



**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN DAN STUDI POTENSI ENERGI  
GELOMBANG LAUT DI PERAIRAN NATUNA**

**ANDINI ARI FITRIA WARDANI**

**NRP. 043 1 16 4000 0041**

**Dosen Pembimbing:**

**Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.**

**Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T.**

**Departemen Teknik Kelautan**

**Fakultas Teknologi Kelautan**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya**

**2021**



**FINAL PROJECT**

**PLANNING AND STUDY OF THE OCEAN WAVE  
ENERGY IN NATUNA SEA**

**ANDINI ARI FITRIA WARDANI**

**NRP. 043 1 16 4000 0041**

**Supervisors:**

**Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.**

**Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T.**

**Department of Ocean Engineering**

**Faculty of Marine Technology**

**Sepuluh Nopember Institute of Technology**

**Surabaya**

**2021**

# LEMBAR PENGESAHAN

## PERENCANAAN DAN STUDI POTENSI ENERGI GELOMBANG LAUT DI PERAIRAN NATUNA

### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana  
Teknik Pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan, Fakultas  
Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

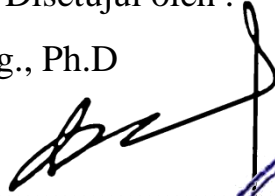
Oleh :

**Andini Ari Fitria Wardani**

**NRP. 043 1 16 4000 0041**

Disetujui oleh :

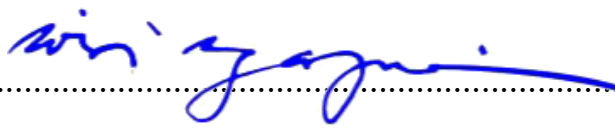
1. Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D (Pembimbing 1)



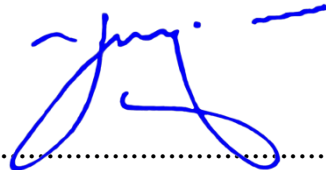
2. Dr.Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T (Pembimbing 2)



3. Prof. Ir. Widi Agoes Pratikto, M.Sc., Ph.D (Penguji 1)



4. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc (Penguji 2)



Surabaya, 2021

**PERENCANAAN DAN STUDI POTENSI ENERGI GELOMBANG LAUT  
DI PERAIRAN NATUNA**

**Nama Mahasiswa : Andini Ari Fitria Wardani**  
**NRP : 0431164000041**  
**Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.**  
**Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T.**

**ABSTRAK**

Gelombang laut merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang tidak menghasilkan emisi karbon sehingga ramah terhadap lingkungan. Energi gelombang laut sangat potensial di Indonesia, mengingat Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui penjaralan gelombang dan potensi energi gelombang laut di Natuna. Selain itu, dilakukan perencanaan teknologi gelombang laut untuk disalurkan ke masyarakat. Energi gelombang laut dapat dikonversikan dengan menggunakan sistem kolom air berisolasi. Sistem ini memiliki output energi listrik yang lebih stabil dan sesuai dengan wilayah perairan Indonesia. Penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data sekunder dari BMKG yang berupa data angin yang diolah menjadi data gelombang. Dimana arah datang angin dominan bertiup dari arah timur dan utara masing-masing yaitu 17,92% dan 17,78%.Dilanjutkan dengan perhitungan energi gelombang laut yaitu sebesar 1057.30 Joule. Berdasarkan referensi pada ISLAY LIMPET WAVE POWER PLANT , dimensi kolom dari PLTGL paling optimal dari 3 kolom yang dirancang adalah 4 meter, dengan keluaran daya sebesar 1.3 kW. Pembangunan 37 unit pembangkit tipe OWC di Pantai Tanjung Pasir dapat memberikan kontribusi sebesar 10% dari kebutuhan listrik Bandar Udara Rinai.

**Kata Kunci :** Energi Gelombang Laut, Potensi Daya, *Oscillating Water Column* (OWC)

**PLANNING AND STUDY OF THE OCEAN WAVE ENERGY IN NATUNA  
SEA**

**Author** : *Andini Ari Fitria Wardani*  
**Student Identity Number** : *0431164000041*  
**Supervisors** : *Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.*  
*Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T.*

**ABSTRACT**

*Ocean waves are a renewable energy source that does not produce carbon emissions, so they are friendly to the environment. Ocean wave energy is very potential in Indonesia, considering that Indonesia is the largest archipelagic country in the world. This research was conducted with the aim of knowing the wave propagation and the potential energy of ocean waves in Natuna. In addition, sea wave technology planning is carried out to be distributed to the community. Ocean wave energy can be converted using an iOscilating water column system. This system has a more stable electrical energy output and is in line with Indonesian waters. This research begins with the collection of secondary data from BMKG in the form of wind data which is processed into wave data. Where the direction of coming, the dominant wind blows from the east and north, respectively 17.92% and 17.78%. Followed by the calculation of sea wave energy, which is equal to 1057.30 Joules. Based on the reference on the ISLAY LIMPET WAVE POWER PLANT, the optimal column dimensions of the 3 columns designed are 4 meters, with a power output of 1.3 kW. The construction of 37 units of OWC type power plants on Tanjung Pasir Beach can contribute 10% of the electricity needs of Rinai Airport.*

**Key Word** : *Ocean Wave Energy, Power Potential, Oscillating Water Column (OWC)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukurkehadirat Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya,sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Perencanaan dan Studi Potensi Energi Gelombang Laut di Perairan Natuna”**. Tugas Akhir inidisusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Sarjana (S1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut TeknologiSepuluh Nopember.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh sebabitu, penulis mengharapkan kritik, saran, dan koreksi yang membangun sehinggamenjadikannya lebih baik. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaatbagi diri penulis sendiri dan pembaca, sehingga dapat turut serta memajukan ilmupengetahuan dan masyarakat.

Akhir kata, penulis sampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semuapihak yang turut membantu penulis, serta mohon maaf apabila ada kesalahan dan kekurangan penulis selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Februari 2021

Andini Ari Fitria Wardani

## UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam penyusunan dan penyelesaian tugas akhir ini, penulis mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Penulis sadar bahwa ucapan terimakasih diatas kertas ini merupakan bentuk penghargaan dan belum cukup untuk membalas jasa pihak yang telah membantu. Secara khusus, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada pihak – pihak berikut :

1. Prof Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D dan Dr. Eng. Shade Rahmawati selaku dosen
2. pembimbing yang telah membimbing, membantu, dan memberikan berbagai masukan kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Prof. Ir. Widi Agoes Pratikto, M.Sc., Ph.D., dan Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran untuk penyempurnaan Tugas Akhir ini.
4. Rekan-rekan angkatan Adhiwamastya, khususnya Silvy Mardatillah, Felita Widya, Herin Murji, Nadya Inestafya, Dony Kusuma, Gilang Surya, Iqbal Nurardhiansyah, dan Dimas Reza, yang selalu memberi semangat dan dukungan
5. Ayah dan ibu serta keluarga yang memberikan segala dukungan, penguat moral dan motivasi
6. Serta pihak pihak lain yang tidak bisa disebutkan satu-persatu yang telah berkontribusi dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

Semoga seluruh pihak yang telah membantu penulis mendapat ganjaran limpahan rezeki dan kasih sayang dari Allah Subhanahu Wa Ta`ala, Tuhan Yang Maha Esa.

Surabaya, 2021

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
ABSTRAK.....	ii
<i>ABSTRACT</i> .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
UCAPAN TERIMAKASIH .....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Manfaat .....	3
1.5. Batasan Masalah .....	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	5
2.1. TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.2. DASAR TEORI.....	7
2.2.1. Fetch .....	7
2.2.2. Gelombang Laut.....	7
2.2.3. Gelombang Acak.....	8
2.2.4. Energi Gelombang Laut .....	9
2.2.5. Kabupaten Natuna .....	13
2.2.6. Teknologi Konversi Energi Gelombang Laut .....	15
2.2.7. Teknologi Konversi Energi Gelombang Laut .....	16
2.2.8. Kelebihan dan Kekurangan Energi Gelombang Laut .....	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	21
3.1. Diagram Alir.....	21
3.2. Penjelasan Diagram Alir.....	21
3.2.1. Studi Literatur .....	21
3.2.2. Pencarian Data Oseanografi .....	22



1. Data Batimetri .....	22
2. Data Gelombang dan Data Angin .....	22
3.2.3. Perhitungan Penjalaran Gelombang .....	22
3.2.4. Perhitungan Potensi Energi .....	22
3.2.5. Perencanaan Pembangkit Listrik .....	23
<b>BAB IV ANALISIS DAN PERHITUNGAN .....</b>	<b>25</b>
4.1. Perhitungan Pembangkitan Gelombang oleh Angin .....	25
4.2. Perhitungan Panjang Fetch Efektif .....	28
4.3. Pembangkitan Gelombang Akibat Angin .....	31
4.4. Perhitungan Tinggi dan Periode Gelombang .....	32
4.5. Perhitungan Potensi Energi Gelombang Laut .....	35
4.6. Perencanaan Pembangkit Listrik .....	42
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>45</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>49</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Potensi Energi Laut di Indonesia .....	2
Gambar 2.1. Peta Potensi Energi Gelombang Laut di Kabupaten Sambas .....	6
Gambar 2.2. Besaran-besaran pada Gelombang Acak.....	9
Gambar 2.3. Penurunan Energi Gelombang .....	10
Gambar 2.4. Peta Kabupaten Natuna (sumber : KKP) .....	13
Gambar 2.5. Peta Administrasi Pemerintah Kabupaten Natuna .....	14
Gambar 2.6. Tabel Jumlah Penduduk dan Laju Pertumbuhan Penduduk.....	15
Gambar 2.7. <i>Oscillating water column</i> .....	16
Gambar 2.8. <i>Oscillating body converter</i> .....	18
Gambar 2.9. <i>Overtopping device</i> .....	18
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian .....	21
Gambar 4.1 Lokasi Penelitian.....	25
Gambar 4.2Peta Batimetri.....	25
Gambar 4. 3Diagram mawar angin .....	27
Gambar 4. 4Fetch pada Arah Timur .....	29
Gambar 4. 5Fetch pada Arah Utara .....	29

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data angin .....	26
Tabel 4.2 Distribusi frekuensi kejadian angin Natuna.....	26
Tabel 4.3 Perhitungan <i>Fecth Effective</i> arah Timur .....	30
Tabel 4.4 Perhitungan <i>Fecth Effective</i> arah Utara .....	31
Tabel 4.5 Perhitungan tinggi gelombang pada arah 90° .....	33
Tabel 4.6 Perhitungan tinggi gelombang pada arah 0° .....	33
Tabel 4.7 Perhitungan Hs pada arah 90° .....	34
Tabel 4.8 Perhitungan Hs pada arah 0° .....	34
Tabel 4.9 Perhitungan Periode gelombang .....	35
Tabel 4.10 Daya gelombang yang diperoleh .....	37
Tabel 4.11 Kecepatan aliran udara $v_1$ .....	38
Tabel 4.12 Lebar area permukaan air .....	38
Tabel 4.13 Kecepatan aliran udara $v_2$ .....	39
Tabel 4.14 Kapasitas aliran udara pada orifice .....	39
Tabel 4.15 <i>Massflow</i> pada turbin di dalam orifice.....	40
Tabel 4.16 Daya yang bekerja pada turbin .....	40
Tabel 4.17 Effisiensi dari masing-masing kolom .....	41
Tabel 4.18 Daya OWC.....	41
Tabel 4.19 Daya dari PLTGL .....	42

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang Masalah**

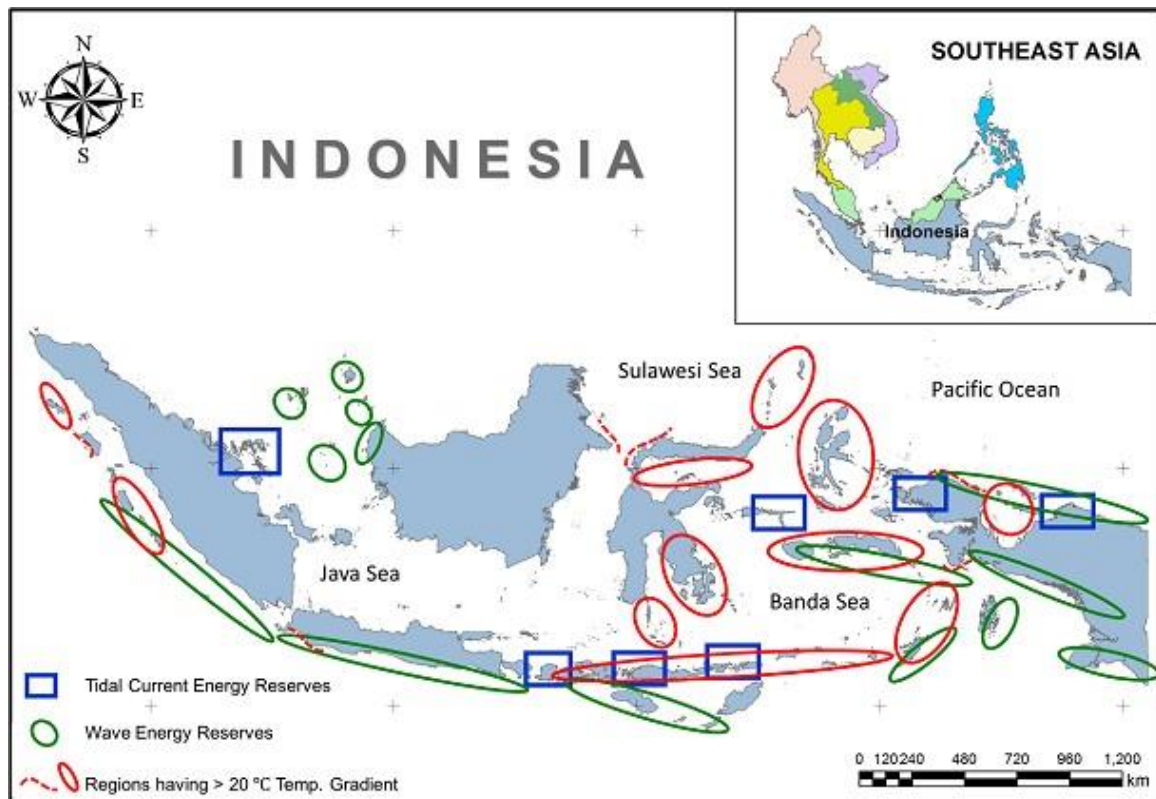
Kabupaten Natuna terletak di antara 1° 16' - 7° 19' Lintang Utara dan 105° 00' - 110° 00' Bujur Timur. Berdasarkan data dari KKP (Kementerian Kelautan dan Perikanan), Kabupaten Natuna memiliki luas laut yang mencapai 99% dari total luas wilayahnya. Selain itu Natuna juga memiliki potensi bahari yang sangat besar untuk dikembangkan.

Direktur Eksekutif Pusat Kajian Maritim untuk Kemanusiaan, Abdul Halim mengatakan bahwa Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia (WPNRI) 711 di Laut Natuna bagian utara adalah wilayah yang kaya dengan ikan tuna, cakalang, dan tongkol. Akan tetapi, persediaan ikan tersebut di wilayah perairan Vietnam dan China sudah menipis, sehingga membuat nelayan di Vietnam sekarang mencari ikan di laut Natuna. Sedangkan China tidak hanya mengincar sumber daya perikanan saja, namun China juga mengincar sumber daya minyak dan gas yang merupakan salah satu cadangan terbesar Indonesia di Laut Natuna Utara.

Dengan potensi sumber daya alam yang besar dan menjadi salah satu wilayah terluar dari Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI), Kabupaten Natuna dianggap memiliki potensi disintegrasi. Untuk itu Kabupaten Natuna memerlukan perhatian lebih dalam pengembangan keekonomian dan infrastruktur dengan peningkatan sumber energi listrik yang ada.

Berdasarkan hasil penelaahan berbagai laporan ilmiah yang dilakukan oleh Luhur, dkk. (2013), teridentifikasi sejumlah sumber energi dari laut yang potensial dapat dikembangkan untuk menopang kebutuhan energi listrik bagi masyarakat pesisir. Sumber energi tersebut adalah angin, arus laut, arus pasang surut, gelombang laut, perbedaan salinitas, perbedaan temperatur air laut di permukaan dan di dasar laut dan tumbuhan laut yang dapat dikonversi menjadi biofuel.

