\frac{\gamma_s}{\gamma_p} = \frac{1672}{2400} = 0,697.$$

Dengan menggunakan grafik didapatkan $f_{18,1} = 0,042$ dan $f_{18,2} = 0,042$.

$$A_{tiang} = p \times l = 0,55 \times 0,55 = 0,3025 \text{ m}^2.$$

Sehingga didapatkan nilai *spring constant* untuk arah vertikal untuk 1 tiang sesuai rumus berikut ini.

$$\begin{aligned} k_z^1 &= \left(\frac{E_p \times A}{r_o} \right) \times f_{18,2} \\ &= \left(\frac{2 \times 10^{10} \times 0,3025}{0,310} \right) \times 0,042 \\ &= 818873679,1 \text{ kg/m.} \end{aligned}$$

Faktor *damping* untuk arah vertikal sesuai rumus

$$\begin{aligned} c \frac{1}{z} &= \left(\frac{E_p \times A}{v_s} \right) \times f_{18,2} \\ &= \left(\frac{2 \times 10^{10} \times 0,3025}{92,831} \right) \times 0,042 \\ &= 2737238,148 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

$$m_c = \frac{\text{Total beban mati}}{g} = \frac{72290}{9,81} = 7369,011$$

Damping ratio sesuai rumus

$$D \frac{1}{z} = \frac{c \frac{1}{z}}{2 \sqrt{k_z^1 \times m_c}} = \frac{2737238,148}{2 \times \sqrt{818873679,1 \times 7369,011}} = 0,557$$

Tabel 4. 17 Hubungan faktor frekuensi dengan \bar{S}_1 dan \bar{S}_2

v	\bar{S}_1	\bar{S}_2	S_{u1}	S_{u2}	$S_{\psi1}$	$S_{\psi2}$
0,0	2,7	6,7	3,6	8,2	2,5	1,8
0,25	2,7	6,7	4,0	9,1	2,5	1,8
0,4	2,7	6,7	4,1	10,6	2,5	1,8

Dengan menggunakan tabel 4.17 dengan harga $v = 0,4$ maka didapatkan harga dan $\bar{S}_1 = 2,7$ dan $\bar{S}_2 = 6,7$ maka *spring constant* pada saat tiang berdiri bebas untuk kelompok tiang sesuai rumus berikut:

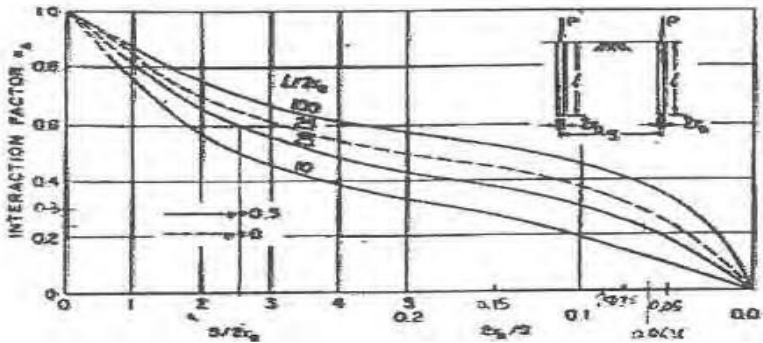
$$\begin{aligned} k \frac{f}{z} &= G_s \cdot x \cdot h \cdot \bar{S}_1 \\ &= 1468762 \times 0,6 \times 2,7 \\ &= 2379394,44 \text{ kg/m.} \end{aligned}$$

$$r_o \text{ pile cape} = \sqrt{\frac{B \cdot L^2}{\pi}} = \sqrt{\frac{3 \times 5^2}{\pi}} = 4,886 \text{ m.}$$

$$\begin{aligned} c \frac{f}{z} &= h \cdot x \cdot r_o \cdot x (G_s \cdot x \cdot Y_s / g)^{0,5} \cdot \bar{S}_2 \\ &= 0,6 \times 4,886 \times \sqrt{1468762 \times \frac{1672}{9,81}} \times 6,7 \\ &= 310771,437 \text{ kg. m/s.} \end{aligned}$$

Mencari harga α_A dengan menggunakan gambar 4.14 dengan menggunakan nilai pendekatan $v = 0,5$ dan $l/2r_o = 4/2 \times 4,886 = 6,445$ digunakan nilai pendekatan 10, dimana S merupakan jarak tiang pancang acuan untuk gaya vertikal ke

setiap tiang pancang yg ditinjau.



Gambar 4. 15 Faktor interaksi α_o . [3]

Tabel 4. 18 Penentuan nilai harga α_A .

PILE	S (m)	S/2ro	2ro/S	α_A
A	2,70	4,350569	0,22986	0,30
B	1,75	2,819813	0,35463	0,42
C	1,35	2,175284	0,45971	0,50
D	1,75	2,819813	0,35463	0,42
E	1,15	1,85302	0,53966	0,58
F	0	0	0	0
G	1,15	1,85302	0,53966	0,58
H	2,30	3,70604	0,26983	0,38

Dipakai $n = 8$ buah tiang pancang

$$\sum \alpha_A = 3,18$$

$$\begin{aligned}
 k \frac{g}{z} &= \frac{\sum_1^N k_z^1}{\sum_1^N \alpha_A} + k \frac{f}{z} \\
 &= \frac{8 \times 818873679,1}{25,44} + 2379394,44
 \end{aligned}$$

$$= 2062438965 \text{ kg/m.}$$

$$\begin{aligned} c \frac{g}{z} &= \frac{\sum_1^N c_z^1}{(\sum_1^N \alpha_A)^{0,5}} + c \frac{f}{z} \\ &= \frac{8 \times 2737238,148}{(25,44)^{0,5}} + 310771,437 \\ &= 12590506,9 \text{ kg} \frac{s}{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D \frac{g}{z} &= \frac{c \frac{g}{z}}{2 \left(k \frac{g}{z} m_c \right)^{0,5}} \\ &= \frac{12590506,9}{2 \left(2062438965 \times 7369,011 \right)^{0,5}} \\ &= 1,615. \end{aligned}$$

