



TUGAS AKHIR

MO 184804

**Studi Konsep Desain dan Kelayakan Ekonomi Pembangkit
Listrik Tenaga Gelombang Laut di Provinsi Nusa Tenggara
Timur**

Muhammad Luthfi Priambodo

NRP : 04311440000098

Dosen Pembimbing :

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

Dr. Eng. Shade Rahmawati , S.T., MT

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



TUGAS AKHIR - MO 184804

**Studi Konsep Desain dan Kelayakan Ekonomi Pembangkit Listrik
Tenaga Gelombang Laut di Provinsi Nusa Tenggara Timur**

Muhammad Luthfi Priambodo

NRP : 04311440000098

Dosen Pembimbing :

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

Dr. Eng. Shade Rahmawati , S.T., MT

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2019



FINAL PROJECT - MO 184804

**Study of Design Concept and Economic Feasibility of Sea Wave
Power Plant in East Nusa Tenggara Province**

Muhammad Luthfi Priambodo

NRP : 04311440000098

Supervisors

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

Dr. Eng. Shade Rahmawati , S.T., MT

**DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

2019

**Studi Konsep Desain dan Kelayakan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga
Gelombang Laut di Provinsi Nusa Tenggara Timur**

Tugas Akhir

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Pada
Program Studi S-1 Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Muhammad Luthfi Priambodo NRP. 04311440000098

Disetujui oleh:

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

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

.....
3. Suntoyo, S.T, M.T, Ph. D (Penguji 1)

.....
4. Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc (Penguji 2)

.....
5. Drs. M. Musta'in, M.Sc, Ph.D (Penguji 3)

Januari 2019

**Studi Konsep Desain dan Kelayakan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga
Gelombang Laut di Provinsi Nusa Tenggara Timur**

Nama : **Muhammad Luthfi Priambodo**
NRP : **0431144000098**
Departemen : **Teknik Kelautan**
Dosen Pembimbing : **Prof. Ir. Mukhtasor , M.Eng., Ph.D**
Dr. Eng. Shade Rahmawati , S.T., MT

ABSTRAK

Saat ini delapan puluh sembilan persen sumber energi listrik Indonesia saat ini berasal dari sumber energi fosil. Melihat kondisi tersebut, diperlukan suatu solusi sumber energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, serta dapat diaplikasikan pada daerah- daerah yang jauh dari pusat infrastruktur dan kekurangan pasokan listrik seperti Kabupaten Sumba Barat dan Kabupaten Timor Tengah Selatan, Nusa Tenggara Timur. Salah satu solusi bagi sumber energi tersebut adalah energi gelombang laut. Pada penelitian ini akan diteliti mengenai konsep desain Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) tipe *Oscillating Wave Surge* (OWS) dengan spesifikasi WaveRoller Peniche dengan daya sebesar 100 Kw. Penelitian dilakukan dengan mewnghitung potensi energi gelombang per tahun, produksi energi OWS per tahun, serta kebutuhan listrik masyarakat untuk mempertimbangkan kelayakan konsep desain alat. Dari kedua perhitungan dan perencanaan diatas, pembangunan *wavefarm* OWS berkapasitas 2MW lebih layak dibangun di Sumba Barat, dengan nilai *Internal Rate of Return* (IRR) 9%.

Kata Kunci : Energi Gelombang Laut, Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang, Kelayakan Ekonomi, OWS.

**Study of Design Concept and Economic Feasibility of Sea Wave Power Plant
in East Nusa Tenggara Province**

Name : **Muhammad Luthfi Priambodo**
NRP : **04311440000098**
Department : **Ocean Engineering**
Supervisors : **Prof. Ir. Mukhtasor , M.Eng., Ph.D**
Dr. Eng. Shade Rahmawati , S.T., MT

ABSTRACT

At present eighty-nine percent of Indonesia's current electricity sources come from fossil energy sources. Seeing these conditions, a sustainable and environmentally friendly energy source solution is needed, and can be applied to areas far from the infrastructure center and shortages of electricity such as West Sumba Regency and South Timor Tengah Regency, East Nusa Tenggara. One solution for these energy sources is ocean wave energy. In this study, we will examine the design concept of the Oscillating Wave Surge (OWS) Sea Wave Power Plant with Peniche WaveRoller specifications with a power of 100 Kw. The research was conducted by calculating the wave energy potential per year, OWS energy production per year, and the electricity needs of the community to consider the feasibility of the tool design concept. From the two calculations and planning above, the construction of a 2MW capacity OWS wavefarm is more feasible in West Sumba, with a value of 9% Internal Rate of Return (IRR).

Keywords : Ocean Wave Energy, Wave Power Plant, Economic Feasibility, OWS.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT, karena atas berkat dan rahmatNya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **Studi Konsep Desain dan Kelayakan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut di Provinsi Nusa Tenggara Timur.**

Tugas akhir ini dibuat untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tujuan tugas akhir ini adalah mendapatkan tingkat kelayakan ekonomi pembangunan PLTGL di Kabupaten Sumba Barat dan Timor Tengah Selatan.

Dalam pembuatan Tugas Akhir ini, penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk melakukan yang terbaik. Namun penulis menyadari bahwa pada Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga hasil yang dicapai penulis dapat berguna bagi penulis sendiri dan untuk pembaca.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Selama menyelesaikan penyusunan tugas akhir, penulis telah mendapatkan manfaat, dukungan, bantuan, dan bimbingan secara langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak. Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT yang memberikan rahmat dan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan ini. Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Mukhtasor, M. Eng., Ph. D selaku dosen pembimbing pertama dan sebagai koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
2. Ibu Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T, M.T. selaku dosen pembimbing kedua.
3. Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
4. Para penguji tugas akhir ini yang telah memberikan evaluasi dan saran kepada penulis.
5. Mas Rizal selaku teknisi *forecasting* BMKG II Perak.
6. Bapak Kornel selaku Koordinator *Public Relation* Kantor Wilayah PLN NTT.
7. Teman – teman mahasiswa Teknik Kelautan ITS angkatan 2014 “MAELSTROM” yang telah memberikan semangat dan bantuan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
8. Serta semua pihak lainnya yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Kedua orang tua penulis yaitu Bapak Anung Karyadi dan Ibu Siti Mahsanah yang semuanya senantiasa mendukung dan mendoakan kelancaran tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan pada laporan ini. Untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikan laporan ini. Penulis berharap laporan ini membantu para pembaca mengenal lebih dekat dunia material dan dapat dijadikan referensi untuk keperluan pendidikan serta dapat bermanfaat bagi kita semua. Terima kasih.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	i
ABSTRACT.....	i
KATA PENGANTAR	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan.....	5
1.4 Manfaat.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKAN DAN DASAR TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Dasar Teori.....	9
2.2.1 Teori Gelombang Laut	9
2.2.2 Perhitungan Energi Gelombang Laut.....	10
2.2.3 Pembangkitan Gelombang Akibat Angin	16
2.2.4 Refraksi Gelombang	19
2.2.5 Penelitian dan Pengembangan PLTGL tipe OWS	21
2.2.6 Cara Kerja dan Penangkapan Daya pada OWS	23
2.2.7 Analisa Biaya	30
2.2.7.1 Biaya pembangunan Struktur dan Outfitting	31
2.2.7.2 Biaya Cicilan Hutang.....	31
2.2.8 Rasio Elektrifikasi.....	33
2.2.9 Jaringan Transmisi Energi Listrik	34
BAB III METODOLOGI	37
3.1 Metode Penelitian	37
3.2 Prosedur Penelitian	39
BAB 4 ANALISA dan PEMBAHASAN	43
4.1 Data Kependudukan Kabupaten Sumba Barat	43

4.2	Data Kependudukan Kabupaten Timor Tengah Selatan.....	45
4.3	Data Kelistrikan Kabupaten Sumba Barat	47
4.4.	Data Kelistrikan Kabupaten Timor Tengah Selatan.....	49
4.5	Perhitungan Daya PLTGL tipe OWS	51
4.5.1	Analisa Pemilihan Lokasi di Kabupaten Sumba Barat dan Kabupetan Timor Tengah Selatan	51
4.5.2	Analisa Pasang Surut di Kabupaten Sumba Barat dan Timor Tengah Selatan	58
4.5.3	Perhitungan Pembangkitan Gelombang	60
4.5.3.1	Perhitungan Panjang Fetch Efektif.....	62
4.5.3.2	Perhitungan Tinggi Gelombang dan Periode	64
4.5.4	Perhitungan Tinggi dan Periode Gelombang di Laut Transisi	66
4.5.5	Daya Hasil OWS per Unit di Kabupaten Sumba Barat dan Kabupaten Timor Tengah Selatan	71
4.6	Analisa Biaya	76
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		87
5.1.	Kesimpulan	87
5.2.	Saran.....	88
DAFTAR PUSTAKA		89
LAMPIRAN		91
Lampiran A.....		91
Lampiran B		95
Lampiran C.....		99
Lampiran D.....		102
Lampiran E		104
Lampiran F		109
Lampiran G		113
BIODATA PENULIS		122

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kondisi operasi kedalaman OWS	26
Tabel 2.2 CWR WaveRoller 100 Kw untuk masing- masing Seastate.	28
Tabel 2.3 Biaya Pembangunan dan Outfitting per Unit Berat	31
Tabel 4.1 Jumlah Penduduk dan KK Kabupaten Sumba Barat	44
Tabel 4.2 Jumlah Penduduk dan KK Kabupaten Timor Tengah Selatan	46
Tabel 4.3 Rasio Elektrifikasi, Jumlah RT belum berlistrik Sumba	47
Tabel 4.4 Daftar pembangkit baru yang akan dibangun pada sistem Sumba	48
Tabel 4.5 Rasio Elektrifikasi, Jumlah RT belum berlistrik Timor	49
Tabel 4.6 Daftar pembangkit baru yang akan dibangun pada sistem Timor	50
Tabel 4.7 Tetapan pasang surut Kabupaten Kupang	58
Tabel 4.8 Arah angin dominan masing- masing bulan Kabupaten Sumba Barat 2010-2017	61
Tabel 4.9 Arah angin dominan masing- masing bulan Kabupaten Timor tengah selatan 2010-2017	62
Tabel 4.10 Contoh perhitungan fetch efektif untuk bulan Desember, Januari, Februari dan Maret pada Kabupaten Sumba Barat 2010-2017	63
Tabel 4.11 Perhitungan Konversi Gelombang	64
Tabel 4.12 Konversi perhitungan gelombang, dengan data angin 2010-2017 Kabupaten Sumba Barat	65
Tabel 4.13 Konversi perhitungan gelombang, dengan data angin 2010-2017 Kabupaten Timor Tengah Selatan	65
Tabel 4.14 Batas laut dalam pada masing- masing bulan di Sumba Barat	66
Tabel 4.15 Batas laut dalam pada masing- masing bulan di Timor Tengah Selatan	67
Tabel 4.16 Contoh perhitungan refraksi dan shoaling ketika melewati kontur batimetri	68
Tabel 4.17 Perbandingan tinggi gelombang pada laut dalam dan transisi masing- masing bulan di Sumba Barat	70
Tabel 4.18 Perbandingan tinggi gelombang pada laut dalam dan transisi masing- masing bulan di Timor Tengah Selatan	71
Tabel 4.19 Tinggi gelombang pada laut transisi, CWR dan daya mekanik pada flap untuk masing- masing bulan di Sumba Barat	72
Tabel 4.20 Tinggi gelombang pada laut transisi, CWR dan daya mekanik pada flap untuk masing- masing bulan di Timor Tengah Selatan	73
Tabel 4.21 Produksi energi per bulan dan per tahun di Sumba dan Timor	75