Indonesian Ocean Energy Association (INOCEAN) telah memetakan potensi energi gelombang laut di Indonesia seperti pada Gambar 1.1. Di Indonesia, potensi pembangkit listrik dari gelombang laut mencapai 510 GW dan potensi pembangkit listrik tenaga pasang surut mencapai 160 GW.



Gambar 1. 1 Potensi Energi Laut di Indonesia

(sumber : <http://kampusislami.com/energi-laut-dunia-islam/>)

Asosiasi Energi Laut Indonesia (ASELI) tahun 2012 menunjukkan bahwa tinggi gelombang pada musim timur di perairan sekitar Pulau Bangka, Kepulauan Natuna, dan bagian utara Kalimantan Barat mencapai 2-3 meter.

Menurut Azis (2014), energi gelombang laut merupakan energi terbarukan yang tidak menghasilkan emisi karbon sehingga ramah terhadap lingkungan. Perairan Natuna yang berbatasan langsung dengan bagian barat Kabupaten Sambas sangat potensial untuk pengembangan energi gelombang laut. Terdapat lima titik perairan yang dianalisa, diantaranya yaitu Kecamatan Paloh, Teluk Keramat, Jawai, Pemangkat, Selakau. Dari hasil perhitungannya, potensi energi untuk lima titik tersebut berturut-turut adalah 10,30 kW/m; 8,03 kW/m; 6,03 kW/m; 1,53 kW/m; dan 0,39 kW/m.

Dengan tinggi gelombang tersebut maka terdapat potensi pada gelombang laut di Perairan Natuna untuk dijadikan sebagai sumber pembangkit energi gelombang laut (PLTGL). Untuk itu perlu dilakukan studi lebih lanjut tentang potensi energi gelombang laut di Perairan Natuna.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Bagaimana penjalaran gelombang laut di Perairan Natuna?
2. Berapakah besar potensi energi gelombang laut di Perairan Natuna?
3. Bagaimana perencanaan teknologi gelombang laut untuk disalurkan ke Bandar Udara Ranai?

## **1.3. Tujuan**

Dalam perumusan masalah di atas, tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah untuk:

1. Mengetahui penjalaran gelombang laut di Perairan Natuna
2. Mengetahui besar potensi energi gelombang laut di Perairan Natuna
3. Membuat perencanaan teknologi gelombang laut untuk disalurkan ke Bandar Udara Ranai

## **1.4. Manfaat**

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penjalaran gelombang dan besar potensi energi gelombang laut di Perairan Natuna. Selain itu, diharapkan penelitian ini dapat menunjang kebutuhan dalam pengembangan energi gelombang laut.

## **1.5. Batasan Masalah**

Batasan Masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data yang dipakai adalah data sekunder dari BMKG
2. Data angin yang digunakan yaitu selama 2 tahun
3. Data gelombang yang digunakan adalah hasil konversi data angin di sekitar pulau Natuna.
4. Perhitungan potensi energi gelombang laut dilakukan pada tahap potensi teoritis
5. Faktor lingkungan diabaikan
6. Perencanaan teknologi dilakukan pada tahap konsep desain
7. Pengaruh sedimentasi diabaikan

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1. TINJAUAN PUSTAKA**

Berdasarkan analisis variasi dan karakteristik gelombang laut perairan Indonesia yang dilakukan oleh Asosiasi Energi Laut Indonesia (ASELI) tahun 2012 menunjukkan bahwa di sekitar wilayah perairan Kalimantan Barat (bagian utara), Natuna dan Pulau Bangka pada musim timur memiliki tinggi gelombang mencapai 2-3 meter. Analisis tersebut dilakukan berdasarkan gelombang reguler dengan hasil rata-rata bulanan pada kurun waktu 2005-2010.

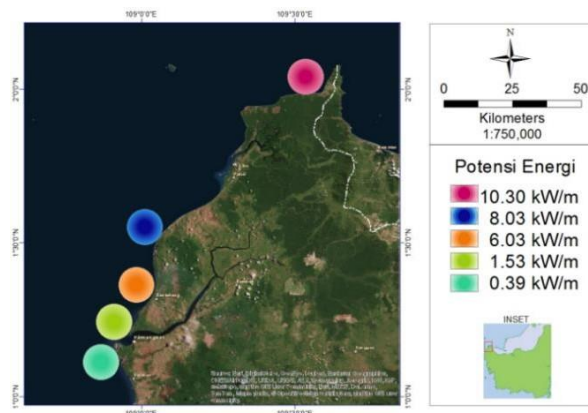
Pada tahun 2013, telah dilakukan penelitian tentang penjalaran dan transformasi gelombang di Pulau Subi Kecil, Kabupaten Natuna, Provinsi Kepulauan Riau oleh Ningsih dkk. Pengambilan data gelombang di lapangan dilakukan dengan menggunakan palem gelombang, *stopwatch*, dan *theodolite*. Pengambilan data tersebut dilaksanakan pada tanggal 04-07 Mei 2012 di Pulau Subi Kecil dengan menggunakan metode kuantitatif. Dari hasil pengukuran parameter gelombang didapatkan tinggi gelombang signifikan pada kedalaman 1.5 meter adalah 0.77 meter dan periode gelombang signifikan 3.47 detik. Transformasi gelombang di daerah utara Pulau Subi Kecil yang dominan terjadi antara perpaduan shoaling dan refraksi gelombang, menimbulkan konvergensi dan divergensi gelombang dari semua arah gelombang datang.

Disisi lain, untuk menghadapi krisis energi dan mendorong pengembangan dan pemanfaatan energi baru terbarukan, Luhur dkk. menggunakan data sekunder yang dikumpulkan selama bulan Maret-November 2012. Data tersebut dianalisis dengan pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Analisis data dilakukan dengan menggunakan metode analisis finansial dengan menghitung biaya produksi dan biaya pembangunan pembangkit listrik yang memanfaatkan energi laut. Dari hasil kajiannya menunjukkan bahwa jenis energi laut yang bernilai ekonomis adalah energi arus laut, energi gelombang laut, dan energi pasang surut dengan biaya berturut-turut sebesar Rp1.268/kWh, Rp1.709/kWh, dan Rp 2.048/kWh. Untuk energi panas laut menunjukkan biaya yang sangat besar, yaitu mencapai Rp. 4.030/kWh. Jika dibandingkan dengan biaya produksi dari listrik konvensional yang dihasilkan PT (Persero) PLN yang sebesar Rp. 1.163/kWh, maka



pengembangan energi laut disarankan fokus pada energi arus laut, energi gelombang laut, dan energi pasang surut.

Dalam penelitiannya tentang Pemetaan Potensi Energi Gelombang Laut di Kabupaten Sambas, Azis (2014) menyatakan energi gelombang laut merupakan energi terbarukan yang tidak menghasilkan emisi karbon sehingga ramah terhadap lingkungan. Perairan Natuna yang berbatasan langsung dengan bagian barat Kabupaten Sambas sangat potensial untuk pengembangan energi gelombang laut. Dalam penelitiannya, Azis menggunakan metode FFT (*Fast Fourier Transform*) dengan perangkat lunak Origin 7 untuk menganalisa data gelombang tahun 2011-2013. Analisa tersebut dilakukan untuk mendapatkan nilai tinggi gelombang signifikan dan periode puncak gelombang. Terdapat lima titik perairan yang dianalisa, diantaranya yaitu Kecamatan Paloh, Teluk Keramat, Jawai, Pemangkat, Selakau. Dari hasil perhitungannya, potensi energi untuk lima titik tersebut berturut-turut adalah 10,30 kW/m; 8,03 kW/m; 6,03 kW/m; 1,53 kW/m; dan 0,39 kW/m. Selanjutnya potensi energi tersebut dipetakan dengan menggunakan perangkat lunak ArcGIS dan hasilnya disajikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Peta Potensi Energi Gelombang Laut di Kabupaten Sambas  
(Azis, 2014)

Dengan karakteristik gelombang yang ada, energi gelombang laut dianggap sangat sesuai untuk memenuhi kebutuhan energi kota-kota pelabuhan dan pulau-pulau terpencil di Indonesia (EBTKE, 2016). Namun dengan potensi yang cukup besar, hingga saat ini pengembangan teknologi pemanfaatan energi gelombang laut di Indonesia belum optimal. Baik dari lembaga litbang (BPPT, PLN) maupun institusi pendidikan lain di Indonesia masih berada pada tahap penelitian dan belum ada pengaplikasian secara langsung.

## 2.2. DASAR TEORI

### 2.2.1. Fetch

Dalam tinjauan pembangkitan gelombang dilaut, fetch dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Didaerah pembentukan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin. Fetch rata-rata efektif diberikan oleh persamaan berikut (Triatmodjo, 1999) :

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i} \quad (2.1)$$

dengan keterangan

$F_{eff}$  : fetch efektif

$X_i$  : panjang garis fetch

$\alpha_i$  : deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan  $6^\circ$  sampai sudut sebesar  $42^\circ$  pada kedua sisi dari arah angin.

### 2.2.2. Gelombang Laut

Gelombang adalah pergerakan naik turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal (Dhanistha, 2017).

Berdasarkan pembangkitnya, gelombang laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam (Triatmodjo, 1999). Gelombang tersebut adalah gelombang angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi, gelombang tsunami terjadi karena letusan gunung berapi atau gempa di laut, gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak, dan sebagainya.

Penyebab utama terjadinya gelombang laut adalah angin. Dimana angin yang berhembus diatas permukaan laut mentransfer energinya ke perairan sehingga menimbulkan riak-riak kecil. Riak air tersebut akan terbentuk di atas gelombang yang sudah terbentuk sebelumnya dan gelombang tersebut akan berkembang semakin membesar ketika angin terus berhembus diatasnya. Semakin kencang hembusan angin diatas permukaan air laut maka gelombang yang ditimbulkan juga akan semakin besar. Proses ini terjadi secara kontinu dan pastinya terjadi perubahan panjang gelombang dan tinggi gelombang.

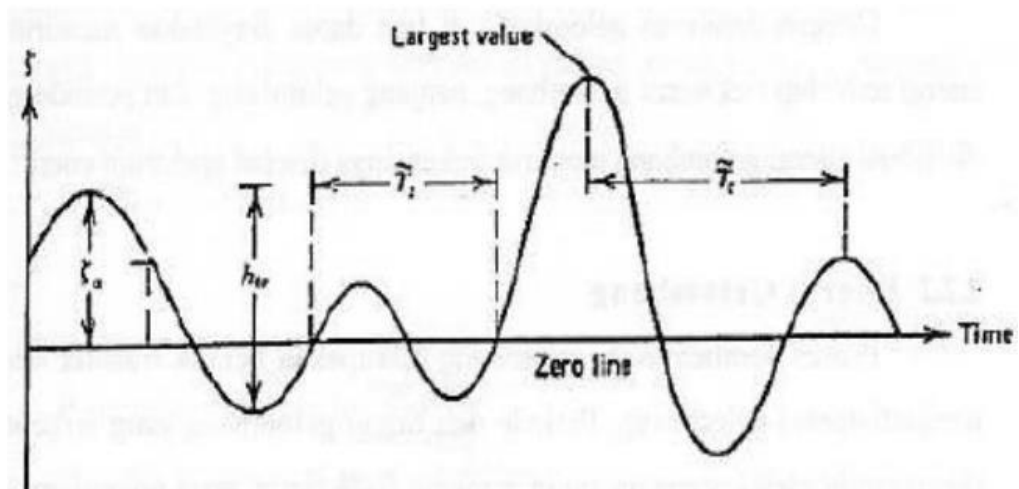
Pada dasarnya, gelombang laut berbentuk gelombang yang memiliki ketinggian puncak maksimum dan lembah minimum. Pada selang waktu tertentu, ketinggian puncak yang dicapai serangkaian gelombang laut berbeda-beda, bahkan untuk lokasi yang sama jika diukur pada hari yang berbeda ketinggian puncaknya pun akan berbeda-beda. Meskipun demikian secara statistik dapat ditentukan ketinggian signifikan gelombang laut pada satu titik lokasi tertentu (EBTKE, 2011).

### **2.2.3. Gelombang Acak**

Gelombang laut merupakan yang terbentuk dari superposisi banyak gelombang sinusoidal yang mempunyai panjang gelombang dan periode yang berbeda. Gelombang yang bergerak lebih lambat akan dilewati oleh gelombang yang lebih cepat, sehingga mengakibatkan terjadi gerakan gelombang yang saling mendahului. Gelombang yang tidak beraturan tersebut selanjutnya disebut sebagai gelombang acak.

Menurut Bhattacharya (1972), gelombang acak ditandai dengan :

1. Permukaan gelombang merupakan permukaan yang tidak beraturan, sangat kompleks dan sulit untuk digambarkan secara matematis karena ketidaklinierannya, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang acak, dimana suatu deret gelombang mempunyai tinggi dan periode yang berbeda.
2. Permukaan gelombang yang tidak beraturan selalu berubah dari waktu ke waktu dan bervariasi dari tempat ke tempat, tergantung dari kecepatan angin.



Gambar 2.2. Besaran-besaran pada Gelombang Acak (Bhattacharya, 1972)

Empat besaran yang mendefinisikan gelombang acak yang selalu berubah terhadap fungsi waktu yaitu (Gambar 2.3) :

1. Amplitudo gelombang ( $\zeta$ ) yang merupakan jarak vertikal dari permukaan air tenang rata-rata ke puncak atau lembah satu gelombang. Satuan dari amplitudo adalah meter (m).
2. Tinggi gelombang ( $H$ ) yang merupakan jarak vertikal dari lembah ke puncak gelombang berikutnya. Satuan dari tinggi gelombang adalah meter (m).
3. Periode puncak gelombang ( $T_p$ ) yang merupakan waktu antara dua puncak gelombang. Satuan dari periode puncak ini adalah detik (s).
4. Periode silang gelombang ( $T_z$ ) yang merupakan waktu antara dua titik berurutan dimana permukaan gelombang menyilang air tenang, baik pada saat permukaan gelombang naik turun. Satuan dari periode silang ini adalah detik(s).

#### 2.2.4. Energi Gelombang Laut

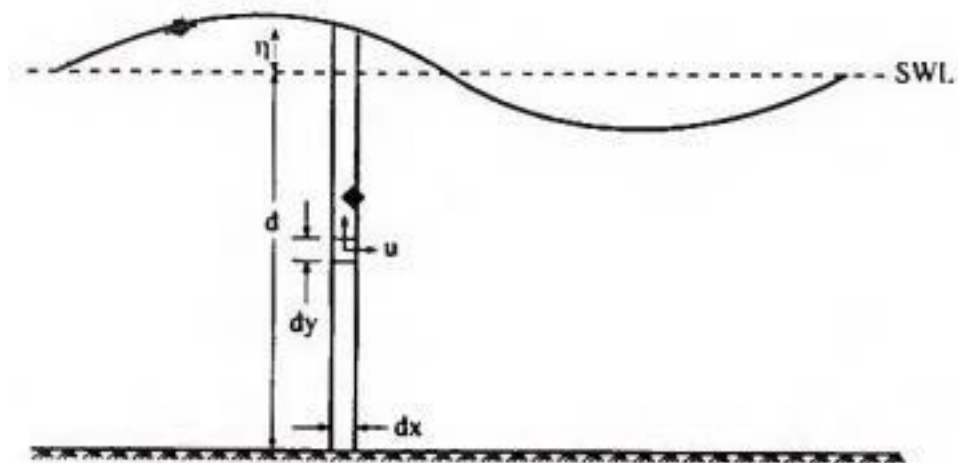
Energi gelombang laut adalah energi yang dihasilkan dari pergerakan gelombang laut menuju daratan dan sebaliknya. Bila waktu yang diperlukan untuk terjadi sebuah gelombang laut dihitung dari data jumlah gelombang laut yang teramati pada sebuah selang tertentu, maka dapat diketahui potensi energi gelombang laut di titik lokasi tersebut (EBTKE, 2011).

Energi gelombang laut dapat menghasilkan bentuk energi lain yang

bermanfaat bagi kehidupan manusia, yaitu energi listrik. Menurut Meisen (2009), energi gelombang laut memiliki beberapa keuntungan, yaitu:

1. Merupakan sumber energi terbarukan (renewable resources).
2. Mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.
3. Murah, karena gelombang laut terbentuk tanpa perlu dibangkitkan oleh manusia.
4. Ramah lingkungan, karena tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca dan polusi (padat dan cair).

Ketika angin yang berhembus di atas permukaan laut, interaksi antara udara dan laut memindahkan energi angin ke air, yang menyimpannya sebagai energi potensial (dalam massa air yang dipindahkan dari MSL) dan energi kinetik (dalam bentuk gerakan partikel air).