Frekuensi natural sesuai rumus berikut ini:

$$\begin{aligned} f_{nz} &= \frac{60}{2\pi} \times \sqrt{\frac{k \frac{g}{z}}{m}} \\ &= \frac{60}{2 \times 3,14} \times \sqrt{\frac{2062438965}{3629}} \\ &= 7198,938 \text{ rpm} \end{aligned}$$

$$r = \frac{f_{mesin}}{f_{nz}} = \frac{3000}{7198,938} = 0,417$$

Magnification Factor atau pembesaran omen sesuai rumus berikut:

$$\begin{aligned} M_z &= \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2 \times D_z \times r^2)}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{(1-0,417^2)^2 + (2 \times 1,615 \times 0,417^2)}} \\ &= 0,682 \end{aligned}$$

$$\omega_{mesin} = 2\pi \times \frac{f_{mesin}}{60} = 2 \times 3,14 \times \frac{3000}{60} = 314,159 \text{ rad/s}$$

Gaya luar:

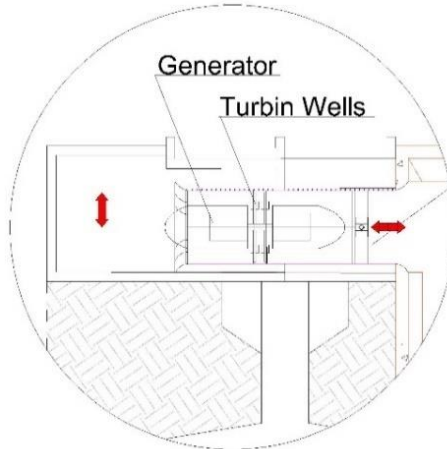
$$\begin{aligned}
 F_{oz} &= \frac{W_{rotor}}{g} \times e \times \omega_{mesin}^2 \\
 &= \frac{36290}{9,81} \times 0,00023 \times 314,159^2 \\
 &= 22234,891 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Amplitudo sesuai rumus berikut ini:

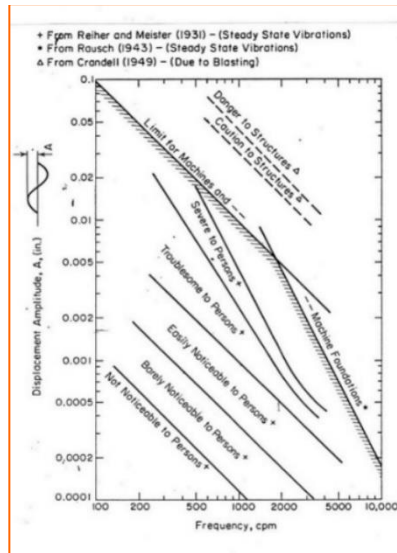
$$\begin{aligned}
 A_z &= M_z \times \frac{F_{oz}}{k_z} \\
 &= 0,682 \times \frac{22234,891}{2062438965} \\
 &= 7,35 \times 10^{-6} \text{ m.} \\
 &= 2,89 \times 10^{-4} \text{ inch.}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan gambar 4. 17 amplitudo yang terjadi pada perencanaan pondasi tiang pancang tergolong dalam kategori **“Easily Noticeable to Persons”**. Maka, diperlukan perencanaan pondasi dengan tiang pancang. Dengan dimensi *pile cap* 3000 x 5000 x 1000 mm. Dan dibutuhkan 8 buah *pile* dengan diameter 55 cm dan panjang panjang kedalaman 4 m.

Untuk bangunan dinding pada *orifice* tidak difungsikan sebagai struktur. Sehingga direncanakan tebal dindingnya 15 cm. Untuk dimensi bangunan penutup turbinnya memiliki lebar 4 m dan panjang 11,1 m. Seperti terlihat pada gambar 4. 16 berikut:



Gambar 4. 16 Konsep desain bangunan dinding pelindung pada *orifice*. [3]



Gambar 4. 17 Grafik antara pemindahan amplitudo dengan frekuensi getaran. [3]

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian upaya pemanfaatan gelombang laut di Pantai Klayar dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Peramalan gelombang yang terjadi di sepanjang Pantai Klayar Pacitan Jawa Timur. Berdasarkan perhitungan presentase intensitas angin, dihitung pengaruh refraksi dan pendangkalan / shoaling dihasilkan nilai sebagai berikut:
 - a) Analisa gelombang di laut dalam
Digunakan $H_o = 2,5\text{m}$ dan $T_o = 8,2\text{s}$ karena pada *range* kelas 5,70 – 8,80 knot dengan nilai $U_z = 7,25\text{ m/s}$ memiliki intensitas yang lebih dominan dari lima *range* kelas yang lain.
 - b) Tinggi gelombang di Pantai Klayar hasil pembangkitan dari data angin. Lokasi penempatan sistem pembangkit OWC ini direncanakan pada kedalaman 5m dan tinggi gelombang pada kedalaman tersebut sebesar 2,17m. Untuk hasil tinggi gelombang pada kedalaman yang lain bisa dilihat pada lampiran.
2. Konsep desain yang digunakan yaitu sistem pembangkit *OWC* tipe *fixed*. Dengan dimensi lebar tiap kolom sebesar 6m dengan ketinggian alat dari kedalaman 5m sebesar 13,9m. Atau lebih lengkapnya dilihat pada gambar desain di lampiran.
3. Kapasitas daya listrik yang bisa dihasilkan dengan desain *OWC* tipe *fixed* ini sebesar 189,172 kW.
4. Semakin tinggi gelombang dan semakin lebar kolom maka daya yang dihasilkanpun semakin besar.

5.2 Saran

1. Disarankan kepada Pemerintah Indonesia untuk memberikan fokus penelitian tentang energi terbarukan salah satunya pembangkit energi listrik tenaga gelombang laut. Dikarenakan kondisi geografis Indonesia yang memiliki garis pantai yang panjang dan memiliki tinggi gelombang yang relatif tinggi. Yang sangat berpotensi untuk menghemat pemakaian bahan bakar migas sebagai sumber energi listrik ataupun juga bisa menggantikannya.
2. Penelitian bisa dilanjutkan sampai perhitungan perencanaan pondasi dengan menggunakan data tanah yang riil pada lokasi pembangunan sistem *OWC* ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ardianto. 1996. *Studi Pemanfaatan energi Gelombang air Laut Untuk Pembangkit Listrik Tipe Taper Channel di Baron Yogyakarta*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
2. BMKG Stasiun Meteorologi Perak 1 Surabaya.
3. Dewanti, Ni Putu Teja. 2015. *Perencanaan Ulang Dinamis CNG (Compressed Natural Gas) Genset pada PLTMG Pulau Bawean*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
4. <https://indonesiaproud.wordpress.com/2010/09/03/zamrisyaf-sy-penemu-listrik-tenaga-gelombang-laut-sistem-bandulan/>
5. <https://warstek.com/2020/05/30/potensi-ombak/>
6. *Googleearth.com*
7. oeits.wordpress.com/2012/09/12/review-kuliah-hidrodinamika-1
8. Publishable Report. "Islay Limpet Wave Power Plant". 2002. The Queen University of Belfast: Belfast.
9. PLN. "Laporan Statistik PLN 2017". Sekretariat Perusahaan PT PLN (Perseo). Jakarta.