Tabel 4.25 Biaya Instalasi wavefarm OWS kapasitas 2MW di Kabupaten Sumba Barat	78
Tabel 4.26 Biaya Variabel wavefarm OWS kapasitas 2MW di Kabupaten Sumba Barat	78
Tabel 4.27 Biaya Instalasi wavefarm OWS kapasitas 2MW di Kabupaten Timor Tengah Selatan	79
Tabel 4.28 Biaya Variabel wavefarm OWS kapasitas 2MW di Kabupaten Timor Tengah Selatan	79
Tabel 4.29 Biaya Instalasi OWS per Hari	80
Tabel 4.30 Biaya Instalasi Kabel Bawah Laut per Hari	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta potensi energi Gelombang di Indonesia.....	2
Gambar 1.2 Rasio Elektrifikasi Indonesia	4
Gambar 1.3 Peta Kabupaten Sumba Barat dan Timor Tengah Selatan di NTT	4
Gambar 2.1 Peristiwa Refraksi dan <i>Shoaling</i>	20
Gambar 2.2 Peristiwa Refraksi beserta sudut pembelokannya.....	21
Gambar 2.3 Oscillating Wave Surge (OWS).....	23
Gambar 2.4 Grafik nilai CWR dengan perbandingan lebar panel.....	25
Gambar 2.5 OWS WaveRoller 100 Kw	26
Gambar 2.6. Grafik Capture Width Ratio Prototype WaveRoller Penichei	28
Gambar 2.7. Detail Komponen Alat dan cara Instalasi WaveRoller Peniche	29
Gambar 2.8. Jaringan transmisi dan distribusi pada listrik konvensional, Jaringan transmisi dan distribusi pada listrik terbarukan.....	34
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	38
Gambar 4.1 Peta Kabupaten Sumba Barat dengan Beberapa Jenis Infrastrukturnya	43
Gambar 4.2 Peta Kabupaten Timor Tengah Selatan dengan Beberapa Jenis Infrastrukturnya	45
Gambar 4.3 Tinggi gelombang dan arah datang gelombang pada perairan Indonesia bulan Januari- Juni.....	53
Gambar 4.4 Tinggi gelombang dan arah datang gelombang pada perairan Indonesia bulan Juli- Desember	54
Gambar 4.5 Peta Lokasi Potensial Kabupaten Sumba Barat (a) dan Timor Tengah Selatan (b).....	55
Gambar 4.6 Peta google (a) dan batimetri (b) lokasi potensial Kabupaten Sumba Barat	56
Gambar 4.7 Peta google (a) dan batimetri (b) lokasi potensial Kabupaten Timor Tengah Selatan	57
Gambar 4.8 Grafik pasang surut Kabupaten Kupang, NTT	59
Gambar 4.9 Windrose Kabupaten Sumba Barat Januari 2010-2017.....	60
Gambar 4.10 Windrose Kabupaten Timor Tengah Selatan Januari 2013-2017	61
Gambar 4.11. Grafik luaran energi per bulan di Sumba dan Timor	74

Bab 1

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang Masalah

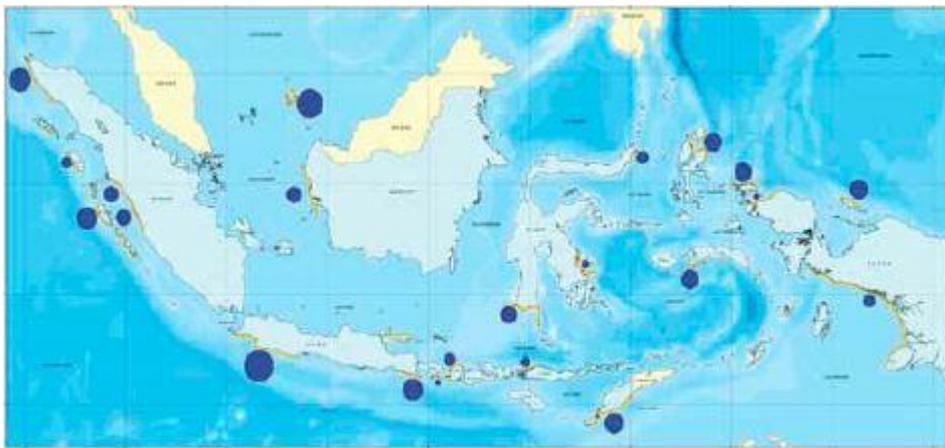
Saat ini delapan puluh sembilan persen sumber energi listrik Indonesia saat ini berasal dari sumber energi fosil (Ditjen Ketenagalistrikan ESDM, 2017). Hal tersebut memunculkan kekhawatiran terhadap kemungkinan terjadinya krisis energi dikarenakan sumber energi yang tidak terbarukan. Selain itu sumber energi yang berasal dari pembakaran batubara menghasilkan emisi yang dapat merusak lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia (Munawer, 2018). Dikarenakan tantangan diatas, maka dirasa perlu menemukan sebuah solusi untuk memecahkan persoalan energi listrik Indonesia. Solusi tersebut haruslah ramah lingkungan dan berkelanjutan, energi baru terbarukan merupakan solusi yang tepat.

Dengan kedua fakta diatas, maka dapat disimpulkan bahwa solusi energi negara ini berada di laut. Terdapat beberapa jenis energi baru terbarukan yang berasal dari laut, antara lain arus laut, osmosis salinitas, gelombang laut, perbedaan suhu laut dan pasang surut. Energi listrik yang bersumber dari gelombang laut sangat cocok diterapkan di Indonesia. Karena selain merupakan sumber energi baru terbarukan yang ramah lingkungan, ketersediaan gelombang di Indonesia yang dapat dimanfaatkan energinya terbilang cukup besar.

Dengan tipikal wilayah Indonesia yang berupa kepulauan dengan garis pantai mencapai 81.000 Km, Indonesia memiliki potensi energi gelombang yang sangat besar. Berdasarkan data dari Asosiasi Energi Laut Indonesia (ASELI), potensi teoritis dari tenaga gelombang yang dapat dimanfaatkan di Indonesia mencapai 510.000 MW, dengan potensi praktis mencapai 1.200 MW. Selain itu, energi gelombang memiliki keuntungan berupa dapat dipresiksi secara akurat, dengan kesalahan prediksi kurang dari 20% pada jarak prediksi tiga hari. Dalam lingkungan lautan tropis, prediksi yang akurat bahkan dapat dilakukan hingga sembilan hari kedepan (Sasaki, 2017).

Daerah samudera Indonesia sepanjang pantai selatan Jawa sampai Nusa Tenggara adalah lokasi yang memiliki potensi energi gelombang cukup besar berkisar antara 10 - 20 kW per meter gelombang. Beberapa penelitian menyimpulkan bahwa energi gelombang di beberapa titik di Indonesia bisa mencapai 70 kW/m di beberapa lokasi. Pantai barat Pulau Sumatera bagian selatan dan pantai selatan Pulau Jawa bagian barat juga berpotensi memiliki energi gelombang laut sekitar 40 kW/m, potensi tersebut dapat dilihat pada gambar 1.1 (ASELI, 2011). Dengan melihat potensi diatas maka sangatlah layak untuk dipertimbangkan mengenai pengembangan PLTGL di Indonesia.

Teknologi pembangkit listrik tenaga gelombang mulai dikenalkan di Indonesia sejak tahun 2002, dimana saat itu dilakukan pengembangan PLTGL Sistem Bandulan oleh Zamrisyaf, salah satu staf Puslitbang PLN. Selain itu pada tahun 2004 telah dibangun prototype PLTGL tipe OWC di Pantai Parang Racuk, Gunung Kidul, Yogyakarta hasil pengembangan dari BPDP. Teknologi konversi energi gelombang bukanlah hal yang asing bagi para peneliti Indonesia.



Gambar 1.1 Peta potensi energi Gelombang di Indonesia (sumber: ASELI, 2011)

Salah satu model PLTGL yang dapat dikembangkan di Indonesia adalah model *Oscillating Water Surge* (OWS). Dalam beberapa tahun terakhir PLTGL tipe OWS mengalami banyak perkembangan signifikan, ditandai dengan maraknya penelitian baik dengan tujuan ilmiah ataupun komersial. Contoh dari

perkembangan diatas adalah dikembangkannya berbagai model OWS oleh beberapa perusahaan energi terbaru. Diantara perusahaan tersebut adalah WaveRoller oleh AW Energy, bioWave, dan Oyster oleh AquaMarine (Whittaker dan Folley, 2012). Menurut Rahuma dan Yaakob (2015), PLTGL tipe OWS menjadi pilihan tepat bagi pemanfaatan energi gelombang di daerah dengan kondisi gelombang rendah karena karakteristiknya yang memanfaatkan energi surging gelombang, sehingga perlu ditempatkan pada daerah lautan transisi dan penempatan pada daerah tersebut mempermudah instalasi dan perawatan. Keuntungan lain yang didapatkan adalah sebaran arah gelombang pada laut transisi lebih kecil dibandingkan pada laut lepas dengan potensi energi gelombang yang dapat dimanfaatkan pada laut transisi hanya mengalami pengurangan berkisar antara 10-20% dari potensi pada laut lepas (Folley, Elsaesser, Whittaker, 2010).