Gambar 2.3. Penurunan Energi Gelombang (Triatmodjo, 1999)

Untuk mengetahui daya yang terdapat pada gelombang, maka yang harus diketahui adalah energi gelombang yang tersedia. Energi gelombang total adalah jumlah dari energi kinetik dan energi potensial, didapat:

$$E_w = 0.195 w \rho g H^2 T^2 \quad (2.2)$$

$$E_{WD} = 12 \rho g a^2 \quad (2.3)$$

$$P_W = 0.195 w \rho g h^2 T \quad (2.4)$$

$$P_{WD} = 18 T \rho g h^2 \quad (2.5)$$

(Mc Cormick, Michael, 1981)

dimana :

$\rho$  = densitas air ( $\text{kg/m}^3$ ) 10

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

$E_w$  = energi total (J)

$P_w$  = daya (W)

g = gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

T = periode gelombang (sec)

H = tinggi gelombang (m)

Densitas air ( $\rho$ ) dan gravitasi konstan (g) sebesar  $1,025 \text{ kg/m}^3$  dan  $9,81 \text{ m/s}^2$ . Lebar gelombang (w) dapat dianggap sama dengan lebar kolom. Sehingga,  $E_w$ ,  $E_{wD}$ ,  $P_w$  dan  $P_{wD}$  dapat dengan mudah dihitung dengan menggunakan rumus diatas.

Untuk menghitung daya yang keluar dari OWC menggunakan rumus sebelumnya diperlukan parameter - parameter yang lain. Berikut beberapa tahapannya:

1. Mengitung panjang gelombang.

$$\lambda = \frac{g}{2\pi} T^2 \quad (2.6)$$

2. Menghitung frekuensi di dalam kolom

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.7)$$

3. Menghitung kecepatan sudut dari gelombang

$$\omega = 2\pi f \quad (2.8)$$

4. Menghitung kecepatan aliran udara sekitar kolom

$$v_1 = -\frac{\omega}{2} H \sin(\omega t) \quad (2.9)$$

5. Menghitung aliran udara pada orifice

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 \quad (2.10)$$

6. Menghitung debit udara

$$Q_1 = v_1 A_1 \quad (2.11)$$

$$Q_2 = v_2 A_2 \quad (2.12)$$

(Mc Cormick, Michael, 1981)

1. Menghitung daya yang dihasilkan

$$P = \frac{1}{2} \text{ massflow } V^2 \quad (2.13)$$

Dengan :  $\lambda$  = panjang gelombang (*m*)

$g$  = gaya gravitasi (*m/s<sup>2</sup>*)

$T$  = periode gelombang (*sec*)

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

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

$\omega_c$  = kecepatan sudut gelombang pada area kolom (*rad/s*)

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

$A_1$  = Area kolom OWC (*m<sup>2</sup>*)

$A_2$  = Area kolom orifice (*m<sup>2</sup>*)

$Q_1$  = debit air pada kolom OWC (*m<sup>3</sup>/sec*)

$Q_2$  = debit udara pada orifice (*m<sup>3</sup>/sec*)

$P$  = daya 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.

$$\eta_{OWC} = P_u / P_w \times 100\% \quad (2.14)$$

Untuk mengetahui daya listrik yang dibangkitkan maka dicari dulu efisiensi PLTGL, dari perkalian antara efisiensi turbin dan efisiensi generator. Efisiensi turbin yang digunakan, telah diketahui pada subbab 2.3 antara 0.85-0.9, diasumsikan 0.85 dan untuk efisiensi generator diasumsikan sebesar 90% atau 0.9. Untuk menghitung efisiensi PLTGL digunakan :

$$\eta_{PLTGL} = \eta_{OWC} \times \eta_{generator} \times \eta_{turbin} \quad (2.15)$$

Selanjutnya menghitung daya listrik yang dihasilkan.

$$P_g = P_w \times \eta_{LTGL} \quad (2.16)$$

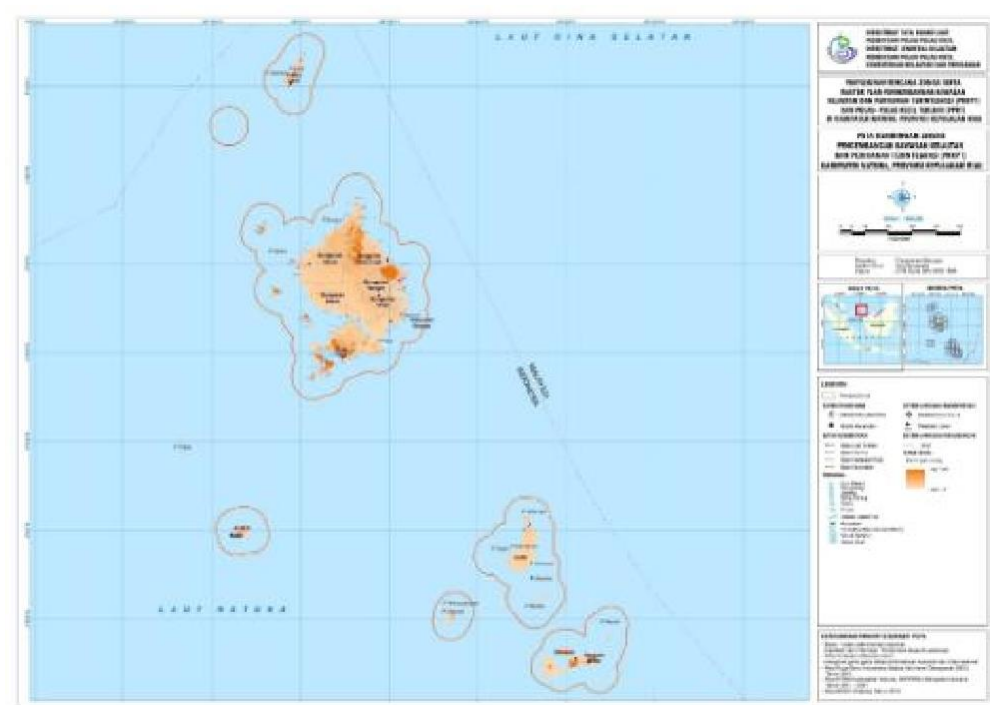
Dimana :

$P_g$  : daya generator (watt)

$P_w$  : daya yang dihasilkan ombak (watt)

### 2.2.5. Kabupaten Natuna

Kabupaten Natuna mempunyai luas wilayah daratan dan lautan mencapai 264.198,37 km<sup>2</sup> dengan luas daratan 2.001,30 km<sup>2</sup> dan lautan 262.197,07 km<sup>2</sup>. Secara administrasi pemerintahan Kabupaten Natuna terdiri dari 12 Kecamatan (Kecamatan Midai, Bunguran Barat, Bunguran Utara, Pulau Laut, Pulau Tiga, Bunguran Timur, Bunguran Timur Laut, Bunguran Tengah, Bunguran Selatan, Serasan, Subi dan Serasan Timur) . Jumlah pulau yang terdapat di Kabupaten Natuna sebanyak 154 pulau, dengan 127 pulau diantaranya belum berpenghuni.



Gambar 2.4. Peta Kabupaten Natuna (sumber : KKP)

Kabupaten Natuna terletak di antara 1° 16' - 7° 19' Lintang Utara dan 105° 00' - 110°00' Bujur Timur. Adapun batas wilayah Kabupaten Natuna, antaralain :

Sebelah Utara : Berbatasan dengan Vietnam dan Kamboja.

Sebelah Timur : Berbatasan dengan Malaysia Bagian Timur (Serawak) dan Kalimantan

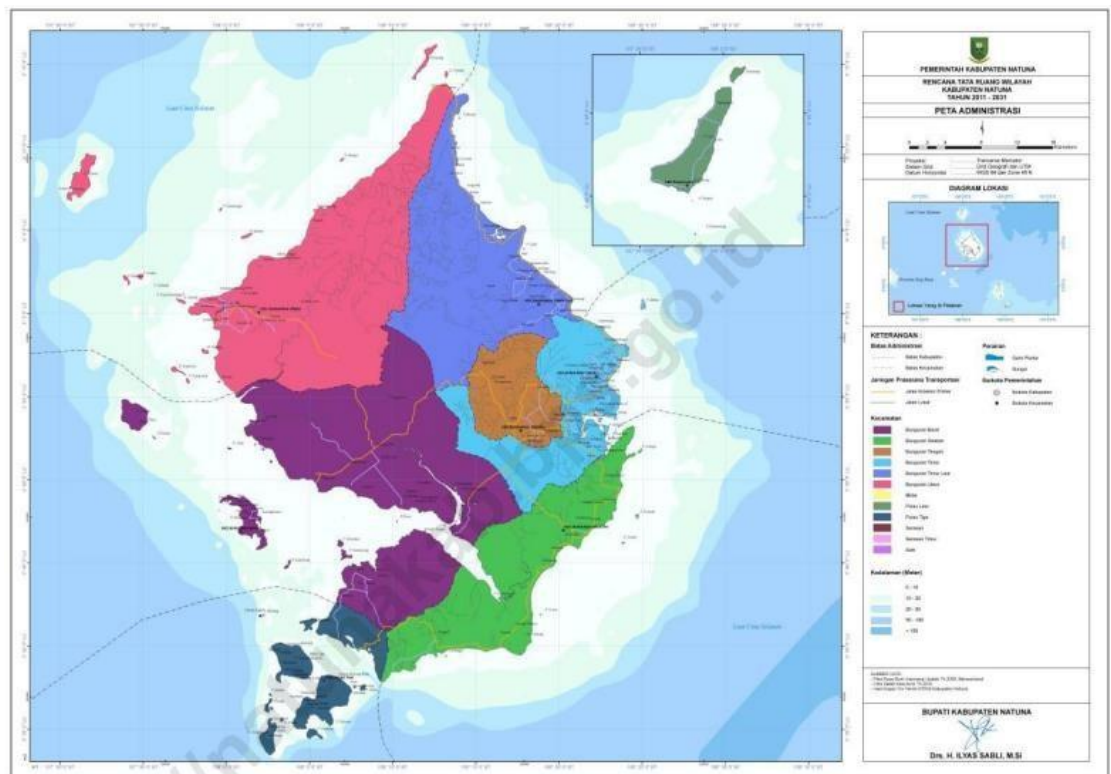
Sebelah Selatan : Berbatasan dengan Kabupaten Bintan.

Sebelah Barat : Berbatasan dengan Semenanjung Malaysia dan Kabupaten Kepulauan Anambas

Topografi di Pulau Bunguran umumnya berelief landai dan ada beberapa



tempat berelief terjal dengan ketinggian berkisar antara 0–550 m di atas permukaan laut (dpl). Wilayah bagian selatan umumnya merupakan daerah bertopografi landai dengan ketinggian berkisar antara 0-200 meter dpl. Sedangkan dibagian utara merupakan daerah perbukitan dengan ketinggian hingga 300 meter dpl. Pulau-pulau lain di sebelah Selatan Pulau Bunguran seperti Pulau Tiga, bentuk topografinya secara umum landai-sedang dengan ketinggian berkisar antara 0-200 m dpl, demikian juga pulau-pulau kecil lainnya. Hampir 10% dari wilayah Kecamatan Bunguran Timur dan Bunguran Barat merupakan dataran rendah dan landai terutama di pinggiran pantai, 65% berombak dan 25% berbukit sampai bergunung. Ketinggian dari permukaan laut beragam berkisar 3-959 m dpl dengan kemiringan antara 2-5 m.



Gambar 2.5. Peta Administrasi Pemerintah Kabupaten Natuna

Dari 15 kecamatan di Kabupaten Natuna, kecamatan yang penduduknya terbanyak dari tahun 2010 sampai 2017, yaitu Kecamatan Bunguran Timur. Pada tahun 2017 mencapai 27.639 jiwa, dengan persentase sebesar 36,28 %. Kecamatan Bunguran Timur merupakan pusat pemerintahan Kabupaten Natuna.

Kecamatan District	Jumlah Penduduk (Jiwa) Population (Person)			Laju Pertumbuhan Penduduk per Tahun Annual Population Growth Rate (%)	
	2010	2016*	2017*	2010-2016*	2016*-2017
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1. Midai	5 007	3 495	3 502	1,44	0,20
2. Suak Midai		1 584	1 588		0,25
3. Bunguran Barat		7 659	7 682		0,30
4. Bunguran Batubi	10 893	3 470	3 480	2,17	0,29
5. Bunguran Utara	3 817	3 979	4 001	4,24	0,55
6. Pulau Laut	2 169	2 496	2 542	15,08	1,84
7. Pulau Tiga		3 265	3 272		0,21
8. Pulau Tiga Barat	4 826	1 643	1 647	1,70	0,24
9. Bunguran Timur	22 800	27 019	27 639	18,50	2,29
10. Bunguran Timur Laut	4 306	4 423	4 440	2,72	0,38
11. Bunguran Tengah	2 834	2 999	3 022	5,82	0,77
12. Bunguran Selatan	2 537	2 579	2 586	1,66	0,27
13. Serasan	4 506	5 040	5 117	11,85	1,53
14. Subi	2 577	2 848	2 884	10,52	1,26
15. Serasan Timur	2 731	2 783	2 790	1,90	0,25
<b>Natuna</b>	<b>69 003</b>	<b>75 282</b>	<b>76 192</b>	<b>9,10</b>	<b>1,21</b>

Gambar 2.6. Tabel Jumlah Penduduk dan Laju Pertumbuhan Penduduk Menurut Kecamatan di Kabupaten Natuna, 2010, 2016, dan 2017

### 2.2.6. Teknologi Konversi Energi Gelombang Laut

Prinsip teknologi energi gelombang laut adalah dengan memanfaatkan energi kinetik dalam badan air laut untuk diubah menjadi energi listrik. Pengubahan energi tersebut dilakukan dengan cara penyerapan dan pengakumulasian energi gelombang dengan menggunakan mesin konversi energi gelombang. Sehingga mesin konversi tersebut mempunyai energi kinetik yang kemudian dialirkan ke turbin. Selanjutnya turbin akan mengalirkan energi kinetik tersebut dengan memutar rotor. Dari putaran rotor ini akan menghasilkan energi mekanik yang disalurkan ke generator. Di dalam generator inilah energi tersebut diubah menjadi energi listrik.

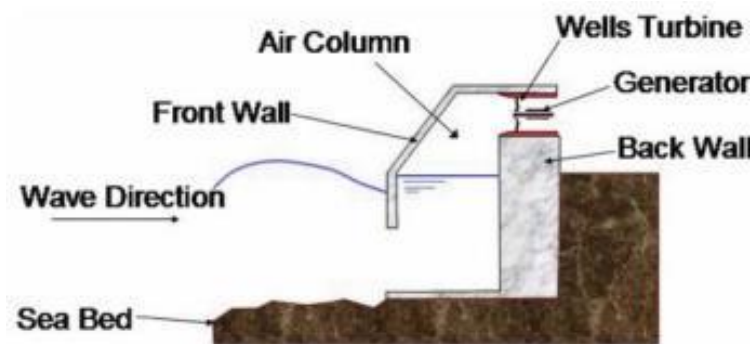
Berdasarkan cara pengoperasian alat konverter energi gelombang laut, menurut Mukhtasor (2014) terdapat beberapa contoh yaitu, *Submerged*

*pressure differential, Oscilating Wave Surge Converter (OWSC), Oscillating Water Column (OWC), dan Overtopping.*

## 2.2.7. Teknologi Konversi Energi Gelombang Laut

### 1. *Oscillating water coloumn* (OWC)

*Oscillating water coloumn* (OWC) adalah salah satu jenis *wave energy converter* yang memanfaatkan energi dari osilasi gelombang air laut di dalam sebuah terowongan yang disebabkan oleh gelombang air laut. OWC merupakan jenis *wave energy converter* dengan desain terowongan yang setengah terbenam sehingga terdapat sebuah rongga udara di dalam terowongan. Gelombang air laut memaksa rongga udara untuk bekerja seperti piston dengan bergerak naik dan turun. Udara yang mengalir disalurkan melalui *power take off* (PTO), PTO merupakan sebuah sistem yang mengubah aliran udara menjadi energi. Turbin yang digunakan adalah turbin dengan jenis *bi-directional*. Turbin jenis *bi-directional* (dua arah) merupakan turbin yang selalu berputar ke arah yang sama meskipun arah aliran udaranya berbeda.