10. Rahmatullah, Alek. 2013. *Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Oscilating Water Column (OWC) di Pantai Bandalit Jember*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
11. Setyaningsih, Risa. 2017. *Analisa Penerapan Turbin Mc Cormick Dan Turbin Masuda Pada PLTGL Tipe OWC Fixed Di Pantai Selatan Jawa Timur Dengan Computational Fluid Dynamic*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
12. Triatmojo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset: Yogyakarta.
13. Zamri. 2015. *Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistik Empat Bandul*. Jurnal Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang Kampus Limau Manis. Padang.
14. Zuhail. 1998. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: Gramedia.

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama Bisma Ilham Hidayat dilahirkan Surabaya pada 11 Juni 1996, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Biasa dipanggil Bisma. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Muslimat Bungurasih Waru, SD darul Ulum Bungurasih, SMP Unggulan Amanatul Ummah Surabaya, SMAN 6 Surabaya. Setelah Lulus dari SMAN 6 Surabaya tahun 2014, penulis mengikuti ujian masuk diploma ITS

dan diterima di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil pada tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP 3114030105. Di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil ini penulis mengambil bidang studi Bangunan Air. Dan lulus pendidikan D3 tahun 2017. Penulis melanjutkan pendidikan lanjut jenjang diploma empat atau D4 di Jurusan Teknik Infrastruktur Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan konsentrasi ilmu Bangunan Air. Penulis pernah aktif dalam berbagai kepanitiaan acara yang ada di lingkup ITS selama menjadi mahasiswa di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

LAMPIRAN



PROGRAM SARJANA TERAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

NOTES CATATAN

SUBJECT MATA KULIAH

TUGAS AKHIR TERAPAN
FINAL PROJECT

JUDUL TUGAS AKHIR

UPAYA PEMANFAATAN GELOMBANG
LAUT DI PANTAI KLAYAR PACITAN
SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK
TERBARUKAN

NAME NAMA

Bisma Ilham Hidayat
1011181500030

DRAWING TITLE JUDUL GAMBAR

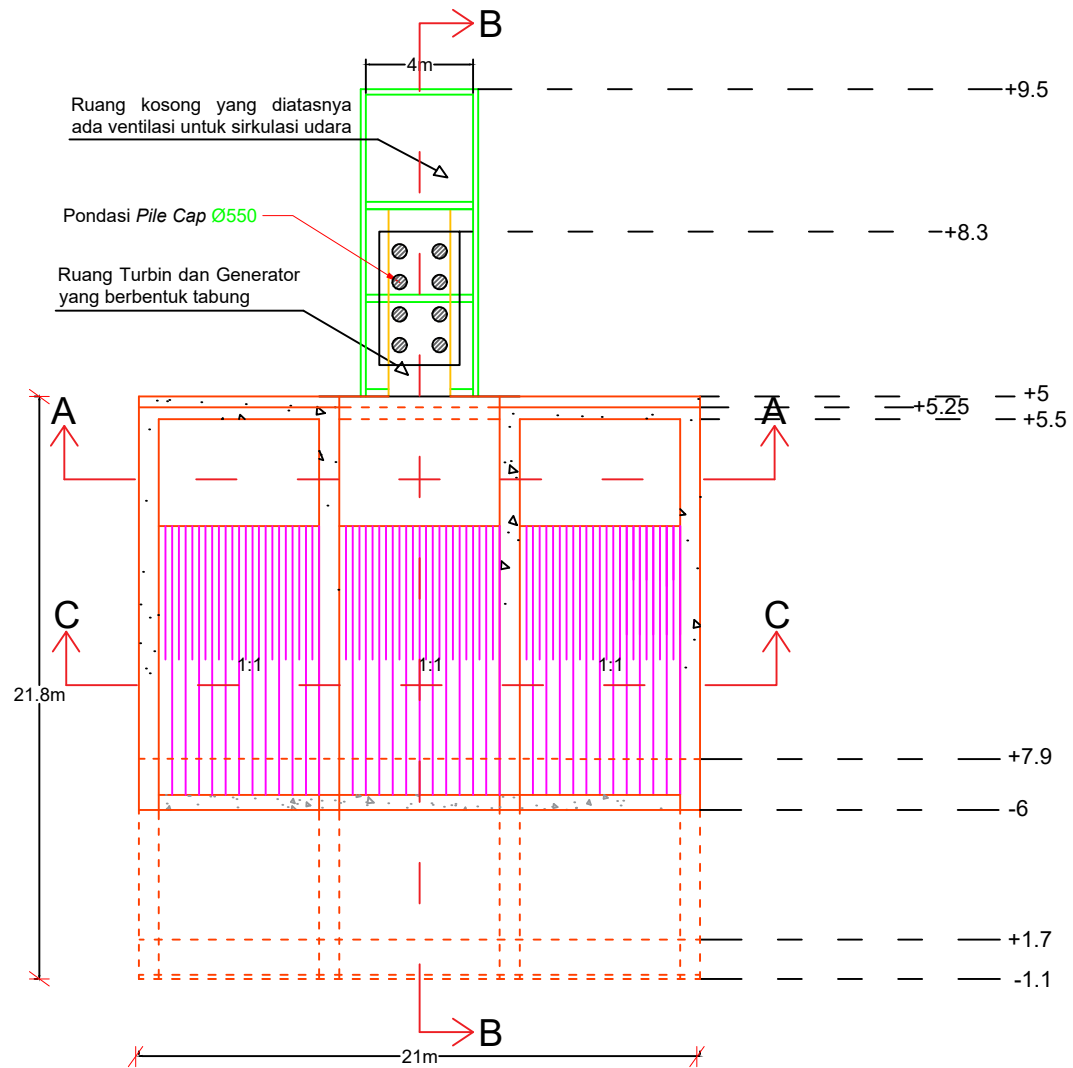
DRAWING SOURCE SUMBER GAMBAR

SCALE

NOMOR GAMBAR JUMLAH GAMBAR
DRAWING NUMBER TOTAL DRAWING

1

6



GAMBAR DENAH

Skala 0 1 5 10 20



PROGRAM SARJANA TERAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

NOTES CATATAN

SUBJECT MATA KULIAH

TUGAS AKHIR TERAPAN
FINAL PROJECT

JUDUL TUGAS AKHIR

UPAYA PEMANFAATAN GELOMBANG
LAUT DI PANTAI KLAYAR PACITAN
SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK
TERBARUKAN