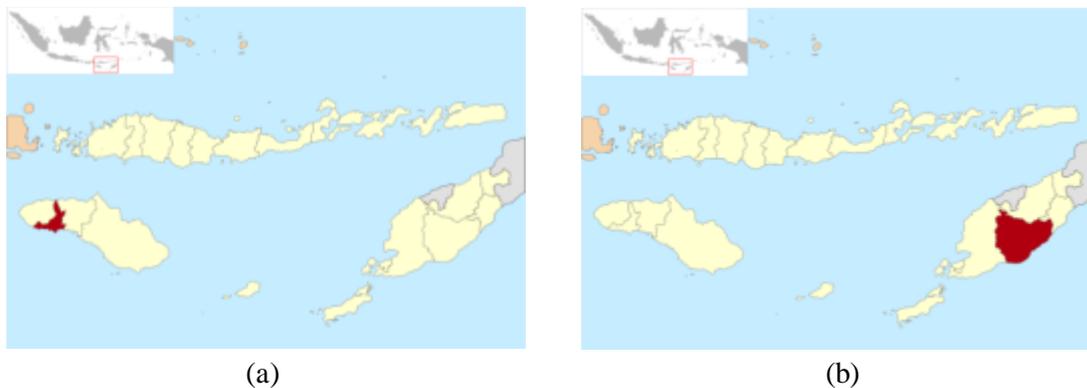
Berdasarkan laporan Kementerian ESDM pada tahun 2018, terdapat dua provinsi dengan rasio elektrifikasi dibawah 65%. Kedua provinsi tersebut adalah Nusa Tenggara Timur (NTT) dan Papua, dapat dilihat pada Gambar 1.2. Hal ini sangat berbanding terbalik dengan kondisi di Jawa yang memiliki rasio elektrifikasi diatas delapan puluh lima persen. Dari keterangan Sekretaris Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian Energi Sumber Daya Mineral (ESDM) Agoes Triboesono, kondisi ini disebabkan oleh kondisi geografis Indonesia yang terdiri dari kepulauan, sehingga sulit untuk membangun infrastruktur berskala besar pada daerah- daerah timur.

Kabupaten Sumba Barat dan Kabupaten Timor Tengah Selatan masing-masing terletak di Pulau Sumba dan Pulau Timor, NTT sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 1.3 di halaman 4, ditandai dengan warna merah. Lebih dari setengah kebutuhan listrik di NTT dipenuhi oleh PLTD, meskipun PLTD memiliki tingkat efisiensi yang rendah. Disebabkan hal tersebut dibutuhkan suatu solusi demi menghadirkan sumber energi yang efisien dan berkelanjutan. Salah satu sumber energi yang menjanjikan untuk dimanfaatkan di kedua kabupaten diatas adalah energi gelombang. Energi gelombang memiliki keuntungan berupa

terbarukan dan ramah lingkungan. Untuk itu perlu dilakukan penelitian mengenai konsep desain dan tingkat kelayakan ekonomi pembangunan PLTGL tipe OWS di Kabupaten Sumba Barat dan Kabupaten Timor Tengah Selatan dengan mempertimbangkan faktor kebutuhan listrik masyarakat, potensi energi yang dapat dihasilkan PLTGL dan kelayakan ekonomi dari pembangunan PLTGL.



Gambar 1.2 Rasio Elektrifikasi Indonesia (sumber: Kementerian ESDM, 2018)



Gambar 1.3 Peta Kabupaten Sumba Barat (a) dan Timor Tengah Selatan (b) di NTT (sumber: Wikipedia)

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi bahasan dalam pengerjaan Tugas akhir ini adalah:

1. Berapa jumlah kebutuhan listrik masyarakat pada Kabupaten Sumba Barat dan Kabupaten Timor Tengah Selatan, Nusa Tenggara Timur.
2. Berapa jumlah energi yang dihasilkan dari pembangunan PLTGL tipe OWS pada masing- masing Kabupaten.
3. Berapa tingkat kelayakan ekonomi pembangunan PLTGL tipe OWS di Kabupaten Sumba Barat dan Kabupaten Timor Tengah Selatan, Nusa Tenggara Timur.

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan Tugas akhir ini adalah:

1. Menghitung kebutuhan listrik masyarakat di Kabupaten Sumba Barat dan Kabupaten Timor Tengah Selatan, Nusa Tenggara Timur.
2. Menghitung jumlah energi yang dapat dihasilkan dari pembangunan PLTGL tipe OWS pada lokasi tersebut.
3. Mengetahui tingkat kelayakan ekonomi pembangunan PLTGL tipe OWS di kedua lokasi tersebut, serta lokasi mana yang memiliki tingkat kelayakan ekonomi lebih tinggi.

1.4 Manfaat

Berikut manfaat yang dapat dihasilkan dari penelitian ini:

1. Memberikan informasi berupa jumlah keperluan listrik masyarakat di Kabupaten Sumba Barat dan Kabupaten Timor Tengah Selatan, Nusa Tenggara Timur.

2. Memberikan informasi berupa jumlah energi yang dapat dihasilkan dari pembangunan PLTGL tipe OWS di Kabupaten Sumba Barat dan Kabupaten Timor Tengah Selatan, Nusa Tenggara Timur.
3. Memberikan informasi berupa tingkat kelayakan ekonomi dalam pembangunan PLTGL tipe OWS pada masing- masing kabupaten.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Daerah penelitian terbatas pada Kabupaten Sumba Barat dan Kabupaten Timor Tengah Selatan, Nusa Tenggara Timur.
2. Pemenuhan kebutuhan listrik ditargetkan hanya pada kalangan kebutuhan rumah tangga.
3. Lokasi dibatasi pada daerah laut transisi sepanjang peisisir selatan Kabupaten Sumba Barat dan Kabupaten Timor Tengah Selatan, Nusa Tenggara Timur. Dengan mempertimbangkan potensi gelombang yang datang dari Samudra Indonesia.
4. PLTGL yang diperhitungkan adalah sistem OWS dengan karakteristik *bottom hinge fully submerge or surface piercing*.
5. Dimensi lebar *flap* OWS yang digunakan sesuai dengan alat yang telah diuji pada beberapa penelitian sebelumnya, berupa alat dengan dimensi lebar flap sebesar 12 meter dengan tinggi 8 meter.
6. Perhitungan daya yang dihasilkan dilakukan secara sederhana menggunakan tinggi gelombang signifikan per bulan dari gelombang angin dan menggunakan nilai rata- rata *capture power* pada OWS berdimensi lebar 12 meter dan tinggi 8 meter.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Salah satu sumber energi terbarukan yang berpotensi besar adalah gelombang. Dengan potensi global tahunan berkisar antara 8.000- 80.000 TWh, gelombang laut dapat menyuplai kebutuhan energi dunia (Ocean Energy Systems 2007). Gelombang laut disebabkan oleh angin yang bertiup di atas permukaan laut. Pada beberapa wilayah di dunia angin yang terjadi cukup konsisten dan kuat untuk menghasilkan gelombang besar kontinu. Gelombang besar tersebut merupakan sumber energi yang potensial untuk menjadi sumber energi terbarukan di beberapa bagian dunia pada masa mendatang. Pemanfaatan energi gelombang sangat bergantung pada ketinggian gelombang (H), periode (T), dan panjang gelombang (λ).

Pengembangan konsep gelombang sebagai sumber energi listrik pertama kali dilakukan pada tahun 1799, saat itu seorang warga negara Perancis bernama Girard dan anaknya mematenkan konsep awal pemanfaatan energi gelombang. Lalu tipe OWC sendiri pertama kali muncul tahun 1910, yang diinisiasi oleh Bochaux dan Praceique yang juga seorang warga negara Perancis. Ketertarikan terhadap pengembangan pemanfaatan energi gelombang mulai muncul kembali dikarenakan krisis minyak pada tahun 1973, dengan tujuan untuk mendapatkan sumber energi yang terbarukan sekaligus murah (Lynn 2014).

Di Indonesia sendiri salah satu pengembangan PLTGL dimulai oleh BPPT-BPDP dengan pembangunan prototype PLTGL tipe OWC di Pantai Parang Racuk, pembangunan selesai dilaksanakan pada tahun 2002 dan menghasilkan prototype dengan tingkat efisiensi sebelas persen (Widowati, 2014). Selanjutnya pada tahun 2006 BPPT-BPDP juga berhasil membangun prototype OWC tipe Limpet pertama di Indonesia. Sistem kerja dari PLTGL tipe OWC ini adalah dengan memanfaatkan osilasi udara di dalam *collector chamber* yang terjadi karena gerakan naik turunnya gelombang. Pada pembangunan prototype OWC

dari BPDP masih ditemui kekurangan yaitu kurang efisiennya PLTGL dikarenakan masih belum mampu mengkonversi energi gelombang selama penuh dalam satu hari. Hal ini disebabkan pada saat surut *chamber* OWC yang seharusnya berada di bawah permukaan air menjadi tidak tertutup air sama sekali, sehingga tidak terjadi osilasi di dalam *chamber*.

Penelitian mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut di Indonesia tidak terbatas pada tipe OWC saja. Pada tahun 2002, telah dibangun sebuah prototype PLTGL dengan sistem bandulan. Prototype ini merupakan karya Zamrisyaf, salah satu staf Puslitbang PLN. PLTGL ini bekerja dengan memanfaatkan energi gelombang untuk memberikan gerakan pada struktur utama PLTGL berupa ponton. Gerakan ini selanjutnya akan dikonversikan menjadi gerakan memutar melalui gerakan roda gila yang memiliki poros berbandul. Gerakan memutar inilah yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan generator konvensional.

Selain kedua tipe PLTGL diatas, terdapat pula beberapa macam tipe PLTGL lain, salah satunya adalah tipe *Oscillating Wave Surge Converter* (OWSC). Tipe OWSC menggunakan prinsip pengkonversian energi surging gelombang. Sistem pembangkit listrik tenaga gelombang tipe *Oscillating Wave Surge* (OWS) memanfaatkan energi *surging* gelombang sebagai sumber utama energi, berbeda dengan beberapa alat konversi energi gelombang yang memanfaatkan gerakan naik turun permukaan air. Energi *surging* ini didapatkan dari pergerakan horizontal partikel air pada gelombang. Oleh sebab itu sistem ini biasanya ditempatkan pada lingkungan mendekati pantai, dimana pergerakan horizontal partikel air teramplifikasi sebagai akibat terbentuknya gelombang laut transisi. Sistem dapat bekerja secara maksimal dengan menghadapkan panel pada arah datang gelombang (Whittaker dan Folley 2007).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Teori Gelombang Laut

Berdasarkan penyebab terjadinya ada beberapa pengertian gelombang yaitu, gelombang laut yang terjadi karena adanya tiupan angin di permukaan air laut; gelombang pasang surut yang terjadi karena adanya gaya tarik – menarik antara bumi, bulan dan matahari; gelombang tsunami yang terjadi karena adanya letusan gunung berapi, gerakan lempeng bumi atau gempa di dasar laut; dan gelombang riak yang terjadi karena adanya kapal yang bergerak. (Triatmodjo, 1999).