Gambar 2.7. *Oscillating water column*

Sistem OWC ini lebih sederhana dibandingkan dengan teknologi mesin konversi jenis lain karena sistem ini hanya menggunakan komponen utama berupa:

#### a. Piston Hidrolik

Berfungsi menjaga keseimbangan generator agar kedudukannya tidak terpengaruh oleh laju ombak yang bergerak.

#### b. Turbin

Merupakan bagian *converter* yang merubah energi kinetik

gelombang laut menjadi energi mekanik.

c. Generator

Merupakan mesin listrik yang prinsip kerjanya berdasarkan prinsip elektromagnetik yang merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Adapun generator yang digunakan adalah generator 3 phasa dengan frekuensi 50-60 Hz dengan kapasitas daya yang dihasilkan adalah 2,25MW.

d. *Submarine Tower*

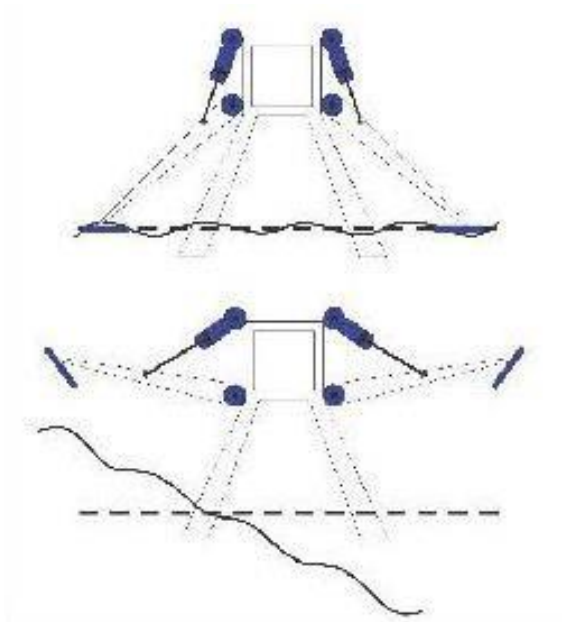
Merupakan menara pemantau yang mana di dalamnya terdapat jaringan interkoneksi dari generator menuju Gardu Induk atau kendali. Ruangannya memiliki fungsi sebagai mercusuar pengawas pelayaran kapal penyebrangan atau nelayan.

e. Pipa Kabel Bawah Tanah

Pipa kabel bawah tanah adalah satu komponen yang berfungsi melindungi sambungan interkoneksi dari Submarine Tower menuju Gardu Induk atau kendali agar tidak terjadi gangguan mekanis dan lebih efisien dalam penyaluran energi ke gardu induk.

2. *Oscillating body converter (OBC)*

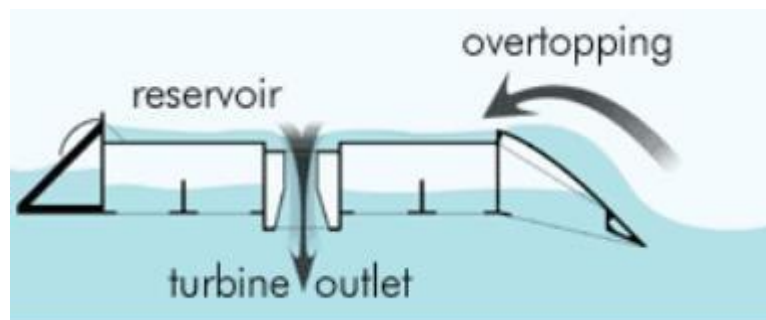
*Oscillating body converter (OBC)* adalah salah satu jenis *wave energy converter* yang memiliki desain terapung berbeda dengan OWC yang memiliki desain setengah terbenam. OWC memanfaatkan gelombang air laut untuk menggerakkan generator yang berada pada poros OWC. Seperti pada ilustrasi diatas, ketika gelombang air laut meningkat maka pelampung akan menyesuaikan ketinggian gelombang air laut. Hal ini kemudian dimanfaatkan dengan meletakkan generator pada poros pelampung OBC.



Gambar 2.8. *Oscillating body converter*

### 3. *Overtopping Device*

Jenis terakhir dari *wave energy converter* adalah jenis *overtopping device*. *Waves energy converter* jenis ini menangkap gelombang air laut yang melewati reservoir kemudian melepaskan air laut yang terperangkap ke dalam reservoir melalui turbin. Energi potensial yang dihasilkan oleh air laut kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator.



Gambar 2.9. *Overtopping device*

### **2.2.8. Kelebihan dan Kekurangan Energi Gelombang Laut**

Terdapat kelebihan dan kekurangan energi gelombang laut yang dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pemanfaatannya. Berikut ini kelebihan dan kekurangan energi gelombang laut menurut Mukhtasor (2014) :

#### **a. Kelebihan**

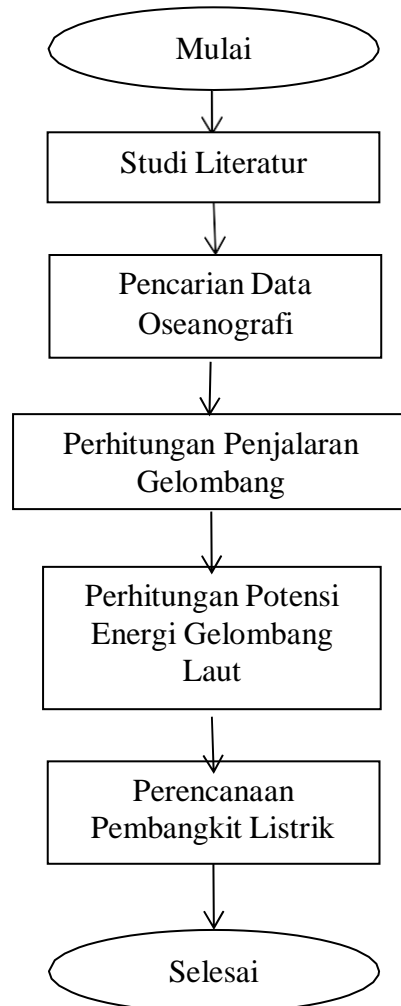
1. Potensi energi gelombang laut yang sangat melimpah.
2. Energi gelombang laut merupakan energi yang ramah lingkungan. Energi gelombang tidak mengeluarkan zat berbahaya terhadap lingkungan dan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca.
3. Energi gelombang laut termasuk kategori energi terbarukan.
4. Gelombang laut selalu ada sepanjang hari sehingga produksi listrik dapat diprediksi, direncanakan dan diatur.
5. Biaya operasi rendah.
6. Tidak ada dampak polusi di daerah sekitar apabila terjadi bencana alam, tidak seperti pembangkit listrik dari bahan bakar fosil (sebagai contohnya, kecelakaan tumpahan minyak yang mencemari daerah sekitar dan hal ini tidak akan terjadi pada energi gelombang laut).
7. Jeni salat teknologi energi gelombang laut bisa dipasang baik di permukaan laut maupun tenggelam sehingga gangguan pemandangan secara estetika dapat diminimalisasi.
8. Penangkapan energi gelombang laut oleh konverter mengakibatkan pengurangan benturan gelombang terhadap garis pantai, sehingga kerusakan dan erosi pantai dapat dikurangi.
9. Pembangkit listrik energi gelombang laut dapat dibangun dalam berbagai ukuran menyesuaikan kebutuhan dan biaya yang tersedia.
10. Energi gelombang laut lebih efisien dibanding dengan energi angin, karena densitas air yang lebih besar daripada angin.

#### **b. Kekurangan**

1. Biaya pemasangan alat energi gelombang laut, terutama di daerah lepas pantai, membutuhkan biaya yang tinggi. Biaya-biaya tersebut tinggi karena energi gelombang laut termasuk teknologi baru dan masih diperlukan banyak penelitian untuk membuatnya lebih efisien dan ekonomis.
2. Walaupun energi gelombang laut dibangun dengan upaya tidak terlihat, namun bagaimanapun hal itu dapat menjadi sebuah permasalahan bagi turis dan tidak mendapat persetujuan warga setempat akibat takut dari dampak negatif pada ekonomi lokal.
3. Kehidupan biota laut menjadi terganggu akibat adanya pembangunan atau operasi dari pembangkit listrik tenaga gelombang laut. Hal ini tidak dapat dihindari, namun masih bisa dikendalikan dan diminimalisasi.
4. Peralatan konverter energi gelombang laut rentan terkena gelombang laut yang besar, badai, dan korosi. Sehingga alat tersebut rentan mengalami kerusakan.
5. Laju perkembangan teknologi energi gelombang lebih rendah dibandingkan teknologi energi terbarukan lainnya. Hal ini berpengaruh terhadap biaya listrik yang akan dihasilkan nanti.
6. Sering kali pembangkit energi gelombang laut dibangun dari daerah yang jauh dari jaringan transmisi listrik dan dari konsumen listrik, sehingga penyambungan ke jaringan transmisi listrik masih menjadi permasalahan yang sulit dan membutuhkan biaya yang mahal.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Diagram Alir



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2. Penjelasan Diagram Alir

Langkah-langkah pengerjaan tugas akhir ini tertera pada Gambar 3.1 yang diuraikan sebagai berikut:

#### 3.2.1. Studi Literatur

Pada tahap awal pengerjaan tugas akhir ini dilakukan dengan pemahaman materi. Studi literatur meliputi pencarian referensi-referensi yang dapat digunakan untuk menunjang penelitian. Referensi tersebut diantaranya



adalah buku, jurnal ilmiah, maupun laporan tugas akhir terdahulu yang relevan dan dapat menunjang kebutuhan dalam penelitian.

### **3.2.2. Pencarian Data Oseanografi**

Pencarian data oseanografi dibutuhkan sebagai masukan dalam perhitungan penjalaran gelombang dan potensi energi gelombang laut. Data tersebut diperoleh dari beberapa sumber data. Adapun data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

#### **1. Data Batimetri**

Data batimetri dalam penelitian ini diperoleh dari GEBCO. GEBCO (*General Bathymetric Chart of the Ocean*) merupakan penyedia data set batimetri dengan skala global. Data batimetri yang disediakan oleh GEBCO memiliki resolusi 15 Arc-Second atau kurang lebih 463 m. Selain itu, data batimetri tersebut dapat didownload secara gratis.

#### **2. Data Gelombang dan Data Angin**

Data gelombang dan data angin merupakan data penting yang dibutuhkan sebagai masukan dalam melakukan perhitungan penjalaran gelombang dan perhitungan potensi energi gelombang laut. Data gelombang dan angin yang dipakai dalam penelitian ini diperoleh dari BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika).

### **3.2.3. Perhitungan Penjalaran Gelombang**

Setelah mendapatkan data angin dari BMKG dilakukan pengolahan data. Data angin diolah dengan bantuan WRPLOT untuk mengetahui arah angin dominan yang kemudian diolah untuk mendapatkan Hs dan Periode.

Setelah mengetahui besar potensi teoritis, maka dapat dilakukan identifikasi kesesuaian jenis teknologi untuk lokasi penelian di Perairan Natuna. Tahap ini merupakan tahapan terakhir sebelum menarik kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya

### **3.2.4. Perhitungan Potensi Energi**

Pada tahap ini, tinggi gelombang signifikan dan periode puncak gelombang yang didapatkan dari tahap sebelumnya digunakan untuk menghitung potensi energi yang dimiliki lokasi kajian. Sehingga pada tahap

ini dapat diketahui besar potensi teoritis energi gelombang laut di lokasi penelitian.

### **3.2.5. Perencanaan Pembangkit Listrik**

Setelah mengetahui besar potensi teoritis, maka dapat dilakukan perencanaan pembangkit listrik di Pulau Natuna. Perencanaan pembangkit listrik ini dimulai dengan pengumpulan data kebutuhan listrik masyarakat Natuna. Setelah pengumpulan data maka dilanjutkan dengan perencanaan jumlah teknologi yang akan dipasang, dimana harus disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi batimetri di lokasi penelitian. Sebagai tahap akhir dari perencanaan pembangkit listrik, maka dilakukan pembuatan peta perancangan. Setelah semua tahap telah selesai maka dapat dilakukan penarikan kesimpulan dan saran untuk penelitian serupa selanjutnya.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV

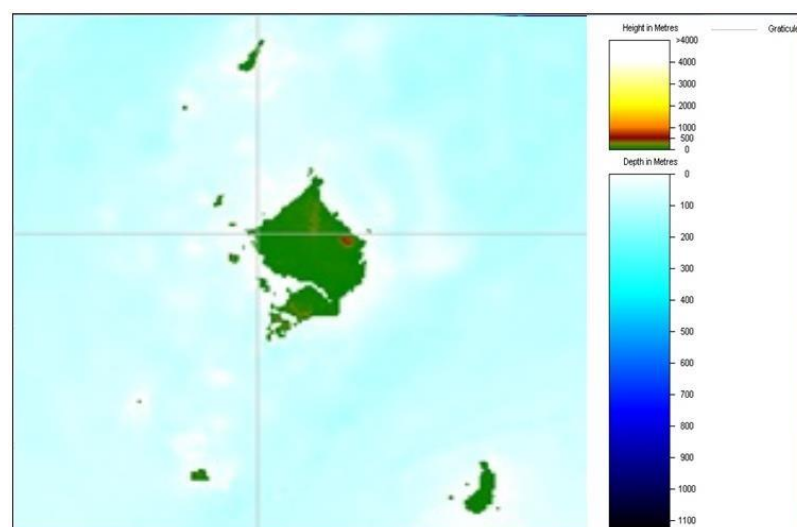
### ANALISIS DAN PERHITUNGAN

#### 4. 1. Perhitungan Pembangkitan Gelombang oleh Angin

Data angin yang telah dikumpulkan dari BMKG selama dua tahun tentunya sangat banyak. Data angin diambil di wilayah pantai Kecamatan Bunguran Timur (Gambar 4.1). Peta batimetri Natuna ditunjukkan pada Gambar 4.2. Kecamatan Bunguran Timur merupakan pusat pemerintahan Kabupaten Natuna dengan jumlah penduduk terbanyak di Natuna. Pada tahun 2019 mencapai 25.641 jiwa, sedangkan kepala keluarga berjumlah 8.040 jiwa.



Gambar 4.1 Lokasi Penelitian



Gambar 4.2 Peta Batimetri

Berdasarkan profil Kecamatan Bunguran timur (2019) kecepatan angin

maksimum 18-34 knot dengan rata-rata kecepatan sebesar 2 knot. Data angin diambil di Stasiun Meteorologi Ranai pada garis lintang 3.912 dan garis bujur 108.39. Berikut adalah data kecepatan angin rata-rata dan arah angin dominan tiap bulan :

Tabel 4.1 Data angin

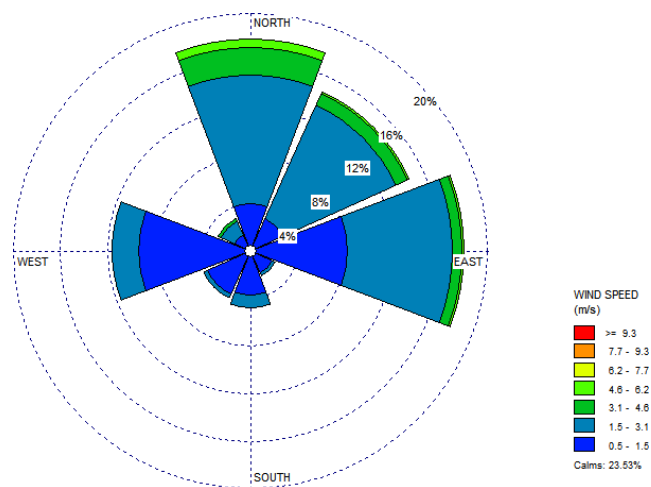
Bulan	v angin	Arah angin dominan
Jan	2.9	T
Feb	3.069	TL
Mar	2.233	TL
Apr	2.133	T
Mei	1.1	S
Jun	1.033	B
Jul	0.9667	U
Ags	1	BD
Sep	1	U
Okt	1.0667	BD
Nov	1.633	U
Des	3.6	T

Data angin selanjutnya diolah dan disajikan dalam bentuk tabel dan diagram mawar angin. Data angin yang digunakan yaitu dataa angin pada bulan September 2018 sampai dengan bulan agustus 2020 yang di ambil dari web BMKG. Untuk memudahkan pengolahan data dilakukan dengan bantuan WRPlot. Berikut ini disajikan persentase arah angin tiap range kecepatan tertentu (Tabel 4.1). Selain itu didapatkan pula diagram mawar angin yang menunjukkan arah datang angin dominan (Gambar 4.2).