NAME NAMA

Bisma Ilham Hidayat
1011181500030

DRAWING TITLE JUDUL GAMBAR

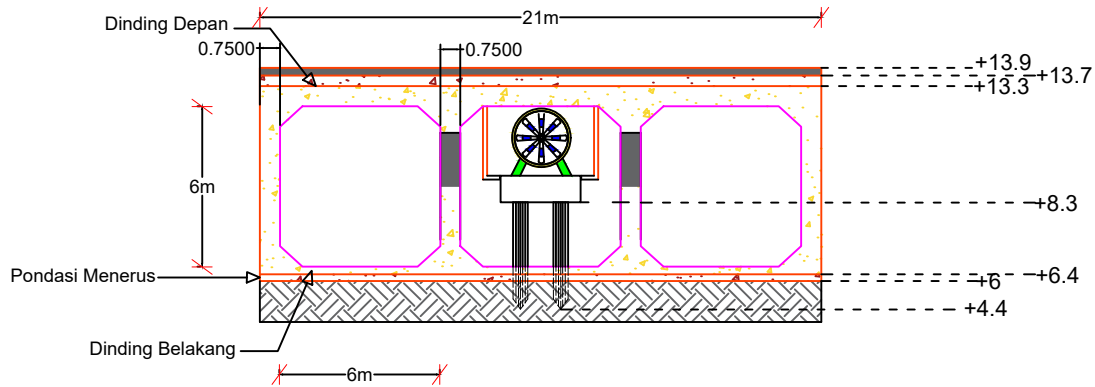
DRAWING SOURCE SUMBER GAMBAR

SCALE

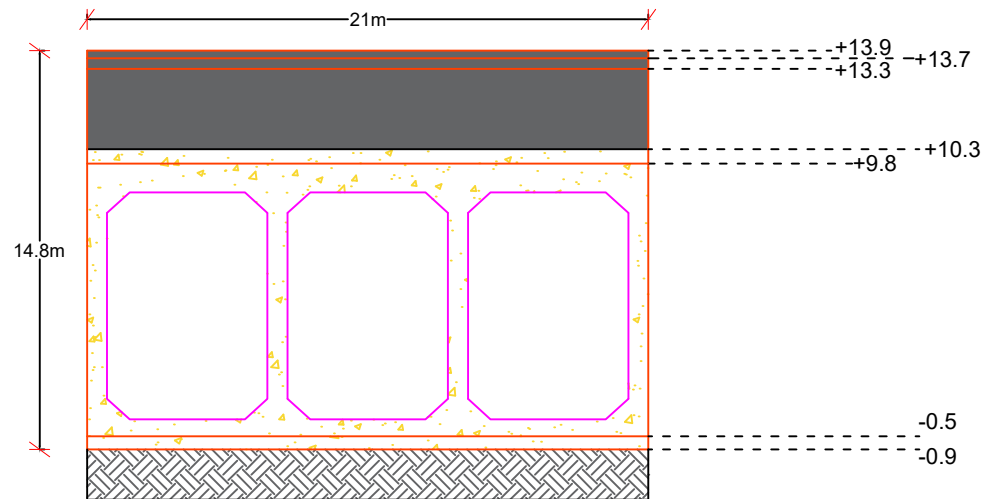
NOMOR GAMBAR JUMLAH GAMBAR
DRAWING NUMBER TOTAL DRAWING

2

6



 **POTONGAN MELINTANG A-A**
SKALA 1 : 1000



 **POTONGAN MELINTANG C-C**
SKALA 1 : 1000



PROGRAM SARJANA TERAPAN
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 FAKULTAS VOKASI
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

NOTES CATATAN

SUBJECT MATA KULIAH

TUGAS AKHIR TERAPAN
 FINAL PROJECT

JUDUL TUGAS AKHIR

UPAYA PEMANFAATAN GELOMBANG LAUT DI PANTAI KLAYAR PACITAN
 SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK TERBARUKAN