Gelombang yang terjadi akibat tiupan angin diatas laut adalah tipe gelombang yang paling umum. Setiap saat kita menuju pesisir ataupun laut kita pasti akan menjumpai gelombang tipe ini. Proses pembangkitan gelombang akibat angin terjadi dikarenakan angin yang berhembus secara terus menerus dalam rentang jarak tertentu (*fetch*). Dengan rentang jarak yang tepat maka dapat terjadi pembangkitan gelombang yang disebabkan oleh angin. Dengan proses tersebut akan terbentuk riak- riak awal di permukaan laut yang jika terjadi secara terus menerus akan menjadi gelombang.

Berdasarkan perbandingan kedalaman air d dengan panjang gelombang relatif L , dapat menjadi acuan dalam mengklasifikasikan gelombang

1. Gelombang laut dangkal jika $d/L \leq 1/20$
2. Gelombang laut transisi jika $1/20 < d/L < 1/2$
3. Gelombang laut dalam jika $d/L \geq 1/2$

Klasifikasi ini digunakan untuk menentukan penyederhanaan rumus *celerity* dan panjang gelombang. Dimana perbandingan antar panjang gelombang dengan kedalaman berpengaruh pada faktor penentu *celerity* dan panjang gelombang (Triatmodjo, 1999).

2.2.2 Perhitungan Energi Gelombang Laut pada Laut Transisi

Menurut Triatmodjo (1999) energi yang terdapat dalam suatu gelombang terdiri dari energi kinetik dan energi potensial. Energi kinetik gelombang berasal dari pergerakan gelombang, dimana pergerakan ini menghasilkan kecepatan dari perubahan posisi per satuan waktu partikel kecil dalam gelombang. Sedangkan energi potensial dihasilkan dari perubahan elevasi muka air, sehingga menyebabkan perbedaan potensial energi dari posisi awal dan posisi akhir.

Dalam menghitung energi yang terjadi pada gelombang maka diperlukan suatu persamaan yang memenuhi persamaan gerak gelombang. Dalam penyusunannya diperlukan peninjauan suatu partikel kecil dalam gelombang untuk memudahkan pembentukan persamaan.

Persamaan energi kinetik gelombang diawali dengan meninjau pergerakan suatu partikel kecil dalam pergerakannya dalam sumbu x yang direpresentasikan dalam gerakan linier u dan v . persamaannya dapat ditulis sebagai berikut:

$$dE_k = \frac{1}{2} \rho dx dy (u^2 + v^2) \quad (2.1)$$

Untuk energi kinetik per satuan lebar gelombang didapatkan dari integrasi persamaan diatas untuk sepanjang panjang gelombang dan kedalaman gelombang.

$$E_k = \int_0^L \int_{-d}^0 \frac{1}{2} \rho (u^2 + v^2) dx dy \quad (2.2)$$

Sehingga jika disubstitusikan persamaan kecepatan partikel dalam fluida maka persamaan diatas menjadi:

$$E_k = \frac{\rho g H^2 L}{16} \quad (2.3)$$

Energi potensial akibat gerak gelombang dapat dihitung dari energi potensial gelombang dikurangi energi potensial massa air diam. Dengan perumpamaan dasar laut yang datar dan menjadikannya sebagai acuan sumbu y maka persamaan energi potensial per satuan lebar gelombang adalah sebagai berikut:

$$E_p = \int_0^L \rho g (d + \eta) \left(\frac{d + \eta}{2} \right) dx - \rho g L d \left(\frac{d}{2} \right) \quad (2.4)$$

$$E_p = \frac{\rho g H^2 L_0}{16} \quad (2.6)$$

Dengan substitusi persamaan fluktuasi permukaan air, persamaan (2.4) menjadi persamaan (2.6). Yang mana sama dengan persamaan energi kinetik, sehingga penjumlahan dari energi kinetik dan potensial per satuan lebar gelombang menjadi:

$$E_L = E_p + E_k = \frac{\rho g H^2 L_0}{8} \quad (2.7)$$

Dimana:

- E = Energi gelombang per satuan luas (J/m^2)
- E_k = Energi gelombang per satuan lebar gelombang (J/m)
- E_k = Energi kinetik gelombang (J)
- E_p = Energi potensial gelombang (J)
- ρ = Massa jenis air laut (Kg/m^3)
- u = Kecepatan partikel gelombang secara horizontal (m/s)
- v = Kecepatan partikel gelombang secara vertikal (m/s)
- H = Tinggi gelombang (m)
- L_0 = Panjang gelombang laut dalam (m)
- G = Gravitasi (m/s^2)

Menurut Dean dan Dalrymple (1991) persamaan daya per satuan lebar dari gelombang dapat diturunkan dari persamaan rumus energi total per satuan lebar. Daya gelombang adalah energi yang menjalar dalam tiap satuan waktu (T) dalam arah penjalaran gelombang. Daya gelombang (P) atau fluks energi per satuan lebar gelombang dapat didefinisikan dalam persamaan (2.9).

$$P = \frac{\rho g H^2}{8} C_g \quad (2.8)$$

Dengan C_g adalah kecepatan profil kelompok gelombang. Kecepatan profil kelompok gelombang sendiri memiliki karakteristik yang ditunjukkan oleh persamaan (2.9), dengan k sebagai nomor gelombang ($2\pi/\lambda$). Pada persamaan (2.10) dan (2.11) ditunjukkan bahwa nilai C_g bergantung pada nilai kecepatan fasa gelombang (C), namun nilai panjang gelombang (L), tidak selalu tetap, karena gelombang yang menjalar ke arah pantai akan terpengaruh oleh kedalaman, maka nilai (L_0) perlu diganti dengan (L_1). Nilai panjang gelombang akibat pengaruh kedalaman (L_1) di laut transisi ditunjukkan pada persamaan (2.12).

$$C_g = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right) \frac{L_0}{T} \quad (2.9)$$

$$C = \frac{L_0}{T} = \frac{gT}{2\pi} \quad (2.10)$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (2.11)$$

$$L_1 = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh(kh) \quad (2.12)$$

Faktor pengaruh kedalaman pada hubungan antara C dengan C_g dapat dikonversikan dengan nilai n pada persamaan (2.13).

$$C_g = nC \quad (2.13)$$

Sehingga persamaan daya gelombang (P) dapat diselesaikan dengan substitusi persamaan (2.12) dan (2.13) ke dalam persamaan (2.14).

$$P = \frac{\rho g^2 H^2}{8} n \frac{L_1}{T} \quad (2.14)$$

Dimana:

P = Daya gelombang per satuan lebar (W/m)

C = Kecepatan fasa gelombang (m/s)

C_g = Kecepatan kelompok gelombang (m/s)

H = Tinggi gelombang (m)

T = Periode gelombang (s)

L_1 = Panjang akibat pengaruh kedalaman gelombang (m)

h = Kedalaman perairan (m)

Dapat diperhatikan bahwa perhitungan daya dari gelombang dipengaruhi oleh tinggi dan periode gelombang. Hal ini dapat dijelaskan sebagai bentuk dari penjaralan energi dalam satuan waktu. Sehingga dapat didefinisikan daya gelombang adalah laju alir dari energi gelombang.

Dalam prakteknya daya gelombang yang dihitung bukan berdasarkan satu gelombang saja, namun terdiri dari rangkaian gelombang yang terekam dalam suatu seri data. Untuk membuat perhitungan daya pada pada rangkaian gelombang tersebut menjadi representatif, diperlukan suatu bilangan yang dapat merepresentasikan seri data gelombang.

Bilangan yang dapat merepresentasikan seri data gelombang adalah tinggi gelombang representatif dan periode energi gelombang. Tinggi representatif yang digunakan adalah *H root mean square* (Triatmodjo, 1999), didapatkan dari

persamaan (2.15) dengan data seri gelombang. Sedangkan periode yang dapat digunakan secara representatif untuk perhitungan energi adalah periode energi (T_e). Sehingga persamaan (2.14) dapat ditulis ulang menjadi persamaan (2.15) untuk memenuhi persyaratan yang diperlukan dalam pengolahan seri data gelombang.

$$P = \frac{\rho g^2 H_{rms}^2}{8} n \frac{L_1}{T_e} \quad (2.15)$$

Mengkarakteristikan potensi energi gelombang pada lokasi dimana terdapat kekurangan pada kualitas pengukuran data, terutama pada data spektral, mengharuskan kita untuk melakukan asumsi berdasarkan teori yang ada demi melengkapi parameter yang dibutuhkan. Sebagai contoh, M-buoy dari Irlandia memberikan data periode gelombang dalam bentuk *zero up-crossing periode* (T_z), namun dalam konteks perhitungan potensi energi gelombang, parameter seperti periode puncak (T_p), periode energi (T_e) dan periode rata-rata (T_{01}) lebih sering digunakan (Cahill dan Lewis 2014).

Menurut Cahill dan Lewis (2014) untuk menentukan parameter T_e dari hasil pengukuran data yang terbatas, digunakan sebuah faktor konversi tetap, yang didasarkan pada bentuk spektra gelombang yang representatif untuk daerah tinjauan. Konsekuensi dari pendekatan diatas adalah terjadinya ketidak akuratan dalam perhitungan potensi energi gelombang pada suatu daerah, jika asumsi faktor konversi tidak tepat untuk daerah tersebut. Maka dari itu dibutuhkan parameter yang tepat untuk mengkonversi T_e menjadi parameter yang banyak digunakan pada perhitungan energi gelombang, misal T_p .