Tabel 4.2 Distribusi frekuensi kejadian angin Natuna

No.	Directions / Wind Classes (m/s)	Directions / Wind							Total (%)
		0.5-1.5	1.5-3.1	3.1- 4.6	4.6- 6.2	6.2- 7.7	7.7- 9.3	>=9.3	
1	N	3.97	10.81	2.33	0.68	0.00	0.00	0.00	17.78
2	NE	3.01	10.40	1.09	0.14	0.00	0.00	0.00	14.64
3	E	8.21	8.76	0.82	0.14	0.00	0.00	0.00	17.92
4	SE	2.05	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.33
5	S	3.69	1.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.79
6	SW	3.97	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.38
7	W	9.44	2.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.63
8	NW	1.50	1.23	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	3.01
Sub-Total		35.84	35.16	4.51	0.96	0.00	0.00	0.00	76.47
Calms									23.53
Missing/ Incomplete									0
Total									100

Dari data angin Natuna dapat diambil kesimpulan bahwa secara keseluruhan angin dominan bertiup dari arah timur dan utara. Presentase terbesar angin bertiup dari arah timur yaitu 17,92%. Arah angin dominan kedua datang dari Utara, dengan presentase sebesar 17,78%. Sehingga dapat diestimasi bahwa angin yang berpeluang besar menimbulkan gelombang adalah angin dari arah timur dan arah Utara.



Gambar 4. 3Diagram mawar angin

Berdasarkan Gambar 4.2 didapatkan kecepatan angin yang paling

sering terjadi yaituantara 1.5-3.1 m/s. Kecepatan angin rata-rata yang terjadi selama 2 tahun di Pantai Kecamatan Buguran yaitu 1.41 m/s. Dengan kecepatan angin maksimum mencapai 6 m/s yang hanya terjadi beberapa kali dari arah Utara, Timut dan Timur Laut.

#### 4. 2. Perhitungan Panjang Fetch Efektif

Didalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut, fetch dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Di daerah pembentukan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah angin yang sama tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin.

Fetch dihitung dengan menggunakan 2 langkah , yaitu

1. Mengukur panjang fetch berdasarkan gambar peta lokasi yang ada dan menghitung panjang segmen fetch ( $X_i$  dalam km). (lihat lampiran)
2. Menghitung besarnya fetch efektif dengan rumus

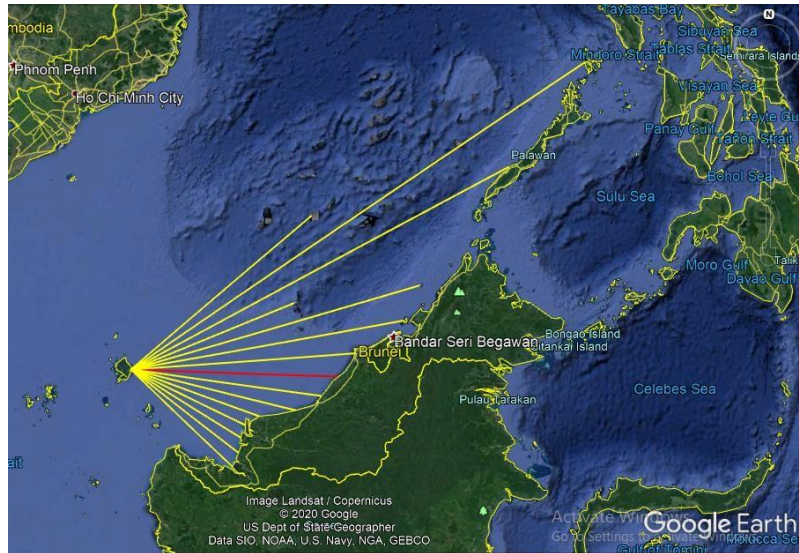
$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha_i}$$

Dengan keterangan

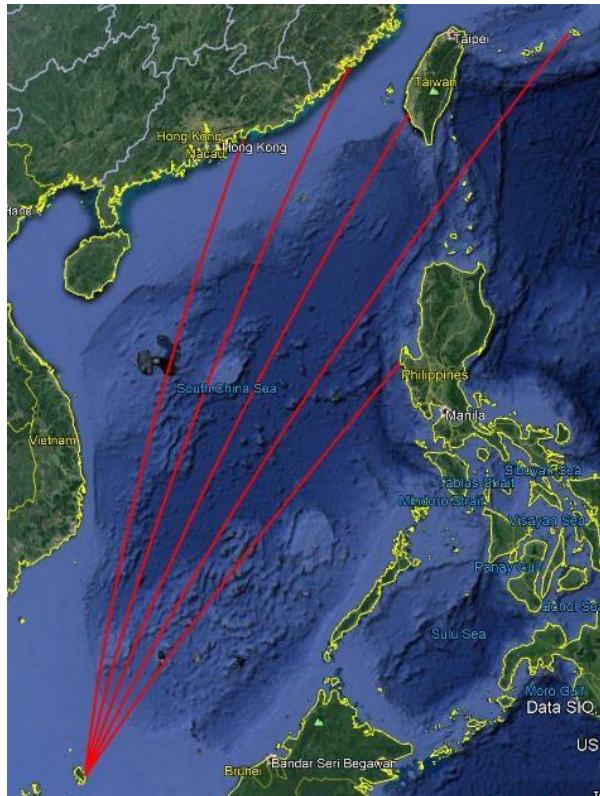
$F_{eff}$  : fetch efektif

$X_i$  : panjang garis fetch

$\alpha_i$  : deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan  $6^\circ$  sampai sudut sebesar  $42^\circ$  pada kedua sisi dari arah angin.



Gambar 4. 4Fetch pada Arah Timur



Gambar 4. 5Fetch pada Arah Utara

Arah angin yang berpengaruh terhadap fetch adalah arah angin dari arah Timur menuju Barat dan dari arah Utara menuju Selatan. Arah dari Timur dengan sudut dari  $90^\circ$  dan arah dari Utara dengan sudut  $0^\circ$ . Dari Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 dapat dilakukan perhitungan *Fetch Effective* ( $F_{eff}$ ).



Tabel 4.3 Perhitungan *Fecth Effective* arah Timur

a	cos a	X <sub>i</sub> (km)	X <sub>i</sub> cos a
42	0.74	656.68	488.01
36	0.81	1543	1248.31
30	0.87	1191.46	1031.83
24	0.91	488.45	446.22
18	0.95	833.57	792.77
12	0.98	767.9	751.12
6	0.99	624	620.58
0	1.00	576	576.00
6	0.99	533.7	530.78
12	0.98	471.4	461.10
18	0.95	378.6	360.07
24	0.91	151.3	138.22
30	0.87	357.29	309.42
36	0.81	376.76	304.81
42	0.74	387.24	287.78
$\Sigma$	13.51		<b>8347.02</b>
F <sub>eff</sub> = 617.80 km = <b>617798.04</b> m			

Berdasarkan perhitungan pada sudut 90° (Tabel 4.2) didapatkan F<sub>eff</sub> sebesar 617.80 km. Sedangkan pada perhitungan F<sub>eff</sub> dengan sudut 0° (Tabel 4.3) didapatkan 756.28 km. Panjang F<sub>eff</sub> pada arah dominan dari Utara lebih panjang daripada arah dominan dari Timur. Hal ini disebabkan pada arah Utara berhadapan dengan laut luas yang jauh dari pulau, sehingga menyebabkan panjang *fecth* lebih panjang dari pada dari arah Timur.

Tabel 4.4 Perhitungan *Fecth Effective* arah Utara

a	cos a	X <sub>i</sub> (km)	X <sub>i</sub> cos a
42	0.74	0.58	0.43
36	0.81	1.89	1.53
30	0.87	2.02	1.75
24	0.91	2.2	2.01
18	0.95	2.34	2.23
12	0.98	2.47	2.42
6	0.99	2.76	2.74
0	1.00	3	3.00
6	0.99	4.32	4.30
12	0.98	4.42	4.32
18	0.95	2170.78	2064.53
24	0.91	2502.54	2286.18
30	0.87	2449.78	2121.57
36	0.81	2925.27	2366.59
42	0.74	1822.5	1354.38
∑	13.51		<b>10217.99</b>
F <sub>eff</sub> =	756.28 km	=	<b>756276.56 m</b>

#### 4. 3. Pembangkitan Gelombang Akibat Angin

Data kecepatan angin biasanya diperoleh dari pengukuran angin di daratan, untuk itu diperlukan transformasi dari data angin di atas daratan menjadi data angin di atas permukaan laut. Untuk menentukan hubungan antara angin di atas laut dan angin di atas daratan dapat menggunakan Gambar 4.4 dan dihitung dengan persamaan :

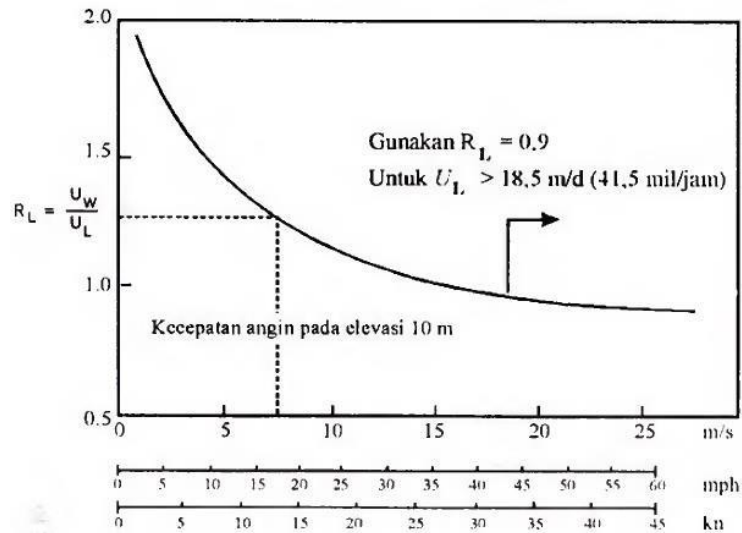
$$R_L = \frac{U_W}{U_L}$$

Dengan :

R<sub>L</sub> : hubungan U<sub>L</sub> dan U<sub>W</sub> (kecepatan angin di darat dan laut)

U<sub>W</sub> : kecepatan angin diatas permukaan laut (m/s)

U<sub>L</sub> : kecepatan angin diatas daratan (m/s)



Gambar 4.6 Hubungan antara kecepatan angin di laut dan di darat  
(*Shore Protection Manual*, 1984)

Setelah dilakukan konversi kecepatan angin seperti yang dijelaskan di atas, selanjutnya kecepatan angin tersebut dikonversikan pada faktor tegangan angin (*wind-stress factor*), dengan menggunakan persamaan berikut :

$$U_A = 0,71 \times U_W^{1,23}$$

Dengan :

$U_A$  : faktor tegangan angin

$U_W$  : kecepatan angin diatas permukaan laut (m/s)

#### 4. 4. Perhitungan Tinggi dan Periode Gelombang

Tinggi dan periode gelombang dihitung berdasarkan formula menurut (*Shore Protection Manual* 1984 vol.1)

$$H_0 = 5,112 \times 10^{-4} \times U_A \times F^{0,5}$$

$$H_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_1^2}$$

$$t = 3,2115 \times \left(\frac{F^2}{U_A}\right)^{1,3}$$

$$H_I = 1,42 \times H_{rms}$$

Dengan :

$H_0$  : tinggi gelombang laut dalam (m)

$t$  : durasi gelombang

$H_{rms}$  : H root mean square (m)

$H_s$  : tinggi gelombang signifikan (m)

$H_{avg}$  : tinggi gelombang laut dalam rata-rata (m)

$T_{avg}$  : periode gelombang laut dalam rata-rata (s)

Tabel 4.5 Perhitungan tinggi gelombang pada arah  $90^\circ$

UL	UL	Rt	RL	UW	UA	$90^\circ$	
knots	m / s			m / s	m / s	F eff ( m )	H0 ( m )
2	1.03	1.00	1.75	1.80	1.47	617798.04	0.59
3	1.55	1.00	1.52	2.35	2.03	617798.04	0.82
4	2.06	1.00	1.39	2.86	2.59	617798.04	1.04
5	2.58	1.00	1.28	3.30	3.08	617798.04	1.24
6	3.09	1.00	1.20	3.71	3.56	617798.04	1.43
9	4.64	1.00	1.13	5.24	5.44	617798.04	2.19

Perhitungan tinggi gelombang ditunjukkan pada Tabel 4.5 untuk arah Timur dan Tabel 4.6 untuk arah Utara. Pada arah datang gelombang dari timur (arah  $90^\circ$ ) tinggi gelombang minimum yaitu sebesar 0,59 m dan tinggi gelombang maksimum sebesar 2,19 m. Sedangkan pada arah datang gelombang dari utara (arah  $0^\circ$ ) tinggi gelombang minimum yaitu 0,65 m dan tinggi gelombang maksimum sebesar 2,42 m.

Tabel 4.6 Perhitungan tinggi gelombang pada arah  $0^\circ$

UL	UL	Rt	RL	UW	UA	$0^\circ$	
knots	m / s			m / s	m / s	F eff ( m )	H0 ( m )
2	1.03	1.00	1.75	1.80	1.47	756276.56	0.65
3	1.55	1.00	1.52	2.35	2.03		0.90
4	2.06	1.00	1.39	2.86	2.59		1.15
5	2.58	1.00	1.28	3.30	3.08		1.37
6	3.09	1.00	1.20	3.71	3.56		1.58
9	4.64	1.00	1.13	5.24	5.44		2.42

Setelah mendapatkan tinggi gelombang dilakukan perhitungan tinggi gelombang signifikan. Perhitungan tinggi gelombang signifikan dilakukan pada kedua arah. Pada arah Timur didapatkan  $H_s$  sebesar 1.56 m dan pada arah Utara didapatkan  $H_s$  sebesar 1.73 m. Perhitungan tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.7 dan arah Utara pada Tabel 4.8 berikut :

Tabel 4.7 Perhitungan  $H_s$  pada arah  $90^\circ$

<b>90</b>		$H_{0\ 1/3(m)}$	<b>= 1.42 x Hrms</b>
n	$n \times H_0^2 (m)$	Hrms	$H_{0\ 1/3(m)}$
262	283.65	1.10	<b>1.56</b>
257	393.30		
33	50.50		
7	14.31		
0	0.00		
172	822.49		
731	887.30		

Tabel 4.8 Perhitungan  $H_s$  pada arah  $0^\circ$

<b>0°</b>		$H_{0\ 1/3(m)}$	<b>= 1.42 x Hrms</b>
n	$n \times H_0^2 (m)$	Hrms	$H_{0\ 1/3(m)}$
262	347.22	1.22	<b>1.73</b>
257	481.46		
33	61.82		
7	17.52		
0	0.00		
172	1006.84		
731	1086.19		

Berdasarkan data gelombang laut signifikan dapat diketahui hasil hitungan periode gelombang datang pada masing-masing daerah. Untuk menghitung besar periode gelombang datang maka digunakan rumus yang disarankan oleh Kim Nielsen (1986), yaitu :

$$T = 3,55 \sqrt{H}$$

Dengan :

T : Periode (s)

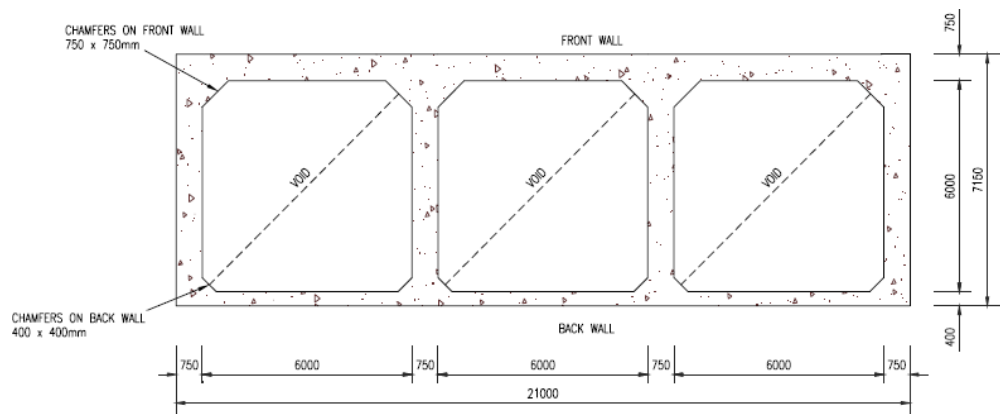
H : Tinggi Gelombang (m)

Tabel 4.9 Perhitungan Periode gelombang

Arah gelombang	Timur (90°)		Utara (0°)	
	Hmax	Hmin	Hmax	Hmin
H (m)	2,19	0,59	2,42	0,65
T (s)	5,25	2,73	5,54	2,86

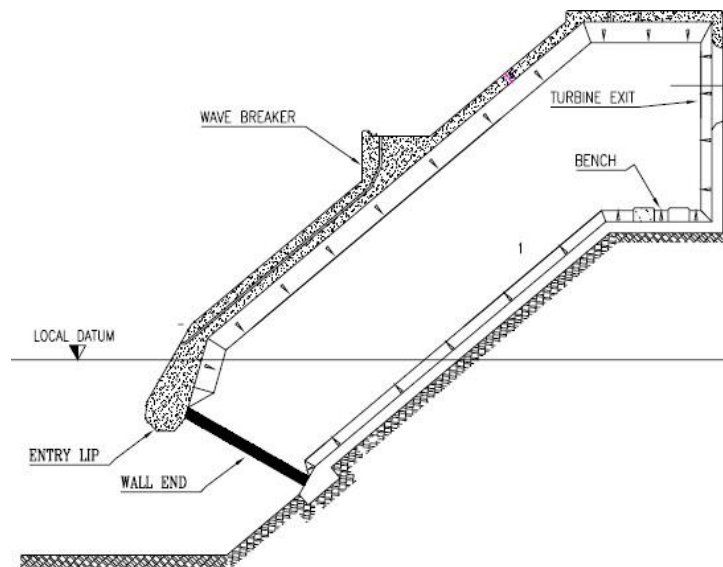
#### 4. 5. Perhitungan Potensi Energi Gelombang Laut

Berdasarkan referensi pada ISLAY LIMPET WAVE POWER PLANT (Gambar 4.7 dan 4.8), desain kolom yang digunakan memiliki 3 kolom. Lebar kolom divariasikan antara 2 meter, 3 meter, dan 4 meter.