NAME NAMA

Bisma Ilham Hidayat
 1011181500030

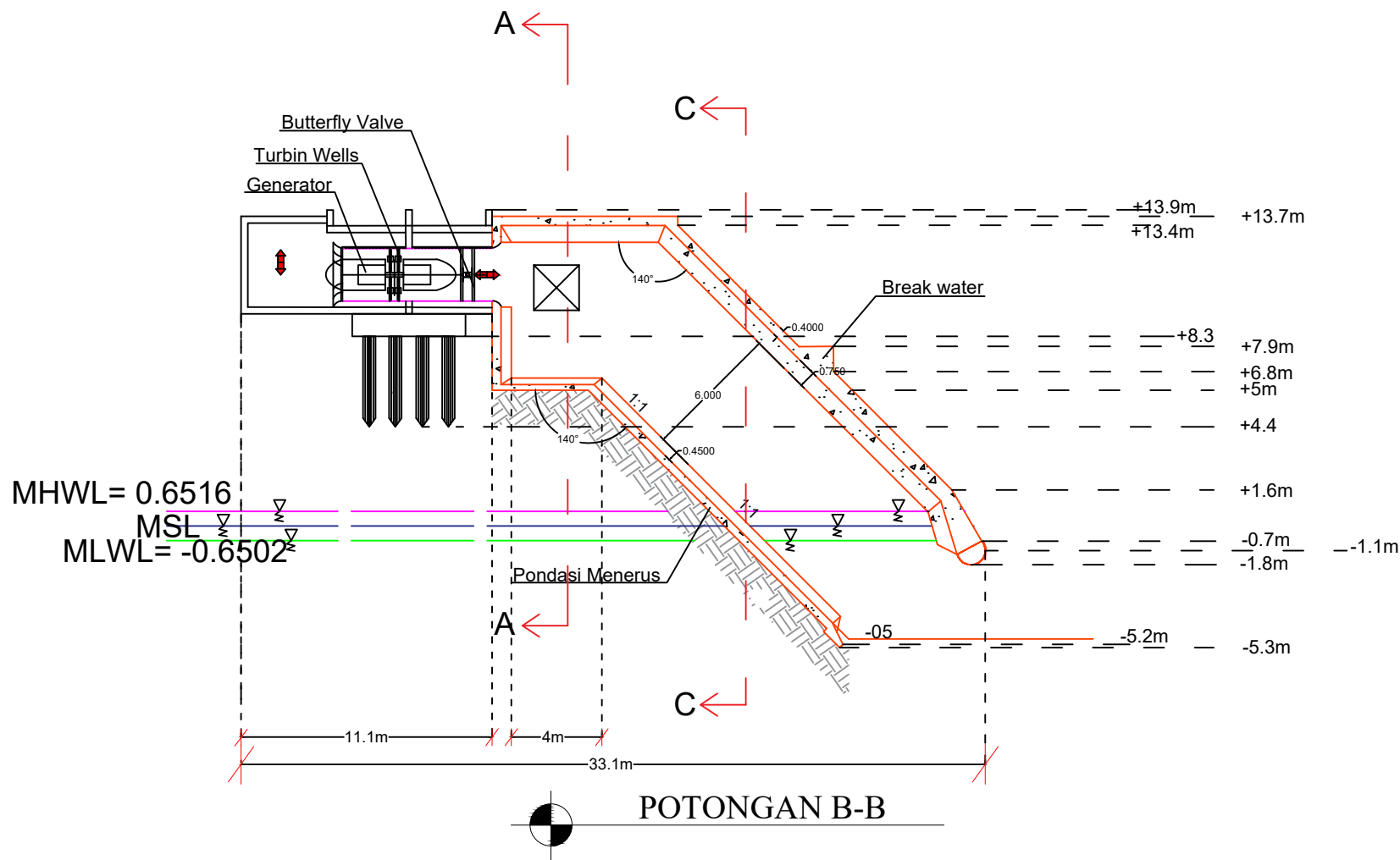
DRAWING TITLE JUDUL GAMBAR

DRAWING SOURCE SUMBER GAMBAR

NOMOR GAMBAR JUMLAH GAMBAR
 DRAWING NUMBER TOTAL DRAWING

3

6





PROGRAM SARJANA TERAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

NOTES CATATAN

SUBJECT MATA KULIAH

TUGAS AKHIR TERAPAN
FINAL PROJECT

JUDUL TUGAS AKHIR

UPAYA PEMANFAATAN GELOMBANG
LAUT DI PANTAI KLAYAR PACITAN
SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK
TERBARUKAN

NAME NAMA

Bisma Ilham Hidayat
1011181500030

DRAWING TITLE JUDUL GAMBAR

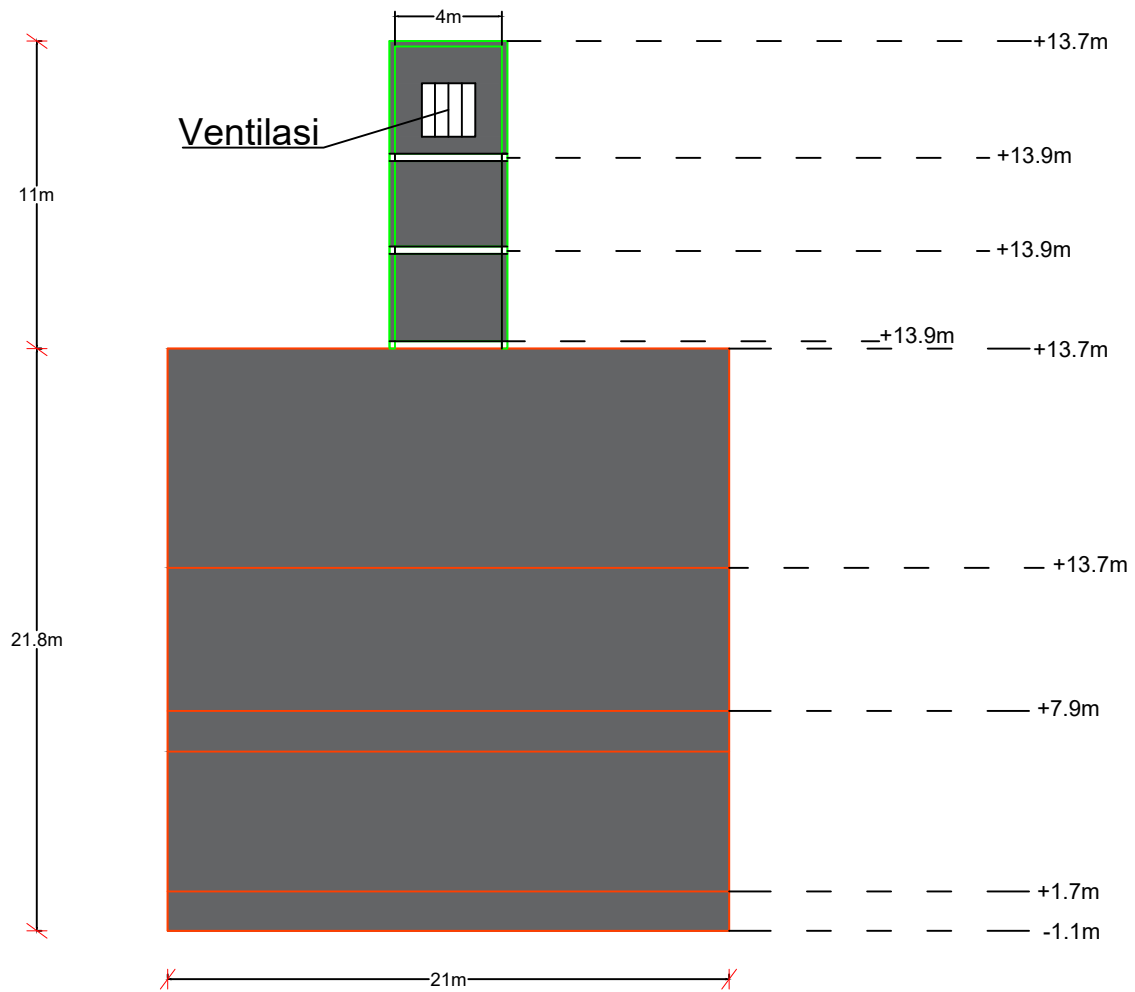
DRAWING SOURCE SUMBER GAMBAR

SCALE

NOMOR GAMBAR JUMLAH GAMBAR
DRAWING NUMBER TOTAL DRAWING

4

6



 TAMPAK ATAS

Skala 



PROGRAM SARJANA TERAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

NOTES CATATAN

SUBJECT MATA KULIAH

TUGAS AKHIR TERAPAN
FINAL PROJECT

JUDUL TUGAS AKHIR

UPAYA PEMANFAATAN GELOMBANG
LAUT DI PANTAI KLAYAR PACITAN
SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK
TERBARUKAN