Dalam penelitian yang dilakukan Alvarez (2010), didapatkan faktor konversi yang lebih representatif untuk mengkonversi T_e menjadi parameter T_p . Untuk keadaan laut yang memiliki spektra gelombang JONSWAP dengan angka *peak enhancement factor* 3,3 angka konversi paling umum yang digunakan adalah $T_e = 0.9 T_p$. Parameter konversi tersebut dapat digunakan jika parameter

yang diberikan oleh pengukuran gelombang di lapangan tidak memenuhi kebutuhan data. Selain itu, pada tinggi gelombang representatif juga dapat dirubah menggunakan tinggi gelombang signifikan, dengan faktor konversi $H_{rms} = H_s/\sqrt{2}$ (World Meteorological Organization, 1998). Dengan kedua faktor konversi tersebut persamaan (2.15) dapat dirubah menjadi persamaan (2.16).

$$P = \frac{\rho g^2 H_s^2}{14,4} n \frac{L_1}{T_p} \quad (2.16)$$

Sedangkan pada laut dalam, karena efek dasar laut dapat diabaikan, maka persamaan (2.16) dapat ditulis ulang menjadi persamaan (2.17)

$$P = 0,9 \frac{\rho g^2}{64\pi} H_s^2 T_p \quad (2.17)$$

Dimana:

H_s = Tinggi signifikan gelombang (m)

T_p = Periode puncak spektra gelombang (s)

2.2.3 Pembangkitan Gelombang Akibat Angin.

Angin yang berhembus dipermukaan air akan memindahkan energinya. Kecepatan angin akan menimbulkan tegangan pada permukaan laut, sehingga permukaan laut yang sebelumnya tenang akan terganggu dan mulai muncul riak-riak di atas permukaan laut. Apabila kecepatan angin bertambah, riak tersebut menjadi semakin besar, dan jika angin tetap berhembus, riak ini akan menjadi gelombang. Tinggi dan periode gelombang yang dibangkitkan dipengaruhi oleh angin yang meliputi kecepatan angin U , dan panjang *fetch* (Triatmodjo, 1999). Gelombang merupakan penjaralan energi pada permukaan laut, energi ini merupakan konversi dari energi angin yang berhembus di permukaan laut pada rentang jarak tertentu.

Untuk peramalan gelombang, digunakan data oseanografi pada daerah pembangkitan. Data oseanografi yang dimaksud adalah data yang disajikan dalam bentuk kecepatan dan arah angin, serta data kedalaman dari daerah pembangkitan. Berdasarkan kecepatan angin dan kedalaman dari daerah pembangkitan dapat dilakukan peramalan kondisi gelombang pada daerah tersebut. Data oseanografi yang digunakan pada penelitian ini bersumber dari BMKG Stasiun II, berlokasi di Perak, Surabaya. Data yang didapatkan berupa data angin per jam dan disimulasikan menggunakan *Software* WindWave pada koordinat yang ditentukan.

Dalam perhitungan peramalan gelombang digunakan dua sumber referensi yaitu buku Teknik Pantai (1999) dan SPM (*Shore Protection Manual*) Vol.1 (1984).

$$U_{10} = (U_y) \left(\frac{10}{y} \right)^{1/7} \quad (2.18)$$

Dimana:

U_{10} = Kecepatan angin pada posisi 10 meter dari permukaan laut (m/s)

U_y = Kecepatan angin pada posisi y meter dari permukaan laut (m/s)

Data yang didapatkan dari BMKG berupa data angin per jam dengan kecepatan dalam satuan knot (1 knot = 1.852 Km/jam = 0.5144 m/s) serta disimulasikan berada pada posisi 2 meter diatas permukaan laut. Hal ini menyebabkan perlu dilakukannya konversi menjadi satuan SI dan konversi data angin menjadi 10 meter diatas permukaan laut, konversi data angin BMKG menjadi data angin 10 meter diatas permukaan laut dilakukan dengan persamaan (2.18).

Untuk melakukan perhitungan tinggi gelombang dan periode gelombang yang terjadi perlu dilakukan konversi data angin menjadi faktor tegangan angin U_A (*wind stress factor*), U_A dapat dihitung menggunakan persamaan (2.19).

$$U_A = 0.71 (U_{10})^{1.23} \quad (2.19)$$

Dimana:

U_{10} = Kecepatan angin pada posisi 10 meter dari permukaan laut(m/s)

U_A = Faktor tegangan angin (*wind stress factor*) (m/s)

Setelah didapatkan U_A , maka selanjutnya perlu dilakukan perhitungan fetch efektif. Fetch efektif diperlukan untuk menentukan jarak berhembusnya angin diatas permukaan laut, hal tersebut merupakan salah satu faktor penentu dalam pembangkitan gelombang. Fetch efektif dapat dihitung menggunakan persamaan (2.16). Untuk menentukan titik awal pembangkitan perlu dilakukan pemetaan mengenai arah angin dominan dalam bentuk *Windrose*.

$$F_{eff} = \frac{\sum Xi \times \cos \alpha}{\cos \alpha} \quad (2.20)$$

Dimana:

F_{eff} = Fetch efektif (m)

Xi = Xi panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik peramalan hingga ujung fetch (m)

$Cos \alpha$ = Deviasi pada kedua sisi arah angin dominan, dengan penambahan 6° pada kedua sisi angin dominan hingga membentuk sudut komulatif 42° .

Peramalan tinggi gelombang selanjutnya dapat dilakukan dengan mempertimbangkan U_A dan F_{eff} . Tinggi dan periode gelombang yang dihitung juga dipengaruhi oleh kedalaman perairan peramalan. Untuk itu digunakan persamaan (2.21) dan (2.22) yang dapat memperhitungkan peramalan gelombang pada laut dalam yang berasal dari Shore Protection Manual (SPM) Vol.1.

$$H_0 = 5.112 \times 10^{-4} U_A F^{1/2} \quad (2.21)$$

$$T_0 = 6.238 \times 10^{-2} (U_A F)^{1/3} \quad (2.22)$$

Dimana:

H_0 = Tinggi signifikan gelombang berdasarkan spektra (m)

T_0 = Periode puncak spektra gelombang(s)

U_A = Faktor tegangan angin (m/s)

F = *Fetch* efektif (m)

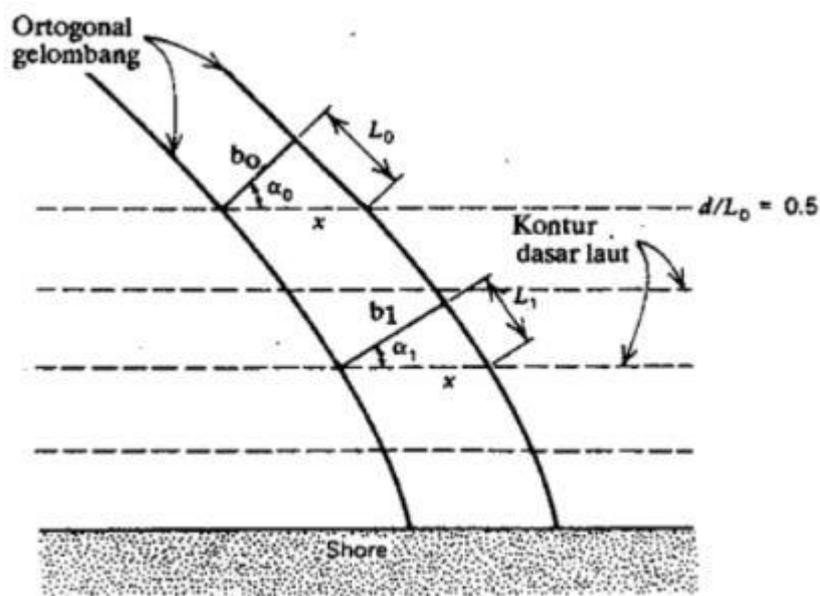
2.2.4 Refraksi Gelombang

Umumnya data gelombang yang tersedia, baik dari hasil pengukuran maupun data penginderaan jauh, merupakan data untuk laut dalam (deep water), yang kemudian akan dihitung berdasarkan teori deformasi gelombang sehingga didapatkan parameter gelombang di laut transisi dan laut dangkal. Jika suatu gelombang bergerak menuju pantai, gelombang tersebut akan mengalami perubahan bentuk dan arah diakibatkan oleh perubahan kontur dasar laut (batimetri). Peristiwa yang terjadi adalah proses refraksi, pendangkalan gelombang (*shoaling*), difraksi dan gelombang pecah. Refraksi dan proses pendangkalan gelombang terjadi dimana kedalaman air lebih besar dari setengah panjang gelombang, yaitu pada daerah laut transisi dan laut dangkal. Pada daerah ini, kecepatan gelombang yang berada pada kontur lebih dalam memiliki kecepatan yang lebih besa. Sehingga jika ditinjau dari garis puncak gelombang, puncak gelombang yang berada di laut dangkal akan menjalar dengan kecepatan yang lebih kecil. Akibatnya puncak gelombang akan selalu berusaha untuk mensejajarkan diri dengan kontur dasar laut (Triatmodjo, 1999).

Pendangkalan gelombang (*shoaling*), juga terjadi ketika gelombang menjalar mendekati pantai dan mulai mengalami gesekan dengan dasar laut. Akibat dari gesekan ini kecepatan gelombang berkurang dan panjang gelombang pun memendek. Dikarenakan terdapat perubahan kecepatan gelombang, sementara energi dalam gelombang belum lepas, gelombang belum pecah, maka tinggi gelombang akan semakin membesar. Namun karean perhitungan pendangkalan gelombang menggunakan prinsip kekekalan energi, maka perhitungan *shoaling* tidak dapat dilepaskan dari perhitungan refraksi.

Kedua peristiwa diatas adalah peristiwa yang terjadi terhadap gelombang ketika gelombang memasuki daerah transisi. Gambar 2.1 menggambarkan refraksi dan *shoaling* sekaligus. Pada gambar 2.1 diperlihatkan, karena arah datang gelombang tidak sejajar dengan kontur laut, maka gelombang akan berusaha berbelok untuk menyeimbangkan gaya- gaya yang terjadi pada dasar laut,

terjadilah peristiwa refraksi yaitu pembelokan gelombang dan *shoaling* berupa perubahan panjang dan kecepatan gelombang. Kedua peristiwa ini mempengaruhi perubahan tinggi gelombang ketika menuju kontur kedalaman yang lebih kecil, pengaruh dari kedua peristiwa ini diwakili oleh K_R yaitu koefisien refraksi dan K_S yaitu koefisien *shoaling*. Sehingga tinggi gelombang pada kontur baru dapat dihitung dengan persamaan (2.13).