Gambar 4.7 Penampang melintang kolom OWC

(LIMPET Publishable report, 2002)



Gambar 4.8 Penampang membujur dari kolom  
(LIMPET Publishable report, 2002)

Dari data gelombang di atas (Tabel 4.9) dapat diketahui energi gelombang yang masuk ke dalam kolom. Energi gelombang dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$E_w = 0.195 w \rho g H^2 T^2$$

Dimana :

w = lebar kolom(m)

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

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

H = tinggi gelombang (m)

T = Periode gelombang (s)

Sehingga diperoleh energi gelombang pada tiap kolomnya. Setelah mendapatkan energi gelombang pada tiap kolom, maka daya gelombang pada kolom OWC dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Power: P_w = \frac{E_w}{T}$$

Dimana :

P<sub>w</sub> = Daya gelombang pada kolom (kW)

E<sub>w</sub> = energi gelombang(J)

T = Periode gelombang (s)

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

Tabel 4.10 Daya gelombang yang diperoleh

Arah gelombang	Kondisi	Ew (J)			Pw (W)		
		w1	w2	w3	w1	w2	w3
Utara	max	704.87	1057.30	1409.74	127.23	190.85	254.46
	min	13.55	20.33	27.10	4.74	7.11	9.48
Timur	max	518.40	777.60	1036.80	98.74	148.11	197.49
	min	10.17	15.26	20.35	3.73	5.59	7.45

Dari Tabel 4.10, terlihat bahwa dengan tinggi gelombang (H) dan periode (T) yang sama namun dimensi kolom berbeda akan mengakibatkan turunnya daya gelombang pada kolom pembangkit. Turunnya daya gelombang diakibatkan oleh semakin kecilnya lebar kolom. Lebar kolom berfungsi sebagai kolektor gelombang laut. Semakin sempit kolektor maka gelombang yang ditangkap juga semakin kecil.

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

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

dimana

$$\omega = 2\pi f$$

dimana

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{5.54} = 0.18 \text{ Hz}$$

sehingga

$$\omega = 2\pi(0.18) = 1.13 \text{ rad/s}$$



Sehingga didapatkan  $v_1$  pada tinggi gelombang maksimum pada arah Utara yaitu 2.42 m :

$$v_1 = -\frac{1.13}{2} 2.42 \sin(1.13t) = -1.37 \sin(1.13t) m/s$$

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

Tabel 4.11 Kecepatan aliran udara  $v_1$

Arah gelombang	Kondisi	f (Hz)	$\omega$ (rad/s)	$\sin(\omega t)$	$-(\omega/2)h$	$v_1$
U	max	0.181	1.135	0.341	1.373	0.468
	min	0.350	2.198	0.318	0.714	0.227
T	max	0.190	1.197	-0.292	-1.311	0.383
	min	0.366	2.302	-0.398	-0.679	0.270

Setelah mengetahui kecepatan aliran udara (Tabel 4.11), maka dapat diketahui kecepatan aliran udara pada kolom orifice ( $v_2$ ) dengan rumus sebagai berikut :

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

Dengan kemiringan kolom sebesar  $60^\circ$  terhadap horizontal, maka perhitungan luas area kolom A1 dilakukan pada model pada autoCAD. Sehingga didapat luas area kolom (A1) pada OWC adalah sebagai berikut :

Tabel 4.12 Lebar area permukaan air

Luas Area Orifice $A_2$ (m <sup>2</sup> )	Luas permukaan air pada kolom OWC $A_1$ (m <sup>2</sup> )		
	Lebar kolom=2 m	Lebar kolom=3 m	Lebar kolom=4 m
1.32	13.92	21.07	28.23

Berdasarkan luasan area kolom di atas, maka didapatkan kapasitas dan kecepatan aliran udara yang melalui orifice. Berikut ini merupakan tabel yang menampilkan kecepatan udara ( $v_1$ ) berdasarkan waktu ( $t$ ).

Tabel 4.13 Kecepatan aliran udara  $v_2$

Arah gelombang	Kondisi	$v_1$ (m/s)	$v_2$		
			w1	w2	w3
Utara	max	0.468	4.936	7.472	10.011
	min	0.227	2.393	3.623	4.854
Timur	max	0.383	4.043	6.120	8.200
	min	0.270	2.850	4.314	5.780

Setelah menghitung daya pada kolom OWC kemudian diketahui kecepatan aliran udara dalam orifice berupa grafik persamaan sinusoidal. Kecepatan dalam orifice akan berubah arah dikarenakan naik dan turunnya permukaan air dalam kolom yang disebabkan oleh gelombang. Hal ini juga dipengaruhi oleh luas area pada kolom.

Semakin luas area permukaan air pada kolom, maka akan semakin besar volume udara yang terdorong keluar oleh permukaan air laut didalam kolom. Setelah mengetahui kecepatan aliran dan luas area, maka kapasitas aliran ( $Q$ ) dirumuskan sebagai berikut :

$$Q = v_2 A$$

Tabel 4.14 Kapasitas aliran udara pada orifice

$v_2$			$Q$ (m <sup>3</sup> /s)		
w1	w2	w3	w1	w2	w3
4.936	7.472	10.011	68.7	157.4	282.6
2.393	3.623	4.854	33.3	76.3	137.0
4.043	6.120	8.200	56.3	128.9	231.5
2.850	4.314	5.780	39.7	90.9	163.2

Setelah mengetahui kapasitas aliran pada masing-masing kolom pada tabel 4.14, maka dilakukan perhitungan *massflow* (aliran massa) pada turbin di dalam orifice. *Massflow* pada turbin dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$m = \rho Q$$

dimana

$\dot{m}$  = *massflow* (kg/s)

$\rho$  = massa jenis udara (1.22 kg/m<sup>3</sup>)

Q = kapasitas aliran udara pada orifice (m<sup>3</sup>/s)

Tabel 4.15 *Massflow* pada turbin di dalam orifice

Q			massflow (kg/s)		
w1	w2	w3	w1	w2	w3
68.712	157.429	282.603	83.829	192.063	344.776
33.316	76.331	137.024	40.645	93.124	167.169
56.282	128.950	231.480	68.664	157.319	282.405
39.675	90.901	163.178	48.404	110.899	199.077

Setelah melakukan perhitungan di dapatkan *massflow* pada turbin di dalam orifice yang ada di Tabel 4.15. Selanjutnya dapat dihitung daya yang dapat dihasilkan oleh turbin tersebut. Untuk menghitung Daya yang dihasilkan turbin dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{2} \dot{m} v^2$$

Tabel 4.16 Daya yang bekerja pada turbin

Arah gelombang	Kondisi	P		
		w1	w2	w3
U	max	1021.299	5361.101	17275.848
	min	116.415	611.095	1969.220
T	max	561.255	2946.197	9493.955
	min	196.611	1032.069	3325.783

Setelah mendapat daya turbin pada Tabel 4.16, maka dapat diketahui daya yang terbesar pada kolom dengan lebar 4m pada arah Utara kondisi gelombang maksimum dengan ketinggian gelombang 2.42 meter. Sehingga untuk mengetahui efisiensi dari OWC menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

Tabel 4.17 Efisiensi dari masing-masing kolom

Arah gelombang	Kondisi	$\eta_{OWC}$		
		w1	w2	w3
U	max	0.08%	0.28%	0.68%
	min	0.25%	0.86%	2.08%
T	max	0.06%	0.20%	0.48%
	min	0.53%	1.85%	4.46%

Setelah mendapat efisiensi dan daya yang bekerja pada turbin dari masing – masing kolom pada Tabel 4.17, maka dapat dihitung daya dari OWC dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$P_g = P_w \times \eta_{OWC}$$

Tabel 4.18 Daya OWC

Arah gelombang	Kondisi	$P_g$		
		w1	w2	w3
U	max	0.10	0.54	1.73
	min	0.01	0.06	0.20
T	max	0.06	0.29	0.95
	min	0.02	0.10	0.33

Setelah mendapatkan Daya OWC pada Tabel 4.16, selanjutnya listrik dari PLTGL tipe OWC dapat dihitung dengan menggunakan rumus efisiensi. Efisiensi turbin McCormick sebesar 0.85 - 0.9, dalam penelitian ini diambil 0.85. Untuk efisiensi generator nilainya diambil sebesar 0.9.

Sehingga daya keluaran dari turbin ( $P_{out}$ ) dapat dihitung dengan rumusan sebagai berikut :

$$P_{out} = P_{OWC} \times \eta_{turbin} \times \eta_{Generator}$$

Tabel 4.19 Daya dari PLTGL

Arah gelombang	Kondisi	$P_{out}$ (kW)		
		w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>	w <sub>3</sub>
U	max	0.08	0.41	1.3
	min	0.01	0.05	0.15
T	max	0.04	0.23	0.73
	min	0.02	0.08	0.25

Dari Tabel 4.19 diketahui keluaran daya terbesar yaitu pada saat kondisi tinggi gelombang maksimum pada arah utara. Daya keluaran dari PLTGL OWC ini yaitu sebesar 1.3 kW. Dengan daya keluaran terendah yaitu sebesar 0.01 kW pada kondisi tinggi gelombang minimum. Dari hasil perhitungan daya keluaran PLTGL ini dapat dilakukan perencanaan pembangkit listrik untuk disalurkan ke Bandar Udara Ranai.

#### 4. 6. Perencanaan Pembangkit Listrik

Berdasarkan data dari PLN (2019) sistem kelistrikan di Kabupaten Natuna berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) Ranai yang interkoneksi ke PLTD Pian Tengah. Daya yang terpasang pada PLTD sebesar 20.2 MW dan daya mampu sebesar 17.1 MW. Sementara beban puncak sebesar 11.8 MW, sehingga pasokan listrik di Natuna Surplus 5.2 MW.

Dalam upaya pengurangan penggunaan PLTD dalam sistem kelistrikan, PLN mendukung pembangkit bersumber dari Energi Baru Terbarukan (EBT) di Kabupaten Natuna. PLN merencanakan pembangunan pembangkit sebesar 4 MW dengan bahan bakar Bio Mass dan kayu dari pohon Kaliandra. Pembangunan pembangkit ini diharapkan dapat segera terealisasi di tahun 2021 ini.

Rencana pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang laut tipe OWC ini diletakkan berjajar di Pantai Tanjung Pasir dengan menghadap

ke arah Utara. Dari lokasi tersebut berjarak kurang lebih 50-100 m dari gardu listrik. Dari gardu tersebut listrik disalurkan ke Bandar Udara Natuna, Kabupaten Natuna seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9 berikut :



Gambar 4.9 Peta Perencanaan Penyaluran Energi Gelombang Laut ke Bandara Natuna

Kebutuhan listrik Bandara Natuna yaitu sebesar 486 kW (Piliang, 2017). Untuk itu dalam perencanaan ini dilakukan pembangunan 37 unit pembangkit tipe OWC di Pantai Tanjung Pasir, dengan jarak antar OWC sejauh 2 m. Daya yang dihasilkan dari ke 37 unit pembangkit yaitu sebesar 48.8 kW. Sehingga PLTGL ini dapat memberikan kontribusi sebesar 10% dari seluruh kebutuhan listrik Bandara Natuna.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dijelaskan dalam bab sebelumnya, maka dari penelitian ini dapat disimpulkan :

1. Arah datang angin dominan bertiup dari arah timur dan utara, dengan presentase terbesar angin bertiup dari arah timur yaitu 17,92% sedangkan dari arah Utara dengan prosentase 17,78%.
2. Besar potensi energi gelombang laut saat kondisi maksimum di perairan Natuna didapatkan sebesar 1409.74 Joule dengan arah menghadap ke Utara. Sedangkan dalam kondisi tinggi gelombang minimum pada arah timur yaitu sebesar 10.17 Joule
3. Dengan memerhatikan kebutuhan listrik Bandar Udara Natuna, dalam penelitian ini direncanakan pembangunan 37 unit pembangkit tipe OWC di Pantai Tanjung Pasir. Dengan perencanaan ini maka PLTGL dapat memberikan kontribusi sebesar 10%.

#### **5.2. Saran**

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

1. Perlu dilakukan pembaharuan data yang lebih akurat (misalnya, menggunakan data primer) dan pemilihan lokasi yang memiliki tinggi gelombang yang lebih besar sehingga energi gelombang laut yang dihasilkan juga lebih besar.
2. Perlu dilakukan penelitian potensi energi baru dan terbarukan lainnya agar mendapatkan hasil yang lebih optimal.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait pengaruh tata letak terhadap perubahan garis pantai dengan melakukan pemodelan dengan menggunakan software yang mendukung.