NAME NAMA

Bisma Ilham Hidayat
1011181500030

DRAWING TITLE JUDUL GAMBAR

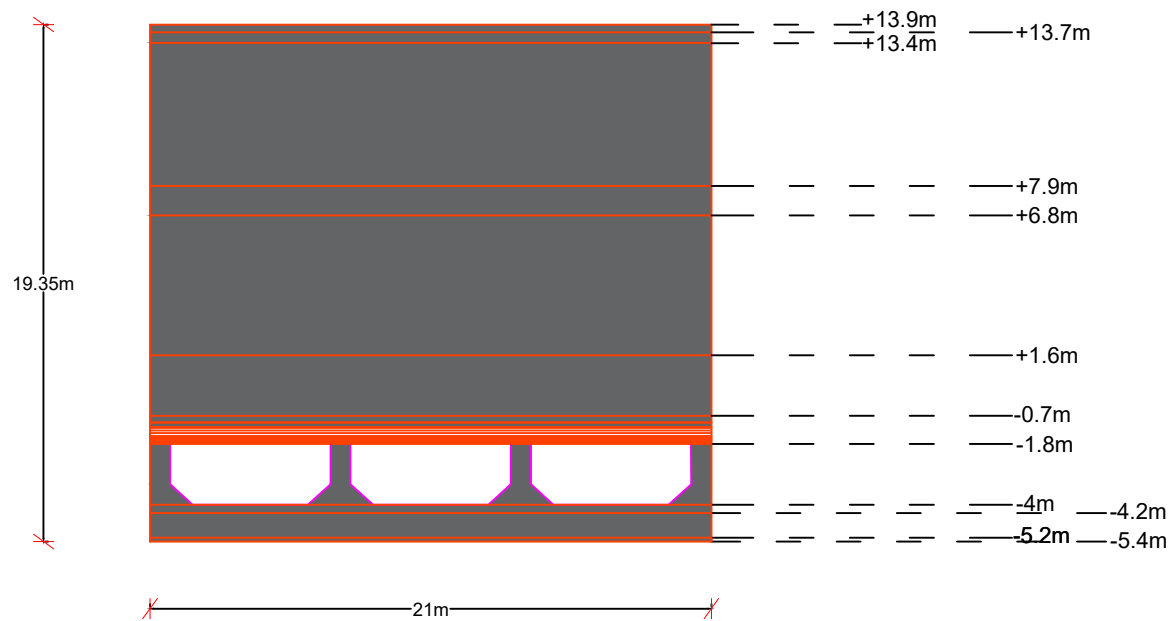
DRAWING SOURCE SUMBER GAMBAR

SCALE

NOMOR GAMBAR JUMLAH GAMBAR
DRAWING NUMBER TOTAL DRAWING

5

6



TAMPAK DEPAN

Skala 0 1 5 10 20



PROGRAM SARJANA TERAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

NOTES CATATAN

SUBJECT MATA KULIAH

TUGAS AKHIR TERAPAN
FINAL PROJECT

JUDUL TUGAS AKHIR

UPAYA PEMANFAATAN GELOMBANG
LAUT DI PANTAI KLAYAR PACITAN
SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK
TERBARUKAN