Gambar 2.1 Peristiwa Refraksi dan *Shoaling* (sumber: Triatmodjo, 1999).

$$H_i = K_R K_S H_0 \quad (2.23)$$

Dimana:

H_i = Tinggi gelombang pada kontur baru (m)

H_0 = Tinggi gelombang pada laut dalam (m)

K_R = Koefisien Refraksi

K_S = Koefisien *Shoaling*

Pembelokan yang terjadi ketika gelombang memasuki kontur baru (refraksi) dapat dihitung dengan hukum Snell. Hal ini dikarenakan pembelokan yang terjadi pada gelombang dapat disamakan dengan proses pembelokan cahaya ketika melewati dua medium berbeda. Pada gambar 2.2, perubahan kontur yang terjadi diumpamakan seperti anak tangga, dimana tidak ada peristiwa refraksi yang terjadi antar dua kontur tersebut. Sesuai hukum Snell berlaku persamaan (2.24).

$$\sin \alpha_2 = \left(\frac{C_2}{C_1} \right) \sin \alpha_1 \quad (2.24)$$

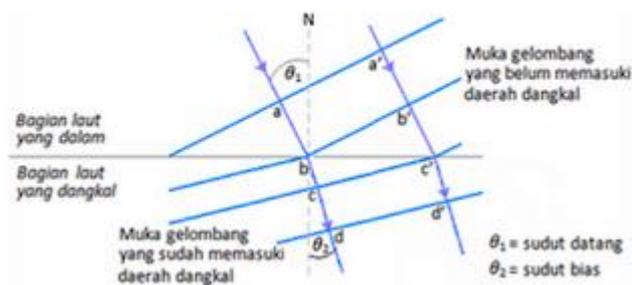
Dimana:

$\sin \alpha_1$ = Sudut antar garis puncak gelombang dengan garis kontur dimana gelombang melintas.

$\sin \alpha_2$ = Sudut baru antar garis puncak gelombang dengan garis kontur dimana gelombang telah melintas.

C_1 = Kecepatan gelombang saat melintasi kontur.

C_2 = Kecepatan gelombang setelah melintasi kontur.



Gambar 2.2 Peristiwa Refraksi beserta sudut pembelokannya.

2.2.5 Penelitian dan Pengembangan PLTGL tipe OWS

Salah satu universitas yang vokal dalam mengembangkan konsep konverter energi gelombang adalah Queen's University Belfast (QUB). Penelitian mengenai energi gelombang di QUB telah berkembang sejak tahun 1997 dengan penelitian

dan pembangunan prototype PLTGL tipe Oscillating Water Column (OWC) berkapasitas 75 kW, dan dilanjutkan dengan proyek LIMPET, sebuah OWC tipe komersial berkapasitas 500 kW (Anonim, 2002). Teknologi OWC menawarkan potensi pengembangan dan manfaat yang menarik, dikarenakan sistem operasi yang sederhana serta komponen operasi yang sedikit. Namun sejauh ini efisiensi turbin pada OWC terbukti mengecewakan, serta tantangan pada laut dangkal berupa hidrodinamika kolom air yang sulit dipecahkan menjadi sebuah masalah tersendiri untuk pengembangan lebih lanjut. Oleh sebab itu, dengan pengalaman yang telah didapat tim QUB dari pendesaian, pengujian dan pembangunan dua PLTGL tipe OWC, QUB mengajukan sebuah konsep baru PLTGL pada laut dangkal bernama *Oscillating Wave Surge Converter* (Whittaker dan Folley, 2012).

OWS pada umumnya berbentuk sebagai sebuah papan dengan engsel pada dasar laut, yang berosilasi mengikuti gerakan *surge* gelombang. Gerakan surge gelombang ini didapatkan dari pergerakan partikel air secara horizontal pada daerah mendekati pantai (*nearshore area*) pada kedalaman antara 10m- 25m. Dengan pertimbangan dari kedalaman perairan, OWS dapat diinstansi dengan karakteristik surface piercing, submerged, atau floating. Alat komersial yang paling terkenal dari PLTGL tipe ini adalah Oyster dan WaveRoller. Oyster adalah OWS dengan karakter surface piercing yang dikembangkan oleh Aquamarine Power sejak awal 2000. Dua prototype skala asli telah diinstalasi pada musim panas tahun 2009 dan 2011 di European Marine Energy Centre, Orkney, Skotlandia. Sedangkan WaveRoller adalah OWS dengan karakter submerged yang dikembangkan oleh AW Energy sejak tahun 2004. Pada tahun 2013, prototype dari WaveRoller dengan tiga panel telah diinstalasi dan dikoneksi dengan jaringan listrik Peniche, Portugal dengan total daya mampu 300Kw (Rahuma dan Yaakob, 2015).



Gambar 2.3 *Oscillating Wave Surge* (OWS) (sumber: aquaret.com).

2.2.6 Cara Kerja dan Penangkapan Daya pada OWS

Sistem pembangkit listrik tenaga gelombang tipe *Oscillating wave Surge* (OWS) memanfaatkan energi *surging* gelombang sebagai sumber utama energi, berbeda dengan beberapa alat konversi energi gelombang yang memanfaatkan gerakan naik turun permukaan air. Energi *surging* ini didapatkan dari pergerakan horizontal partikel air pada gelombang. Oleh sebab itu sistem ini biasanya ditempatkan pada lingkungan mendekati pantai, dimana pergerakan horizontal partikel air teramplifikasi sebagai akibat terbentuknya gelombang laut transisi. Sistem dapat bekerja secara maksimal dengan menghadapkan panel pada arah datang gelombang. (Folley dkk, 2007).

Secara lebih teknis, OWS bekerja dengan mengkonversi energi *surging* gelombang menggunakan sebuah panel vertikal. Dalam salah satu variasi dari OWS, energi *surging* gelombang ditangkap oleh sebuah panel *bouyant*, panel *bouyant* tersebut terpaku menggunakan engsel pada dasar laut. Panel tersebut diletakkan dengan sisi lebar menghadap arah datang gelombang. Dengan susunan tersebut energi *surging* gelombang membuat gerakan melambai *pitching* pada panel *bouyant*. Terdapat dua piston hidrolis dipasangkan pada masing- masing sisi panel pada sisi arah pergi gelombang, kedua piston ini berfungsi sebagai

sistem *power take-off* (PTO) pada OWS. Pada saat operasi kedua piston hidrolis berfungsi juga sebagai gaya redam gerakan panel. Tekanan dari kedua piston hidrolis tersebut kemudian digunakan untuk memutar sebuah generator hidro-elektrik (Schmitt et al., 2016).

Capture Width (CW) pertamakali dikenalkan oleh Budar dan Falnes (1975), lihat juga dalam Rahuma dan Yaakob (2015), adalah sebuah parameter yang mendefinisikan keandalan dari suatu sistem PLTGL. Parameter ini mengukur kemampuan PLTGL dalam mengkonversi daya gelombang ke dalam daya yang dapat dimanfaatkan oleh alat, dicapai dengan nilai perbandingan antara nilai daya yang ditangkap dengan nilai daya pada gelombang.

$$CWR = \frac{P_{ab}}{P_{res}} \quad (2.25)$$

Dimana:

CW = *Capture Width Ratio*

P_{ab} = Daya terserap (W)

P_{res} = Daya tersedia (W)

Dalam pengaplikasian pada OWS, pengukuran efisiensi dari penangkapan energi dapat dilakukan dengan membagi *capture width* karakter dimensi dari OWS dengan parameter B, berupa lebar dari panel OWS. Dengan perhitungan ini dapat dicari nilai *capture width ratio* (CWR) dari alat OWS untuk berbagai ukuran lebar panel. CWR mewakili perbandingan antara jumlah daya yang ditangkap oleh alat dengan jumlah daya gelombang yang melewati alat, dituliskan dalam persamaan (2.25), dengan hubungan antara lebar panel dengan CWR disediakan pada gambar 2.4.

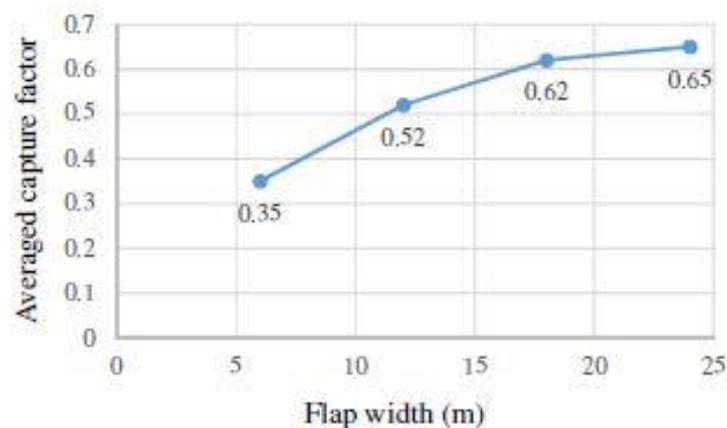
$$CWR (\eta) = \frac{CW}{B} = \frac{P_{ab}}{P_{res} B} \quad (2.26)$$

Dimana:

CWR = Capture Width Ratio

B = Lebar Panel OWS (m)

Pada OWS WaveRoller, panel yang digunakan memiliki dimensi 12 m x 8 m. Panel ini bekerja dengan cara yang sama dengan kebanyakan sistem OWS, yaitu menyalurkan energi *surge* gelombang yang tertangkap pada panel menuju sistem hidrolik bertekanan tinggi. Fluida pada sistem hidrolik ini kemudian ditransmisikan menuju generator hidro elektrik. Energi yang dihasilkan dari generator kemudian ditransmisikan menuju darat menggunakan kabel bawah laut. Terdapat beberapa jenis WaveRoller yang telah diberitakan saat ini, termasuk diantaranya prototype 100 Kw yang telah diinstalasi di Peniche, Portugal dan WaveRoller kapasitas 350 Kw yang masih dalam perkembangan. Berikut dicantumkan mengenai kedalaman perairan tempat WaveRoller beroperasi, berikut daftar operasi kedalaman pada tabel 2.1



Gambar 2.4 Grafik nilai CWR dengan perbandingan lebar panel. (Rahuma, F dan Yaakob, O)

Kedalaman	Keterangan	Sumber
13 meter	Kondisi panel tenggelam keseluruhan atau sebagian berada di atas permukaan laut dengan lebar panel 12m x 8 m, kapasitas daya 100 Kw.	Leandro.2011.Waveroller An environmental perspective
10-15 meter	Kondisi panel tenggelam keseluruhan atau sebagian berada di atas permukaan laut dengan lebar panel 18m x 10 m, kapasitas daya 350 Kw	Jussi Åkerberg, Development Manager, PTO Manager, AW-Energy

Tabel 2.1 Kondisi operasi kedalaman WaveRoller.