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

- Azis, M. F., 2014. *Pemetaan Potensi Energi Gelombang Laut di Kabupaten Sambas*. Tugas Akhir. Surabaya: Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Bhattacharya, R., 1972. *Dynamic of Marine Vehicles*. New York : John Wiley & Sons.
- BPPT, 2016. *Outlook Energi Indonesia*. Jakarta : Pusat Teknologi Sumber Daya Energi dan Industri Kimia (PTSEIK).
- CERC, 1984. *Shore Protection Manual*. Washington: US Army Coastal Engineering Research Center.
- Dhanista, W. L., 2017. *Gelombang Laut*. Available : <https://www.its.ac.id/tkelautan/gelombang-laut/>. diakses 24-02-2020
- Dirjen EBTKE, 2011. *Pengembangan Energi Arus Laut*. Available : <http://ebtke.esdm.go.id/post/2011/04/25/138/pengembangan.energi.arus.laut>. diakses 23-02-2020
- Dirjen EBTKE, 2016. *Potensi Energi Laut Indonesia Menjanjikan*. Available : <http://ebtke.esdm.go.id/post/2016/04/14/1188/potensi.energi.laut.indonesia.menjanjikan>. diakses 01-03-2020
- Djarmiko, E. B., 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di atas Gelombang Acak*. Surabaya : ITS Press.
- Eko, W. P., 2019. *Seluruh Desa di Natuna Dapat Pasokan Listrik PLN*. Available : [m.liputan6.com](http://m.liputan6.com). Diakses 2-02-2021
- Fatkhurrozi, M., 2015. *Energi Laut Dunia Islam*. Available : <http://kampusislami.com/energi-laut-dunia-islam/>. diakses 23-02-2020
- ISLAY LIMPET Wave Power Plant, 2002, "Publishable Report", Queen University of Belfast.
- Juana, A. S., 2018. *Profil Kecamatan Bunguran Timur*. Ranai Kementrian Kelautan dan Perikanan. SKPT Natuna. Availabel : <https://kkp.go.id/SKPT/Natuna/page/1181-skpt-natuna>. diakses 23-02-2020
- Luhur, E. S., Muhartono, R., Suryawati, S. H., 2013. *Analisis Finansial Pengembangan Energi Laut di Indonesia*. Balai Besar Penelitian Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan. J. Sosek KP Vol. 8 (1) : 25-37
- McCormick, M.E., Johnson D., Hebron, R., Hoyt, J., 1981, "Wave Energy Conversion",

- Boston : Jhon Wiley Sons Inc.
- Meisen, P., 2009. *Energy Technologies for Renewable Energy Generation*. Global Energy Network Institute.
- Mukhtasor, 2014. *Mengenal Energi Laut*. Surabaya : Indonesian Counterpart for Energy and Environmental Solutions (ICEES).
- Nielsen, Kim. 1986. On the Performance of Wave Power Converter. Int. Sym. Util. of Ocean Waves, Jun-86.
- Ningsih, I. S., Sugiyanto, D. N., Prasetyo, F. B., 2013. Analisis Penjalaran dan Transformasi Gelombang di Pulau Suni Kecil Kabupaten Natuna Provinsi Kepulauan Riau. *Jurnal Oseanografi*. Volume 2 (2) : 179-188
- P3GL, ESDM, B. & ASELI, 2014. Peta Potensi Energi Laut. s.l.: s.n.
- Persson, A., 2001. *User Guide to ECMWF Forecast Products*.
- Piliang, N. F., 2017. PLN Pasok Listrik di Bandara Natuna. Available : <https://www.riaumandiri.co/read/detail/50365/pln-pasok-listrik-di-bandara-natuna.html>. diakses : 01-03-2021
- Ross, David. 1980. *Energy from the Waves*. 2nd Edition Revised & Enlarged, Pergamon Press
- Saepuloh. D., 2013. *Laut Natuna*. Available : <https://pusriskel.litbang.kkp.go.id/index.php/en/data/batimetri/laut-natuna>. diakses 10-03-2020
- Triatmodjo, B., 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta

## LAMPIRAN

Lampiran Tabel data angin (sumber : BMKG Stasiun Meteorologi Ranai)

Date	Month	Year	Time (WIB)	WinDir (TN)		WinSpd (Knot)
1	9	2018	0	180	N	0
2	9	2018	0	0	N	0
3	9	2018	0	270	N	1.944
4	9	2018	0	0	N	0
5	9	2018	0	340	N	1.944
6	9	2018	0	240	N	0
7	9	2018	0	190	N	0
8	9	2018	0	200	N	0
9	9	2018	0	160	N	0
10	9	2018	0	90	N	0
11	9	2018	0	160	N	0
12	9	2018	0	170	N	0
13	9	2018	0	190	N	0
14	9	2018	0	190	S	1.944
15	9	2018	0	220	N	1.944
16	9	2018	0	190	N	1.944
17	9	2018	0	170	N	0
18	9	2018	0	280	W	1.944
19	9	2018	0	310	N	1.944
20	9	2018	0	340	N	0
21	9	2018	0	310	N	0
22	9	2018	0	210	N	0
23	9	2018	0	40	N	1.944
24	9	2018	0	280	N	1.944
25	9	2018	0	310	N	0
26	9	2018	0	300	N	0

27	9	2018	0	160	N	0
28	9	2018	0	120	N	0
29	9	2018	0	0	N	0
30	9	2018	0	230	N	0
1	10	2018	0	280	N	1.944
2	10	2018	0	280	N	1.944
3	10	2018	0	330	N	1.944
4	10	2018	0	290	N	0
5	10	2018	0	270	E	1.944
6	10	2018	0	50	N	3.888
7	10	2018	0	90	N	1.944
8	10	2018	0	360	N	0
9	10	2018	0	30	N	1.944
10	10	2018	0	350	N	1.944
11	10	2018	0	50	N	1.944
12	10	2018	0	0	N	1.944
13	10	2018	0	70	N	1.944
14	10	2018	0	270	N	0
15	10	2018	0	110	N	0
16	10	2018	0	40	N	1.944
17	10	2018	0	0	N	0
18	10	2018	0	10	N	0
19	10	2018	0	360	N	0
20	10	2018	0	160	N	0
21	10	2018	0	90	N	1.944
22	10	2018	0	10	N	1.944
23	10	2018	0	100	N	0
24	10	2018	0	220	N	1.944
25	10	2018	0	10	N	0
26	10	2018	0	30	N	1.944
27	10	2018	0	40	NE	3.888

28	10	2018	0	320	N	0
29	10	2018	0	40	N	1.944
30	10	2018	0	10	N	3.888
31	10	2018	0	350	N	3.888
1	11	2018	0	310	N	0
2	11	2018	0	90	N	0
3	11	2018	0	240	N	0
4	11	2018	0	100	N	1.944
5	11	2018	0	100	N	0
6	11	2018	0	360	N	0
7	11	2018	0	160	N	0
8	11	2018	0	90	N	1.944
9	11	2018	0	30	N	3.888
10	11	2018	0	360	N	1.944
11	11	2018	0	90	E	1.944
12	11	2018	0	320	N	0
13	11	2018	0	90	N	0
14	11	2018	0	300	N	0
15	11	2018	0	10	N	0
16	11	2018	0	280	N	0
17	11	2018	0	180	N	0
18	11	2018	0	90	N	0
19	11	2018	0	340	N	0
20	11	2018	0	280	N	1.944
21	11	2018	0	30	N	1.944
22	11	2018	0	40	N	1.944
23	11	2018	0	30	N	0
24	11	2018	0	30	N	0
25	11	2018	0	150	N	0
26	11	2018	0	10	N	0
27	11	2018	0	80	N	1.944

28	11	2018	0	30	NE	3.888
29	11	2018	0	90	N	1.944
30	11	2018	0	60	N	3.888
1	12	2018	0	30	N	1.944
2	12	2018	0	80	E	1.944
3	12	2018	0	50	N	0
4	12	2018	0	90	N	0
5	12	2018	0	90	N	1.944
6	12	2018	0	0	N	0
7	12	2018	0	20	N	0
8	12	2018	0	360	N	1.944
9	12	2018	0	30	N	0
10	12	2018	0	20	N	3.888
11	12	2018	0	270	N	1.944
12	12	2018	0	100	N	1.944
13	12	2018	0	30	N	3.888
14	12	2018	0	30	NE	3.888
15	12	2018	0	80	N	0
16	12	2018	0	20	C	0
17	12	2018	0	280	C	0
18	12	2018	0	70	C	1.944
19	12	2018	0	270	C	0
20	12	2018	0	89	C	1.944
21	12	2018	0	10	N	3.888
22	12	2018	0	350	N	1.944
23	12	2018	0	360	C	0
24	12	2018	0	290	C	0
25	12	2018	0	210	C	0
26	12	2018	0	270	W	1.944
27	12	2018	0	100	C	0
28	12	2018	0	360	N	1.944

29	12	2018	0	340	C	0
30	12	2018	0	360	N	3.888
31	12	2018	0	330	NW	7.776
1	1	2019	0	320	NW	7.776
2	1	2019	0	250	W	3.888
3	1	2019	0	0	S	1.944
4	1	2019	0	80	E	5.832
5	1	2019	0	90	E	3.888
6	1	2019	0	80	NE	5.832
7	1	2019	0	50	E	3.888
8	1	2019	0	40	NE	3.888
9	1	2019	0	30	N	3.888
10	1	2019	0	80	E	3.888
11	1	2019	0	20	N	3.888
12	1	2019	0	20	N	3.888
13	1	2019	0	10	N	5.832
14	1	2019	0	10	N	5.832
15	1	2019	0	340	N	3.888
16	1	2019	0	360	N	3.888
17	1	2019	0	90	E	7.776
18	1	2019	0	30	N	7.776
19	1	2019	0	90	N	5.832
20	1	2019	0	20	N	5.832
21	1	2019	0	360	N	5.832
22	1	2019	0	10	N	5.832
23	1	2019	0	10	N	7.776
24	1	2019	0	360	N	5.832
25	1	2019	0	350	N	7.776
26	1	2019	0	10	N	7.776
27	1	2019	0	30	N	5.832
28	1	2019	0	360	N	5.832



29	1	2019	0	10	N	5.832
30	1	2019	0	10	N	5.832
31	1	2019	0	90	N	3.888
1	2	2019	0	40	N	5.832
2	2	2019	0	20	N	5.832
3	2	2019	0	30	N	3.888
4	2	2019	0	10	N	5.832
5	2	2019	0	10	N	3.888
6	2	2019	0	20	C	1.944
7	2	2019	0	350	N	3.888
8	2	2019	0	50	N	3.888
9	2	2019	0	20	N	3.888
10	2	2019	0	30	N	3.888
11	2	2019	0	10	N	5.832
12	2	2019	0	20	E	5.832
13	2	2019	0	80	E	7.776
14	2	2019	0	40	NE	5.832
15	2	2019	0	40	N	5.832
16	2	2019	0	40	NE	3.888
17	2	2019	0	30	N	3.888
18	2	2019	0	100	E	1.944
19	2	2019	0	40	E	3.888
20	2	2019	0	20	N	3.888
21	2	2019	0	40	E	3.888
22	2	2019	0	20	NE	5.832
23	2	2019	0	30	NE	3.888
24	2	2019	0	20	NE	1.944
25	2	2019	0	40	NE	5.832
26	2	2019	0	40	NE	5.832
27	2	2019	0	40	NE	3.888
28	2	2019	0	30	NE	5.832

1	3	2019	0	60	E	3.888
2	3	2019	0	30	N	1.944
3	3	2019	0	40	NE	3.888
4	3	2019	0	80	E	5.832
5	3	2019	0	90	E	3.888
6	3	2019	0	70	N	3.888
7	3	2019	0	90	E	1.944
8	3	2019	0	10	NE	1.944
9	3	2019	0	90	E	3.888
10	3	2019	0	90	C	1.944
11	3	2019	0	10	C	1.944
12	3	2019	0	40	N	3.888
13	3	2019	0	40	NE	1.944
14	3	2019	0	40	E	3.888
15	3	2019	0	40	NE	3.888
16	3	2019	0	30	NE	3.888
17	3	2019	0	90	E	3.888
18	3	2019	0	50	NE	3.888
19	3	2019	0	30	E	1.944
20	3	2019	0	40	NE	1.944
21	3	2019	0	50	NE	3.888
22	3	2019	0	50	C	1.944
23	3	2019	0	50	NE	1.944
24	3	2019	0	90	E	3.888
25	3	2019	0	30	NE	3.888
26	3	2019	0	40	NE	1.944
27	3	2019	0	30	C	1.944
28	3	2019	0	90	C	1.944
29	3	2019	0	120	C	0
30	3	2019	0	40	C	0
31	3	2019	0	100	C	0

1	4	2019	0	0	C	1.944
2	4	2019	0	90	E	1.944
3	4	2019	0	90	E	1.944
4	4	2019	0	40	C	1.944
5	4	2019	0	20	NE	3.888
6	4	2019	0	80	E	1.944
7	4	2019	0	80	C	1.944
8	4	2019	0	20	E	3.888
9	4	2019	0	90	E	1.944
10	4	2019	0	40	C	1.944
11	4	2019	0	90	C	1.944
12	4	2019	0	100	C	0
13	4	2019	0	150	C	0
14	4	2019	0	130	C	1.944
15	4	2019	0	90	E	1.944
16	4	2019	0	80	C	0
17	4	2019	0	90	E	1.944
18	4	2019	0	90	C	1.944
19	4	2019	0	90	C	1.944
20	4	2019	0	150	C	0
21	4	2019	0	120	C	0
22	4	2019	0	90	C	1.944
23	4	2019	0	20	NE	5.832
24	4	2019	0	40	E	3.888
25	4	2019	0	350	C	1.944
26	4	2019	0	100	C	0
27	4	2019	0	250	C	0
28	4	2019	0	290	C	1.944
29	4	2019	0	250	C	0
30	4	2019	0	90	C	1.944
1	5	2019	0	10	C	1.944

2	5	2019	0	250	C	0
3	5	2019	0	280	C	0
4	5	2019	0	230	C	1.944
5	5	2019	0	80	C	0
6	5	2019	0	270	C	0
7	5	2019	0	220	S	3.888
8	5	2019	0	220	C	0
9	5	2019	0	250	C	1.944
10	5	2019	0	160	C	1.944
11	5	2019	0	350	C	1.944
12	5	2019	0	250	C	0
13	5	2019	0	270	C	0
14	5	2019	0	120	C	0
15	5	2019	0	90	C	0
16	5	2019	0	320	C	3.888
17	5	2019	0	110	C	0
18	5	2019	0	340	C	0
19	5	2019	0	210	C	1.944
20	5	2019	0	310	C	0
21	5	2019	0	280	C	0
22	5	2019	0	280	C	0
23	5	2019	0	350	C	0
24	5	2019	0	80	C	0
25	5	2019	0	280	C	1.944
26	5	2019	0	280	C	0
27	5	2019	0	90	C	0
28	5	2019	0	110	C	1.944
29	5	2019	0	100	C	1.944
30	5	2019	0	270	C	0
31	5	2019	0	120	C	1.944
1	6	2019	0	320	C	1.944

2	6	2019	0	90	C	3.888
3	6	2019	0	60	W	3.888
4	6	2019	0	280	C	0
5	6	2019	0	280	C	0
6	6	2019	0	160	C	0
7	6	2019	0	250	C	0
8	6	2019	0	290	C	0
9	6	2019	0	250	C	0
10	6	2019	0	280	C	0
11	6	2019	0	280	C	0
12	6	2019	0	300	C	3.888
13	6	2019	0	260	C	0
14	6	2019	0	160	C	0
15	6	2019	0	250	W	1.944
16	6	2019	0	260	C	0
17	6	2019	0	240	C	0
18	6	2019	0	260	C	1.944
19	6	2019	0	290	C	1.944
20	6	2019	0	40	C	0
21	6	2019	0	280	C	0
22	6	2019	0	230	C	1.944
23	6	2019	0	270	C	0
24	6	2019	0	170	C	1.944
25	6	2019	0	160	C	0
26	6	2019	0	270	C	0
27	6	2019	0	190	SW	1.944
28	6	2019	0	170	S	1.944
29	6	2019	0	170	C	0
30	6	2019	0	230	C	1.944
1	7	2019	0	180	C	0
2	7	2019	0	90	C	0

3	7	2019	0	210	C	3.888
4	7	2019	0	280	C	0
5	7	2019	0	120	C	0
6	7	2019	0	110	E	1.944
7	7	2019	0	260	C	0
8	7	2019	0	150	C	0
9	7	2019	0	260	W	3.888
10	7	2019	0	150	C	0
11	7	2019	0	0	C	0
12	7	2019	0	180	C	0
13	7	2019	0	220	C	0
14	7	2019	0	200	S	1.944
15	7	2019	0	240	SW	1.944
16	7	2019	0	200	SW	3.888
17	7	2019	0	190	S	1.944
18	7	2019	0	190	S	1.944
19	7	2019	0	260	C	0
20	7	2019	0	0	C	0
21	7	2019	0	0	C	0
22	7	2019	0	260	C	1.944
23	7	2019	0	330	C	1.944
24	7	2019	0	230	SW	1.944
25	7	2019	0	280	W	3.888
26	7	2019	0	250	C	0
27	7	2019	0	360	C	0
28	7	2019	0	210	C	0
29	7	2019	0	190	S	1.944
30	7	2019	0	180	SW	3.888
31	7	2019	0	200	C	0
1	8	2019	0	260	C	1.944
2	8	2019	0	200	S	1.944

3	8	2019	0	180	S	3.888
4	8	2019	0	210	SW	1.944
5	8	2019	0	190	S	3.888
6	8	2019	0	200	SW	1.944
7	8	2019	0	270	S	1.944
8	8	2019	0	200	S	3.888
9	8	2019	0	200	S	1.944
10	8	2019	0	180	S	1.944
11	8	2019	0	180	S	1.944
12	8	2019	0	190	C	0
13	8	2019	0	170	C	0
14	8	2019	0	270	S	1.944
15	8	2019	0	210	SW	1.944
16	8	2019	0	200	C	0
17	8	2019	0	170	C	1.944
18	8	2019	0	340	C	0
19	8	2019	0	190	C	0
20	8	2019	0	180	S	3.888
21	8	2019	0	340	C	0
22	8	2019	0	250	C	0
23	8	2019	0	180	S	3.888
24	8	2019	0	290	SW	1.944
25	8	2019	0	230	C	1.944
26	8	2019	0	160	C	0
27	8	2019	0	260	C	0
28	8	2019	0	220	C	0
29	8	2019	0	220	SW	5.832
30	8	2019	0	190	S	1.944
31	8	2019	0	230	C	0
1	9	2019	0	170	S	1.944
2	9	2019	0	250	C	1.944