NAME NAMA

Bisma Ilham Hidayat
1011181500030

DRAWING TITLE JUDUL GAMBAR

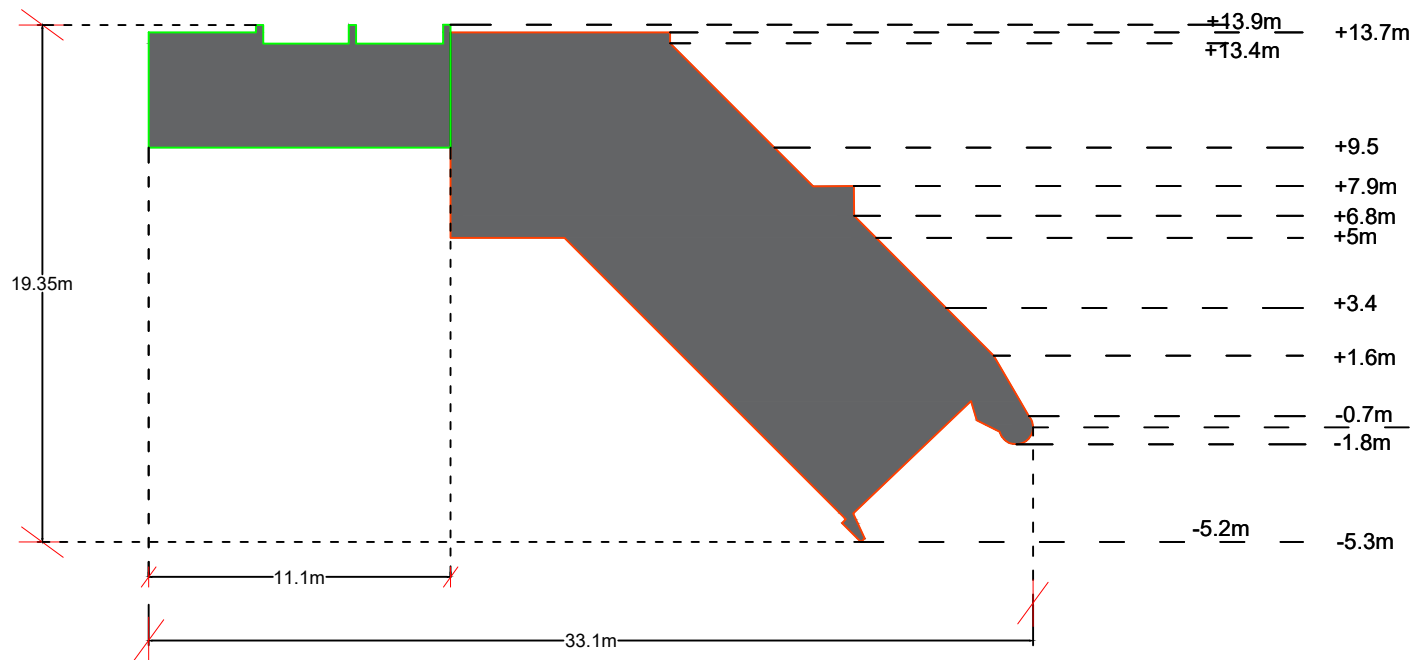
DRAWING SOURCE SUMBER GAMBAR

SCALE

NOMOR GAMBAR JUMLAH GAMBAR
DRAWING NUMBER TOTAL DRAWING

6

6



TAMPAK SAMPING

Skala 0 1 5 10 20

Titik	Koordinat		z	d(m)	d/Lo (m)	αo (derajat)	L	C	k=2*πi/D/L	n	Scaling			Refraksi		H	ks	H/d	Ket	
	x	y									C/Co	(H/ho)	(H/ho)2	Sin (α)	α					Kr
1	493281.100	9090374.502	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Tidak	
2	493632.468	9090326.937	0	0	0	44.91	0	0	0	0	0	0	0	0	0.84	0	0	0	Tidak	
3	494221.622	9090381.089	0	0	0	45.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0.84	0	0	0	Tidak	
4	494783.376	9090264.793	0	0	0	45.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0.84	0	0	0	Tidak	
5	495783.376	9090183.553	-1	1	0.00952	45.06	25.427	3.10	0.25	0.99	0.24	1.22	1.49	0.17	9.88	0.85	3.05	1.44	3.05	pecah
6	493281.100	9090355.737	-1	1	0.00952	45.04	25.427	3.10	0.25	0.99	0.24	1.22	1.49	0.17	9.88	0.85	3.05	1.44	3.05	pecah
7	493622.674	9090303.630	-1	1	0.00952	45.09	25.427	3.10	0.25	0.99	0.24	1.22	1.49	0.17	9.89	0.85	3.05	1.44	3.05	pecah
8	494206.448	9090343.385	-1	1	0.00952	45.08	25.427	3.10	0.25	0.99	0.24	1.22	1.49	0.17	9.88	0.85	3.05	1.44	3.05	pecah
9	494783.376	9090224.173	-1	1	0.00952	44.91	25.427	3.10	0.25	0.99	0.24	1.22	1.49	0.17	9.85	0.85	3.05	1.44	3.05	pecah
10	493281.100	9090337.226	-2	2	0.01904	45.08	35.596	4.34	0.35	0.99	0.34	1.04	1.08	0.24	13.90	0.85	2.60	1.22	1.30	pecah
11	493683.193	9090277.474	-2	2	0.01904	45.10	35.596	4.34	0.35	0.99	0.34	1.04	1.08	0.24	13.91	0.85	2.60	1.22	1.30	pecah
12	494188.232	9090306.423	-2	2	0.01904	45.22	35.596	4.34	0.35	0.99	0.34	1.04	1.08	0.24	13.94	0.85	2.60	1.22	1.30	pecah
13	493281.100	9090317.855	-3	3	0.02856	44.87	43.151	5.26	0.44	0.98	0.41	0.96	0.92	0.29	16.87	0.86	2.39	1.11	0.80	pecah
14	493509.129	9090268.540	-3	3	0.02856	45.09	43.151	5.26	0.44	0.98	0.41	0.96	0.91	0.29	16.94	0.86	2.39	1.11	0.80	pecah
15	494246.887	9090264.672	-3	3	0.02856	45.07	43.151	5.26	0.44	0.98	0.41	0.96	0.91	0.29	16.93	0.86	2.39	1.11	0.80	pecah
16	494783.376	9090142.933	-3	3	0.02856	45.09	43.151	5.26	0.44	0.98	0.41	0.96	0.91	0.29	16.94	0.86	2.39	1.11	0.80	pecah
17	493281.100	9090299.924	-4	4	0.03808	45.08	49.312	6.01	0.51	0.98	0.47	0.90	0.81	0.33	19.44	0.87	2.26	1.04	0.56	Tidak
18	493592.755	9090284.785	-4	4	0.03808	45.09	49.312	6.01	0.51	0.98	0.47	0.90	0.81	0.33	19.45	0.87	2.26	1.04	0.56	Tidak
19	494236.668	9090237.367	-4	4	0.03808	45.08	49.312	6.01	0.51	0.98	0.47	0.90	0.81	0.33	19.44	0.87	2.26	1.04	0.56	Tidak
20	494783.376	9090102.313	-4	4	0.03808	45.09	49.312	6.01	0.51	0.98	0.47	0.90	0.81	0.33	19.45	0.87	2.26	1.04	0.56	Tidak
21	493281.100	9090281.445	-5	5	0.0476	45.07	54.557	6.65	0.58	0.97	0.52	0.87	0.75	0.37	21.61	0.87	2.17	0.99	0.43	Tidak
22	493583.749	9090233.769	-5	5	0.0476	45.09	54.557	6.65	0.58	0.97	0.52	0.87	0.75	0.37	21.62	0.87	2.17	0.99	0.43	Tidak
23	494226.449	9090210.063	-5	5	0.0476	45.09	54.557	6.65	0.58	0.97	0.52	0.87	0.75	0.37	21.61	0.87	2.17	0.99	0.43	Tidak
24	494628.041	9090113.666	-5	5	0.0476	45.16	54.557	6.65	0.58	0.97	0.52	0.87	0.75	0.37	21.64	0.87	2.17	0.99	0.43	Tidak
25	494783.376	9090025.490	-5	5	0.0476	45.07	54.557	6.65	0.58	0.97	0.52	0.87	0.75	0.37	21.60	0.87	2.17	0.99	0.43	Tidak
26	493281.100	9090264.435	-6	6	0.05712	45.07	59.134	7.21	0.64	0.97	0.56	0.84	0.71	0.40	23.52	0.88	2.10	0.96	0.35	Tidak
27	493475.762	9090225.833	-6	6	0.05712	45.09	59.134	7.21	0.64	0.97	0.56	0.84	0.71	0.40	23.53	0.88	2.10	0.96	0.35	Tidak
28	494300.700	9090166.957	-6	6	0.05712	45.08	59.134	7.21	0.64	0.97	0.56	0.84	0.71	0.40	23.53	0.88	2.10	0.96	0.35	Tidak
29	494615.289	9090072.724	-6	6	0.05712	45.19	59.134	7.21	0.64	0.97	0.56	0.84	0.71	0.40	23.57	0.88	2.10	0.96	0.35	Tidak