Namun dari kedua operasi kedalaman tersebut dapat disimpulkan bahwa WaveRoller beroperasi pada kondisi panel tenggelam keseluruhan atau sebagian berada di permukaan. Hal ini mengindikasikan kemungkinan adaptasi alat terhadap pasang surut. Pada penelitian ini dipilih alat dengan ukuran panel pada fase komersil 12x8 meter, satu buah alat WaveRoller memiliki kapasitas produksi energi 100 Kw (Kasanen, 2015).



Gambar 2.5 OWS WaveRoller 100 Kw (Kasanen, 2015).

Capture width ratio (CWR) pada masing- masing alat memiliki nilai yang berbeda. Nilai tersebut dipengaruhi oleh ukuran flap, kedalaman instalasi, kondisi gelombang dan *power takeoff* dari masing- masing alat. Nilai ini bisa dimanipulasi menurut kebutuhan dari alat yang akan dibangun, dalam kasus ini

prototype WaveRoller dirancang untuk diinstalasi pada kedalaman 13 meter dan menghadapi gelombang dengan karakteristik lepas pantai Portugal. Pada gambar 2.6 ditunjukkan *capture width ratio* untuk *prototype* WaveRoller Peniche 100Kw, dapat diperhatikan nilai CWR menurun dengan semakin membesarnya nilai H_s dan T . Produksi daya (P_{prod}) pada alat OWS bergantung pada nilai daya terserap dan efisiensi *Power Take Off* (η_{PTO}). Efisiensi PTO adalah gabungan dari efisiensi peralatan konversi daya terserap oleh alat menjadi daya listrik, yang terdiri dari pompa hidrolis, motor hidrolis bertekanan dan generator. Hubungan antara daya terserap (P_{ab}) dengan efisiensi PTO (η_{PTO}) dapat dilihat pada persamaan (2.27).

$$P_{prod} = P_{ab} \times \eta_{PTO} \quad (2.27)$$

$$E_{prod} = P_{prod} \times CF \times T_o \quad (2.28)$$

Dimana:

P_{prod} = Daya diproduksi oleh alat (watt)

η_{PTO} = Efisiensi *power take-off* (PTO)

E_{prod} = Energi diproduksi oleh alat (watt hour)

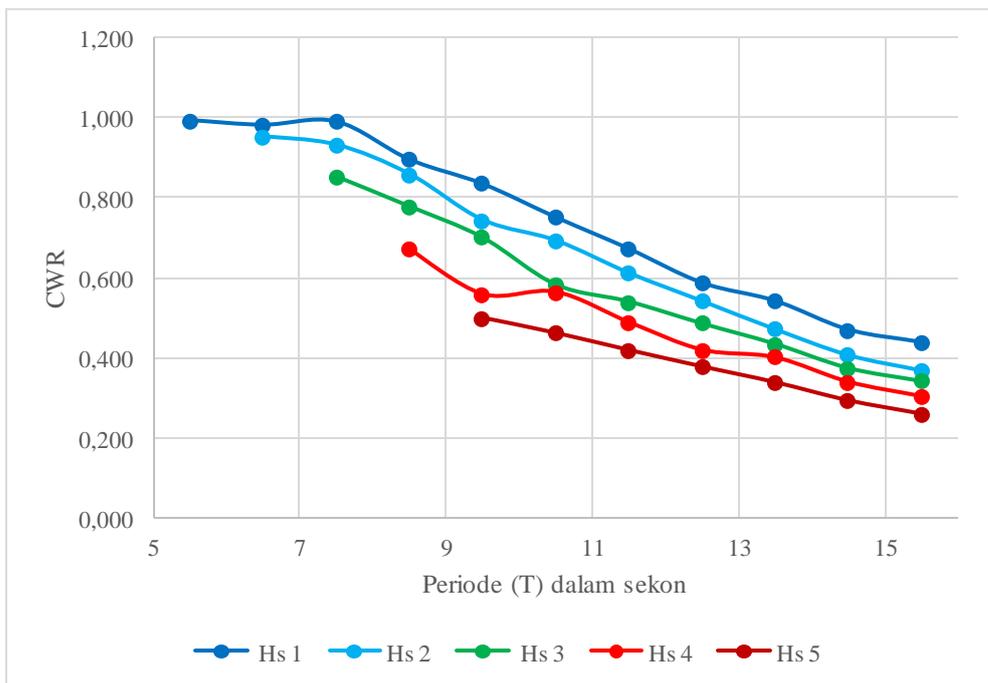
CF = *Capacity Factor*

T_o = Lama waktu alat bekerja (jam)

Setelah didapatkan nilai produksi daya alat, maka dapat dihitung nilai produksi energi. Energi yang diproduksi oleh alat selama waktu operasi bergantung pada *Capacity Factor* (CF) dan lama waktu operasi (T_o). *Capacity Factor* mendefinisikan berapa prosentase waktu alat bekerja dalam suatu periode waktu tertentu. Persamaan (2.28) mendefinisikan nilai produksi energi dari alat OWS.

Tabel 2.2 CWR WaveRoller 100 Kw masing- masing *Seastate*(Maki dkk, 2014).

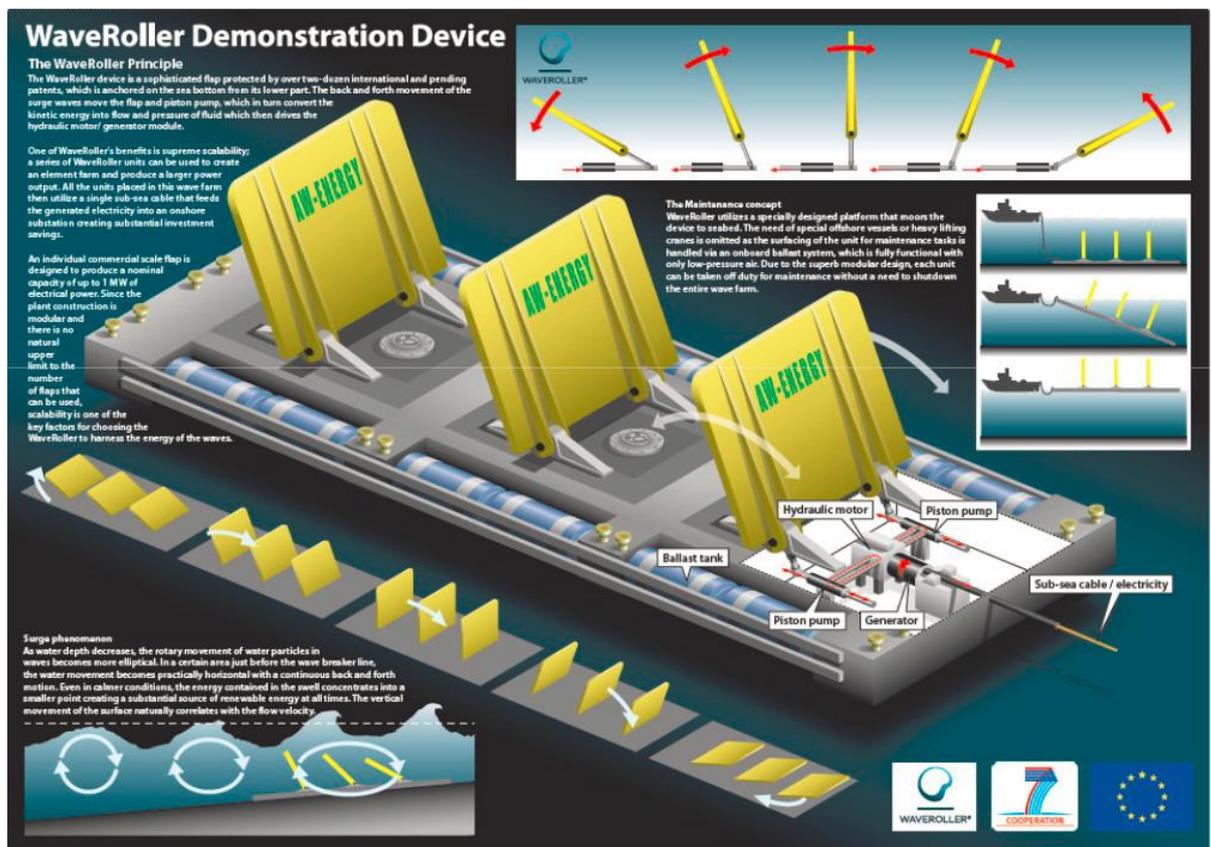
		Tinggi Gelombang Signifikan H_s (m)				
		Hs 1	Hs 2	Hs 3	Hs 4	Hs 5
Periode Energi Gelombang (s)	5	0,994				
	6	0,982	0,953			
	7	0,990	0,933	0,853		
	8	0,896	0,859	0,778	0,672	
	9	0,835	0,745	0,700	0,559	0,500
	10	0,751	0,693	0,583	0,565	0,462
	11	0,672	0,612	0,540	0,489	0,419
	12	0,587	0,542	0,486	0,420	0,378
	13	0,542	0,471	0,435	0,401	0,339
	14	0,470	0,406	0,374	0,340	0,293
	15	0,439	0,368	0,342	0,304	0,260



Gambar 2.6 *Capture Width Ratio Prototype WaveRoller Peniche* untuk kondisi H_s dan T_e yang berbeda (Maki dkk, 2014).

Alat OWS tipe WaveRoller memiliki dua kompone utama yaitu flap yang berfungsi sebagai penangkap energi dan *steel gravity foundation* yang berfungsi

untuk menahan alat berada di dasar laut sekaligus menjadi tempat PTO berada. Cara instalasi dari WaveRoller sendiri terbilang sederhana, dikarenakan sistem alat yang bersifat modular, dimana *steel gravity foundation* dapat dikosongkan pada sistem *ballast* sehingga keseluruhan modul dapat mengapung. Dengan demikian untuk proses instalasi diperlukan kapal tunda untuk menarik fondasi hingga ke lokasi instalasi, lalu tanki *ballast* dapat diisi dengan air, sehingga struktur tenggelam. Proses instalasi ini membutuhkan satu kapal tunda, kapal nelayan untuk pompa ballast, dan satu *support vessel*. Untuk modul flap sendiri dapat langsung dipasangkan pada modul fondasi. Cara instalasi berikut komponen utama dari WaveRoller 100 Kw Peniche dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Detail Komponen Alat dan cara Instalasi WaveRoller Peniche (Kasanen, 2015).