3	9	2019	0	200	S	1.944
4	9	2019	0	230	SW	1.944
5	9	2019	0	220	S	1.944
6	9	2019	0	190	S	0
7	9	2019	0	230	S	1.944
8	9	2019	0	230	C	1.944
9	9	2019	0	260	C	0
10	9	2019	0	170	S	1.944
11	9	2019	0	270	W	1.944
12	9	2019	0	280	C	1.944
13	9	2019	0	280	SW	1.944
14	9	2019	0	190	S	5.832
15	9	2019	0	180	S	1.944
16	9	2019	0	180	C	1.944
17	9	2019	0	190	S	1.944
18	9	2019	0	220	C	1.944
19	9	2019	0	250	C	1.944
20	9	2019	0	70	C	0
21	9	2019	0	160	C	0
22	9	2019	0	90	C	1.944
23	9	2019	0	20	N	3.888
24	9	2019	0	50	NE	3.888
25	9	2019	0	60	W	3.888
26	9	2019	0	280	C	0
27	9	2019	0	90	E	1.944
28	9	2019	0	120	C	1.944
29	9	2019	0	30	C	1.944
30	9	2019	0	270	W	1.944
1	10	2019	0	290	C	1.944
2	10	2019	0	330	C	1.944
3	10	2019	0	270	W	1.944



4	10	2019	0	270	C	0
5	10	2019	0	80	C	1.944
6	10	2019	0	280	W	3.888
7	10	2019	0	290	C	0
8	10	2019	0	80	E	1.944
9	10	2019	0	280	W	1.944
10	10	2019	0	280	W	1.944
11	10	2019	0	270	C	0
12	10	2019	0	270	W	1.944
13	10	2019	0	280	C	1.944
14	10	2019	0	290	C	1.944
15	10	2019	0	90	E	3.888
16	10	2019	0	90	E	1.944
17	10	2019	0	110	C	0
18	10	2019	0	310	E	3.888
19	10	2019	0	20	W	1.944
20	10	2019	0	50	C	1.944
21	10	2019	0	130	W	3.888
22	10	2019	0	130	C	1.944
23	10	2019	0	280	C	1.944
24	10	2019	0	360	N	3.888
25	10	2019	0	100	C	1.944
26	10	2019	0	90	E	1.944
27	10	2019	0	110	C	3.888
28	10	2019	0	290	W	1.944
29	10	2019	0	290	C	1.944
30	10	2019	0	110	C	1.944
31	10	2019	0	280	C	1.944
1	11	2019	0	210	C	0
2	11	2019	0	290	W	3.888
3	11	2019	0	320	C	0

4	11	2019	0	260	C	1.944
5	11	2019	0	220	SW	1.944
6	11	2019	0	280	C	0
7	11	2019	0	270	C	0
8	11	2019	0	330	W	3.888
9	11	2019	0	20	C	1.944
10	11	2019	0	260	C	1.944
11	11	2019	0	10	SW	3.888
12	11	2019	0	350	W	1.944
13	11	2019	0	20	N	3.888
14	11	2019	0	10	N	5.832
15	11	2019	0	300	N	1.944
16	11	2019	0	90	C	1.944
17	11	2019	0	280	W	3.888
18	11	2019	0	20	N	3.888
19	11	2019	0	20	N	3.888
20	11	2019	0	360	N	7.776
21	11	2019	0	20	N	5.832
22	11	2019	0	330	N	3.888
23	11	2019	0	10	N	5.832
24	11	2019	0	260	C	1.944
25	11	2019	0	50	C	1.944
26	11	2019	0	60	NE	3.888
27	11	2019	0	80	NE	3.888
28	11	2019	0	90	N	3.888
29	11	2019	0	80	E	5.832
30	11	2019	0	80	NE	3.888
1	12	2019	0	280	N	3.888
2	12	2019	0	10	N	9.72
3	12	2019	0	10	N	7.776
4	12	2019	0	10	N	7.776

5	12	2019	0	10	N	7.776
6	12	2019	0	360	N	9.72
7	12	2019	0	10	N	9.72
8	12	2019	0	10	N	11.664
9	12	2019	0	10	N	7.776
10	12	2019	0	20	N	5.832
11	12	2019	0	360	N	11.664
12	12	2019	0	360	N	5.832
13	12	2019	0	80	NE	5.832
14	12	2019	0	50	NE	9.72
15	12	2019	0	60	N	5.832
16	12	2019	0	360	N	5.832
17	12	2019	0	90	E	7.776
18	12	2019	0	20	N	1.944
19	12	2019	0	30	N	3.888
20	12	2019	0	40	NE	7.776
21	12	2019	0	20	N	5.832
22	12	2019	0	20	N	5.832
23	12	2019	0	20	N	7.776
24	12	2019	0	10	N	7.776
25	12	2019	0	10	N	5.832
26	12	2019	0	360	N	5.832
27	12	2019	0	10	N	5.832
28	12	2019	0	10	N	5.832
29	12	2019	0	10	N	5.832
30	12	2019	0	20	N	5.832
31	12	2019	0	40	N	5.832
1	1	2020	0	20	N	7.776
2	1	2020	0	360	N	7.776
3	1	2020	0	20	N	5.832
4	1	2020	0	10	N	7.776

5	1	2020	0	360	N	7.776
6	1	2020	0	350	N	5.832
7	1	2020	0	100	N	5.832
8	1	2020	0	10	N	5.832
9	1	2020	0	20	N	5.832
10	1	2020	0	10	N	5.832
11	1	2020	0	360	N	3.888
12	1	2020	0	360	N	3.888
13	1	2020	0	10	N	5.832
14	1	2020	0	90	N	7.776
15	1	2020	0	10	N	5.832
16	1	2020	0	360	N	3.888
17	1	2020	0	90	NE	3.888
18	1	2020	0	30	N	3.888
19	1	2020	0	20	N	5.832
20	1	2020	0	20	N	5.832
21	1	2020	0	40	N	5.832
22	1	2020	0	20	NE	5.832
23	1	2020	0	20	N	5.832
24	1	2020	0	10	N	5.832
25	1	2020	0	40	NE	3.888
26	1	2020	0	40	N	3.888
27	1	2020	0	40	N	5.832
28	1	2020	0	90	E	3.888
29	1	2020	0	10	N	5.832
30	1	2020	0	40	N	5.832
31	1	2020	0	40	NE	5.832
1	2	2020	0	40	NE	7.776
2	2	2020	0	20	N	7.776
3	2	2020	0	20	N	5.832
4	2	2020	0	30	N	5.832

5	2	2020	0	20	N	7.776
6	2	2020	0	10	N	5.832
7	2	2020	0	10	N	5.832
8	2	2020	0	360	N	3.888
9	2	2020	0	20	N	3.888
10	2	2020	0	90	E	3.888
11	2	2020	0	90	E	9.72
12	2	2020	0	40	NE	3.888
13	2	2020	0	40	NE	5.832
14	2	2020	0	40	N	3.888
15	2	2020	0	260	W	3.888
16	2	2020	0	20	N	1.944
17	2	2020	0	90	E	3.888
18	2	2020	0	40	NE	5.832
19	2	2020	0	30	N	5.832
20	2	2020	0	30	NE	7.776
21	2	2020	0	40	NE	7.776
22	2	2020	0	40	NE	7.776
23	2	2020	0	40	NE	5.832
24	2	2020	0	20	N	7.776
25	2	2020	0	20	N	5.832
26	2	2020	0	40	N	7.776
27	2	2020	0	30	NE	7.776
28	2	2020	0	20	N	5.832
29	2	2020	0	30	N	5.832
1	3	2020	0	20	N	5.832
2	3	2020	0	50	NE	3.888
3	3	2020	0	20	N	3.888
4	3	2020	0	20	N	3.888
5	3	2020	0	40	N	3.888
6	3	2020	0	30	NE	3.888

7	3	2020	0	90	E	5.832
8	3	2020	0	40	N	3.888
9	3	2020	0	70	NE	1.944
10	3	2020	0	90	E	3.888
11	3	2020	0	40	NE	3.888
12	3	2020	0	40	NE	5.832
13	3	2020	0	40	NE	3.888
14	3	2020	0	90	E	1.944
15	3	2020	0	50	E	3.888
16	3	2020	0	40	E	3.888
17	3	2020	0	40	NE	5.832
18	3	2020	0	30	NE	5.832
19	3	2020	0	30	NE	3.888
20	3	2020	0	80	E	3.888
21	3	2020	0	90	E	7.776
22	3	2020	0	70	NE	3.888
23	3	2020	0	80	N	3.888
24	3	2020	0	30	E	3.888
25	3	2020	0	80	E	5.832
26	3	2020	0	80	E	3.888
27	3	2020	0	80	E	5.832
28	3	2020	0	80	NE	3.888
29	3	2020	0	80	E	3.888
30	3	2020	0	90	E	3.888
31	3	2020	0	90	E	3.888
1	4	2020	0	100	E	3.888
2	4	2020	0	90	E	5.832
3	4	2020	0	40	NE	3.888
4	4	2020	0	90	E	7.776
5	4	2020	0	90	E	5.832
6	4	2020	0	80	E	3.888

7	4	2020	0	90	E	3.888
8	4	2020	0	90	E	3.888
9	4	2020	0	80	E	3.888
10	4	2020	0	40	NE	3.888
11	4	2020	0	340	NE	3.888
12	4	2020	0	40	E	3.888
13	4	2020	0	70	NE	3.888
14	4	2020	0	80	E	3.888
15	4	2020	0	70	E	3.888
16	4	2020	0	80	E	3.888
17	4	2020	0	80	E	3.888
18	4	2020	0	40	C	3.888
19	4	2020	0	80	SE	1.944
20	4	2020	0	90	E	3.888
21	4	2020	0	90	E	5.832
22	4	2020	0	90	C	1.944
23	4	2020	0	30	E	3.888
24	4	2020	0	80	E	5.832
25	4	2020	0	80	E	5.832
26	4	2020	0	80	E	3.888
27	4	2020	0	90	E	5.832
28	4	2020	0	80	C	1.944
29	4	2020	0	90	E	1.944
30	4	2020	0	80	E	3.888
1	5	2020	0	280	C	1.944
2	5	2020	0	280	C	1.944
3	5	2020	0	280	C	0
4	5	2020	0	280	C	1.944
5	5	2020	0	270	C	1.944
6	5	2020	0	340	C	1.944
7	5	2020	0	110	S	1.944

8	5	2020	0	130	C	1.944
9	5	2020	0	110	E	3.888
10	5	2020	0	90	E	3.888
11	5	2020	0	90	E	3.888
12	5	2020	0	90	E	3.888
13	5	2020	0	290	C	1.944
14	5	2020	0	100	C	1.944
15	5	2020	0	120	SE	1.944
16	5	2020	0	90	C	1.944
17	5	2020	0	80	C	1.944
18	5	2020	0	290	W	1.944
19	5	2020	0	280	C	0
20	5	2020	0	130	C	1.944
21	5	2020	0	300	E	3.888
22	5	2020	0	100	C	1.944
23	5	2020	0	280	C	1.944
24	5	2020	0	240	C	1.944
25	5	2020	0	110	E	1.944
26	5	2020	0	80	W	3.888
27	5	2020	0	270	W	1.944
28	5	2020	0	260	C	0
29	5	2020	0	120	C	1.944
30	5	2020	0	20	N	1.944
31	5	2020	0	80	E	1.944
1	6	2020	0	280	C	1.944
2	6	2020	0	150	C	0
3	6	2020	0	260	W	1.944
4	6	2020	0	120	W	1.944
5	6	2020	0	240	C	1.944
6	6	2020	0	260	W	3.888
7	6	2020	0	280	W	1.944



8	6	2020	0	310	C	1.944
9	6	2020	0	350	C	0
10	6	2020	0	330	W	1.944
11	6	2020	0	330	W	3.888
12	6	2020	0	10	W	1.944
13	6	2020	0	270	SW	1.944
14	6	2020	0	110	C	1.944
15	6	2020	0	90	E	3.888
16	6	2020	0	90	N	1.944
17	6	2020	0	90	C	1.944
18	6	2020	0	330	W	3.888
19	6	2020	0	300	W	3.888
20	6	2020	0	280	W	3.888
21	6	2020	0	230	C	1.944
22	6	2020	0	260	SW	3.888
23	6	2020	0	260	W	1.944
24	6	2020	0	280	W	3.888
25	6	2020	0	320	C	0
26	6	2020	0	260	W	1.944
27	6	2020	0	180	S	0
28	6	2020	0	200	C	0
29	6	2020	0	100	C	0
30	6	2020	0	290	C	0
1	7	2020	0	230	C	1.944
2	7	2020	0	200	C	0
3	7	2020	0	260	C	0
4	7	2020	0	340	C	1.944
5	7	2020	0	140	C	0
6	7	2020	0	270	SE	1.944
7	7	2020	0	120	C	1.944
8	7	2020	0	20	W	3.888

9	7	2020	0	260	SW	1.944
10	7	2020	0	290	C	1.944
11	7	2020	0	250	C	0
12	7	2020	0	140	C	0
13	7	2020	0	280	W	3.888
14	7	2020	0	270	C	1.944
15	7	2020	0	80	E	1.944
16	7	2020	0	210	SE	1.944
17	7	2020	0	90	E	1.944
18	7	2020	0	210	W	1.944
19	7	2020	0	280	C	1.944
20	7	2020	0	130	SE	1.944
21	7	2020	0	120	SE	1.944
22	7	2020	0	270	W	3.888
23	7	2020	0	90	W	3.888
24	7	2020	0	220	C	0
25	7	2020	0	130	SE	1.944
26	7	2020	0	250	W	1.944
27	7	2020	0	260	W	1.944
28	7	2020	0	270	C	1.944
29	7	2020	0	290	W	3.888
30	7	2020	0	210	SW	1.944
31	7	2020	0	0	C	3.888
1	8	2020	0	200	S	1.944
2	8	2020	0	220	S	1.944
3	8	2020	0	140	C	1.944
4	8	2020	0	360	SE	1.944
5	8	2020	0	230	C	0
6	8	2020	0	270	C	1.944
7	8	2020	0	270	S	1.944
8	8	2020	0	220	S	1.944

9	8	2020	0	230	S	1.944
10	8	2020	0	190	S	1.944
11	8	2020	0	250	S	1.944
12	8	2020	0	210	S	1.944
13	8	2020	0	220	C	1.944
14	8	2020	0	360	C	1.944
15	8	2020	0	250	S	1.944
16	8	2020	0	260	W	1.944
17	8	2020	0	200	C	1.944
18	8	2020	0	310	C	1.944
19	8	2020	0	340	C	1.944
20	8	2020	0	140	C	0
21	8	2020	0	120	C	1.944
22	8	2020	0	320	C	1.944
23	8	2020	0	140	NE	3.888
24	8	2020	0	90	E	3.888
25	8	2020	0	110	E	1.944
26	8	2020	0	270	C	1.944
27	8	2020	0	280	W	3.888
28	8	2020	0	190	S	1.944
29	8	2020	0	260	C	0
30	8	2020	0	260	C	1.944
31	8	2020	0	300	W	1.944

## BIOGRAFI PENULIS



Andini Ari Fitria Wardani, lahir di Mojokerto, 23 Januari 1998. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan bapak Jono dan ibu Windari. Penulis memulai pendidikan formal di SDN Talunblandong tahun 2004. Kemudian melanjutkan pendidikan formalnya di SMPN 1 Dawarblandong selama 3 tahun. Setelah lulus dari sana, penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 1 Dawarblandong. Penulis mulai berkuliah di Departemen Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya masuk melalui jalur SNMPTN pada tahun 2016. Selama berkuliah di ITS, penulis aktif dalam beberapa Organisasi Mahasiswa, salah satunya yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik kelautan. Selain itu penulis juga aktif di beberapa kepanitiaan dalam berbagai acara, misalnya panitia OCEANO, PSI 1 2018, Pemilu Presiden BEM 2018 dan 2019, dan lainnya. Penulis juga tergabung dalam Tim Angklung ITS dan mengisi di beberapa acara di ITS. Pada bulan Juni-Agustus 2019 penulis melaksanakan Kerja Praktik di Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Kementrian ESDM, Bandung. Penulis menyelesaikan Tugas Akhir berjudul “PERENCANAAN DAN STUDI POTENSI ENERGI GELOMBANG LAUT DI PERAIRAN NATUNA ” pada tahun 2021.