30	494783.376	9089939.296	-6	6	0.05712	45.07	59.134	7.21	0.64	0.97	0.56	0.84	0.71	0.40	23.52	0.88	2.10	0.96	0.35	Tidak
31	493281.100	9090249.293	-7	7	0.06664	45.07	63.191	7.71	0.70	0.96	0.60	0.82	0.67	0.43	25.24	0.88	2.05	0.93	0.29	Tidak
32	493470.200	9090211.380	-7	7	0.06664	45.11	63.191	7.71	0.70	0.96	0.60	0.82	0.67	0.43	25.26	0.88	2.05	0.93	0.29	Tidak
33	494114.837	9090171.667	-7	7	0.06664	45.10	63.191	7.71	0.70	0.96	0.60	0.82	0.67	0.43	25.26	0.88	2.05	0.93	0.29	Tidak
34	494366.726	9090118.680	-7	7	0.06664	45.21	63.191	7.71	0.70	0.96	0.60	0.82	0.67	0.43	25.31	0.88	2.05	0.93	0.29	Tidak
35	494538.467	9090051.138	-7	7	0.06664	45.22	63.191	7.71	0.70	0.96	0.60	0.82	0.67	0.43	25.31	0.88	2.05	0.93	0.29	Tidak
36	494783.376	9089865.298	-7	7	0.06664	45.07	63.191	7.71	0.70	0.96	0.60	0.82	0.67	0.43	25.25	0.88	2.05	0.93	0.29	Tidak
37	493281.100	9090234.150	-8	8	0.07616	45.07	66.826	8.15	0.75	0.96	0.64	0.81	0.65	0.45	26.81	0.89	2.02	0.91	0.25	Tidak
38	493464.638	9090196.928	-8	8	0.07616	45.11	66.826	8.15	0.75	0.96	0.64	0.81	0.65	0.45	26.83	0.89	2.02	0.91	0.25	Tidak
39	494100.131	9090146.854	-8	8	0.07616	45.10	66.826	8.15	0.75	0.96	0.64	0.81	0.65	0.45	26.83	0.89	2.02	0.91	0.25	Tidak
40	494323.838	9090095.651	-8	8	0.07616	45.22	66.826	8.15	0.75	0.96	0.64	0.81	0.65	0.45	26.89	0.89	2.01	0.91	0.25	Tidak
41	494504.392	9090009.112	-8	8	0.07616	45.20	66.826	8.15	0.75	0.96	0.64	0.81	0.65	0.45	26.87	0.89	2.01	0.91	0.25	Tidak
42	494783.376	9089796.907	-8	8	0.07616	45.07	66.826	8.15	0.75	0.96	0.64	0.81	0.65	0.45	26.81	0.89	2.02	0.91	0.25	Tidak
43	493281.100	9090219.844	-9	9	0.08569	45.16	70.109	8.55	0.81	0.95	0.67	0.79	0.63	0.47	28.29	0.89	1.99	0.89	0.22	Tidak
44	494215.750	9090093.285	-9	9	0.08569	45.08	70.109	8.55	0.81	0.95	0.67	0.80	0.63	0.47	28.24	0.90	1.99	0.89	0.22	Tidak
45	494473.399	9089968.377	-9	9	0.08569	45.16	70.109	8.55	0.81	0.95	0.67	0.79	0.63	0.47	28.29	0.89	1.99	0.89	0.22	Tidak
46	494783.376	9089728.832	-9	9	0.08569	45.08	70.109	8.55	0.81	0.95	0.67	0.80	0.63	0.47	28.24	0.90	1.99	0.89	0.22	Tidak
47	493281.100	9090204.485	-10	10	0.09521	45.15	73.09	8.91	0.86	0.94	0.70	0.79	0.62	0.49	29.60	0.90	1.97	0.87	0.20	Tidak
48	494171.467	9090065.893	-10	10	0.09521	45.07	73.09	8.91	0.86	0.94	0.70	0.79	0.62	0.49	29.56	0.90	1.97	0.87	0.20	Tidak
49	494539.851	9089868.128	-10	10	0.09521	45.15	73.09	8.91	0.86	0.94	0.70	0.79	0.62	0.49	29.60	0.90	1.97	0.87	0.20	Tidak
50	494783.376	9089672.268	-10	10	0.09521	45.07	73.09	8.91	0.86	0.94	0.70	0.79	0.62	0.49	29.56	0.90	1.97	0.87	0.20	Tidak
51	493281.100	9090189.505	-11	11	0.10473	45.11	75.808	9.24	0.91	0.94	0.72	0.78	0.61	0.51	30.80	0.91	1.95	0.86	0.18	Tidak
52	493942.050	9090094.070	-11	11	0.10473	45.10	75.808	9.24	0.91	0.94	0.72	0.78	0.61	0.51	30.79	0.91	1.95	0.86	0.18	Tidak
53	494138.720	9090034.077	-11	11	0.10473	45.16	75.808	9.24	0.91	0.94	0.72	0.78	0.61	0.51	30.83	0.91	1.95	0.86	0.18	Tidak
54	494507.642	9089834.775	-11	11	0.10473	45.14	75.808	9.24	0.91	0.94	0.72	0.78	0.61	0.51	30.82	0.91	1.95	0.86	0.18	Tidak
55	494783.376	9089615.703	-11	11	0.10473	45.07	75.808	9.24	0.91	0.94	0.72	0.78	0.61	0.51	30.78	0.91	1.95	0.86	0.18	Tidak
56	493281.100	9090174.217	-12	12	0.11425	45.09	78.294	9.55	0.96	0.93	0.75	0.77	0.60	0.53	31.91	0.91	1.94	0.85	0.16	Tidak
57	493825.363	9090087.788	-12	12	0.11425	45.11	78.294	9.55	0.96	0.93	0.75	0.77	0.60	0.53	31.92	0.91	1.94	0.85	0.16	Tidak
58	494119.329	9089997.608	-12	12	0.11425	45.14	78.294	9.55	0.96	0.93	0.75	0.77	0.60	0.53	31.94	0.91	1.94	0.85	0.16	Tidak
59	494485.165	9089798.264	-12	12	0.11425	45.14	78.294	9.55	0.96	0.93	0.75	0.77	0.60	0.53	31.94	0.91	1.94	0.85	0.16	Tidak
60	494783.376	9089559.139	-12	12	0.11425	45.07	78.294	9.55	0.96	0.93	0.75	0.77	0.60	0.53	31.90	0.91	1.94	0.85	0.16	Tidak
61	493281.100	9090158.752	-13	13	0.12377	45.09	80.57													