2.2.7 Analisa Biaya

Perhitungan biaya dibutuhkan untuk mengetahui tingkat kelayakan secara ekonomi pembangunan PLTGL di suatu lokasi. Dalam perhitungan biaya dilakukan perhitungan total biaya selama satu tahun dan membagi biaya tersebut dengan total energi yang dapat dihasilkan selama satu tahun (Constance, 1979 dalam Widowati, 2014). Beberapa parameter yang dapat dijadikan pedoman perhitungan biaya dapat dilihat sebagai berikut, sebagaimana yang dijelaskan pada penelitian oleh Widowati, 2014.

A. Biaya Tetap

- a. Biaya Pembangunan Struktur
- b. Biaya Perlengkapan Daya
- c. Biaya Outfitting Perlengkapan
- d. Biaya Instalasi
- e. Biaya Transmisi

B. Biaya Variabel (*Annually*)

- a. Biaya Cicilan Hutang (cicilan pokok (C_P) dan cicilan bunga (C_B))
- b. Biaya Perawatan
- c. Biaya Operator
- d. Biaya Administrasi

C. Biaya per KWh

Biaya produksi energi per KWh

$$\text{Biaya produksi per KWh} = \frac{\text{Total biaya tahunan}}{\text{Energi yang dihasilkan selama satu tahun}} \quad (2.29)$$

2.2.7.1 Biaya pembangunan Struktur dan Outfitting

Biaya pembangunan struktur dan *outfitting equipment*, dihitung menggunakan grafik harga pembangunan struktur kapal yang didapatkan dari buku Practical Ship Design 2002. Lebih lanjut grafik tersebut telah diregresi dalam penelitian yang dilakukan sebelumnya (Dinggi, 2018). Biaya pembangunan struktur didasarkan pada biaya pembangunan per unit berat, dimana biaya pembangunan per unit berat ini bervariasi bergantung pada berat total struktur. Setelah didapatkan biaya per unit berat struktur maka berat per unit tersebut dapat dikalikan dengan total berat struktur sehingga didapatkan biaya total dari struktur. Persamaan regresi dari biaya per unit untuk suatu struktur terapung berupa ponton disajikan dalam tabel 2.3.

Metode yang digunakan untuk menghitung biaya *outfitting* sama dengan cara menghitung biaya pembangunan struktur. Didasarkan pada biaya *outfitting* per unit berat, dimana biaya *outfitting* per unit berat ini bervariasi bergantung pada berat total peralatan. Dengan nilai x adalah berat total struktur atau *equipment* dalam ton.

Tabel 2.3. Biaya Pembangunan dan *Outfitting Equipment* per Unit Berat (Walter, 2002 dalam Dinggi, 2018).

Estimasi Biaya Produksi Kapal	
Biaya Struktur (US \$)	$y = -0.0000000011x^3 + 0.00003x^2 - 0.39x + 3972.12$
Biaya <i>Outfitting Equip.</i> (US \$)	$y = -0.0000000011x^3 + 0.000049x^2 - 3.16x + 18440.66$

2.2.7.2 Biaya Cicilan Hutang

Biaya cicilan hutang dibagi menjadi biaya cicilan pokok dan biaya cicilan bunga. Persamaan yang digunakan untuk menghitung cicilan pokok dan bunga efektif adalah persamaan (2.30) dan (2.31). Dalam persamaan

tersebut perlu ditentukan lama tenor dari hutang dan besaran persen bunga yang diberlakukan pada hutang.

Berdasarkan keterangan Wakil Menteri ESDM Archandra Tahar dalam situs finance.detik.com/energi/d-3499484/pengusaha-energi-terbarukan-kesulitan-cari-utang-dari-bank-asing, untuk dapat beroperasi secara menguntungkan perusahaan energi terbarukan harus mendapatkan pinjaman dengan bunga dibawah 5%. Selain itu diperlukan tenor hutang diatas lima tahun. Contoh unuk skenario hutang ini terdapat pada pembangunan PLTA Kumbih III, dimana hutang yang didapatkan sebesar 85 juta Euro, dengan tenor 15 tahun (Artanti, 2017, <http://news.metrotvnews.com/read/2017/12/16/802931/bangun-plta-kumbih-iii-pln-raih-kredit-dari-kfw-jerman>, 22 Desember 2018).

$$C_P = \frac{P_H}{T_H} \quad (2.30)$$

$$C_B = (P_H - ((1 - y)C_P)) \times B_{eff} \quad (2.31)$$

Dimana:

P_H = pokok hutang (Rp)

T_H = tenor hutang (tahun)

C_P = cicilan pokok (Rp)

B_{eff} = bunga efektif

C_B = cicilan bunga (Rp)

y = waktu pembayaran ke- (tahun)

Cicilan pokok dihitung dari jumlah pokok hutang dibagi dengan lamanya pembayaran hutang atau tenor. Cicilan bunga efektif dihitung dari sisa kewajiban pembayaran hutang pada tahun pembayaran tertentu dikalikan dengan prosentase bunga efektif yang sudah ditentukan.

2.2.8 Rasio Elektrifikasi

Rasio elektrifikasi adalah perbandingan antara jumlah penduduk yang memiliki akses listrik dengan jumlah penduduk secara keseluruhan. Rasio ini penting untuk mengukur tingkat ketersediaan listrik di masyarakat. Rasio ini dapat pula digunakan untuk menandai jumlah keluarga belum berlistrik dibandingkan jumlah keluarga keseluruhan pada suatu daerah. Dengan data rasio elektrifikasi, maka dapat dihitung jumlah kebutuhan listrik suatu daerah dengan mengkalikan jumlah warga belum berlistrik dengan target listrik per warga. Persamaan (2.31) dan (2.32) mendeskripsikan rasio elektrifikasi secara lebih jelas.

$$RE = \frac{RT_L}{RT} \quad (2.31)$$

$$RT_{NL} = RT - (RE \times RT) \quad (2.32)$$

$$W_{NT} = RT_{NL} \times W_N \quad (2.33)$$

Dimana

RE = rasio elektrifikasi

RT = jumlah rumah tangga total daerah

RT_L = jumlah rumah tangga berlistrik

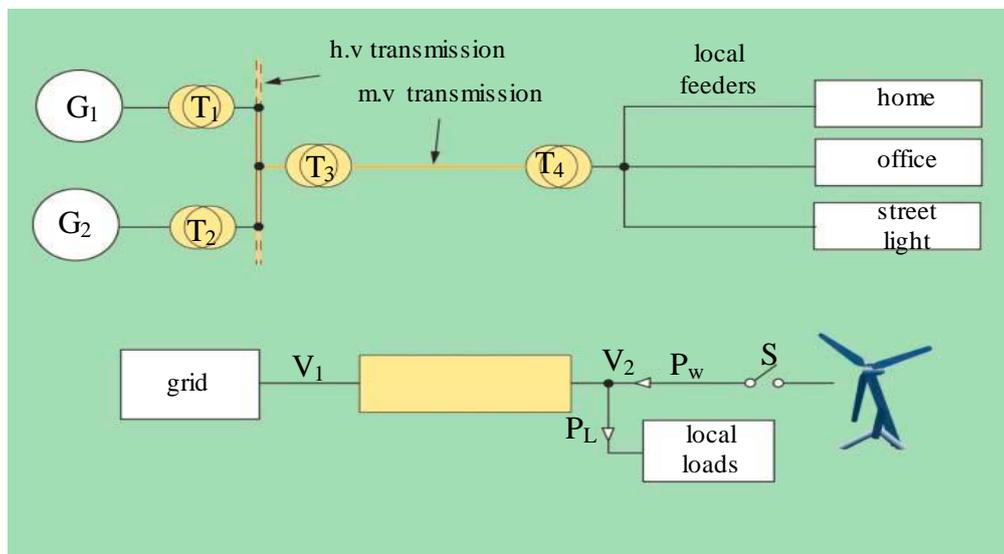
RT_{NL} = jumlah rumah tangga non listrik

W_N = jumlah kebutuhan listrik per keluarga (w)

W_{NT} = jumlah kebutuhan daya total daerah (w)

2.2.9 Jaringan Transmisi Energi Listrik

Sistem jaringan transmisi listrik memiliki fungsi menyalurkan energi dari pembangkit menuju konsumen. Tujuan utama dari sistem jaringan listrik adalah menyalurkan energi dengan cara seefisien mungkin baik dalam tinjauan material penghantar maupun energi itu sendiri. Tingkat efisiensi ini dicapai dengan melakukan perencanaan jaringan berupa penaikan dan penurunan tegangan serta pemilihan material penghantar. Penaikan dan penurunan tegangan dilakukan dengan transformer *step-up* dan *step-down*, pemilihan material penghantar menjadi penting karena mempertimbangkan nilai tahanan penghantar sekaligus harga dari material penghantar.



Gambar 2.8 (a) Jaringan transmisi dan distribusi pada listrik konvensional, (b) Jaringan transmisi dan distribusi pada listrik terbarukan (Lynn, 2014).

Pada jaringan distribusi listrik konvensional Gambar (2.8 a), energi yang dihasilkan pada pembangkit (G_1 dan G_2) akan ditransformasi pada transformer *step-up* (T_1 dan T_2) sehingga energi tersebut akan dialirkan dalam bentuk tegangan tinggi namun dengan arus yang rendah, hal ini memiliki keuntungan berupa mengurangi susut daya pada penghantar, serta memungkinkan penggunaan material penghantar yang lebih kecil dan lebih murah. Aliran energi atau daya kemudian ditransmisikan menuju jaringan transmisi tegangan tinggi, tegangan

pada jaringan ini berkisar antara 110 kV- 750kV. Selanjutnya daya listrik akan diturunkan pada transformer *step-down* (T_3) dan ditrisbusikan melalui jaringan tegangan menengah. Akhirnya daya listrik akan diturunkan kembali melalui transformer *step-down* (T_4) menjadi tegangan yang dapat dimanfaatkan oleh konsumen (Lynn 2014).

Pada jaringan distribusi daya listrik dengan koneksi pada turbin arus laut (b), daya yang dihasilkan oleh turbin disalurkan menuju jaringan distribusi tegangan menengah. Dengan asumsi bahwa jaringan listrik pada sebelah kiri jaringan turbin arus merupakan jaringan listrik konvensional, yang termasuk di dalamnya jaringan tegangan tinggi dan generator. Pada jaringan turbin arus, daya yang dihasilkan oleh turbin dikoneksi pada jaringan dengan sebuah saklar pengatur (S). Dengan koneksi daya dari turbin dialirkan menuju beban konsumen (P_L) dengan voltase yang umum digunakan oleh konsumen (V_2).

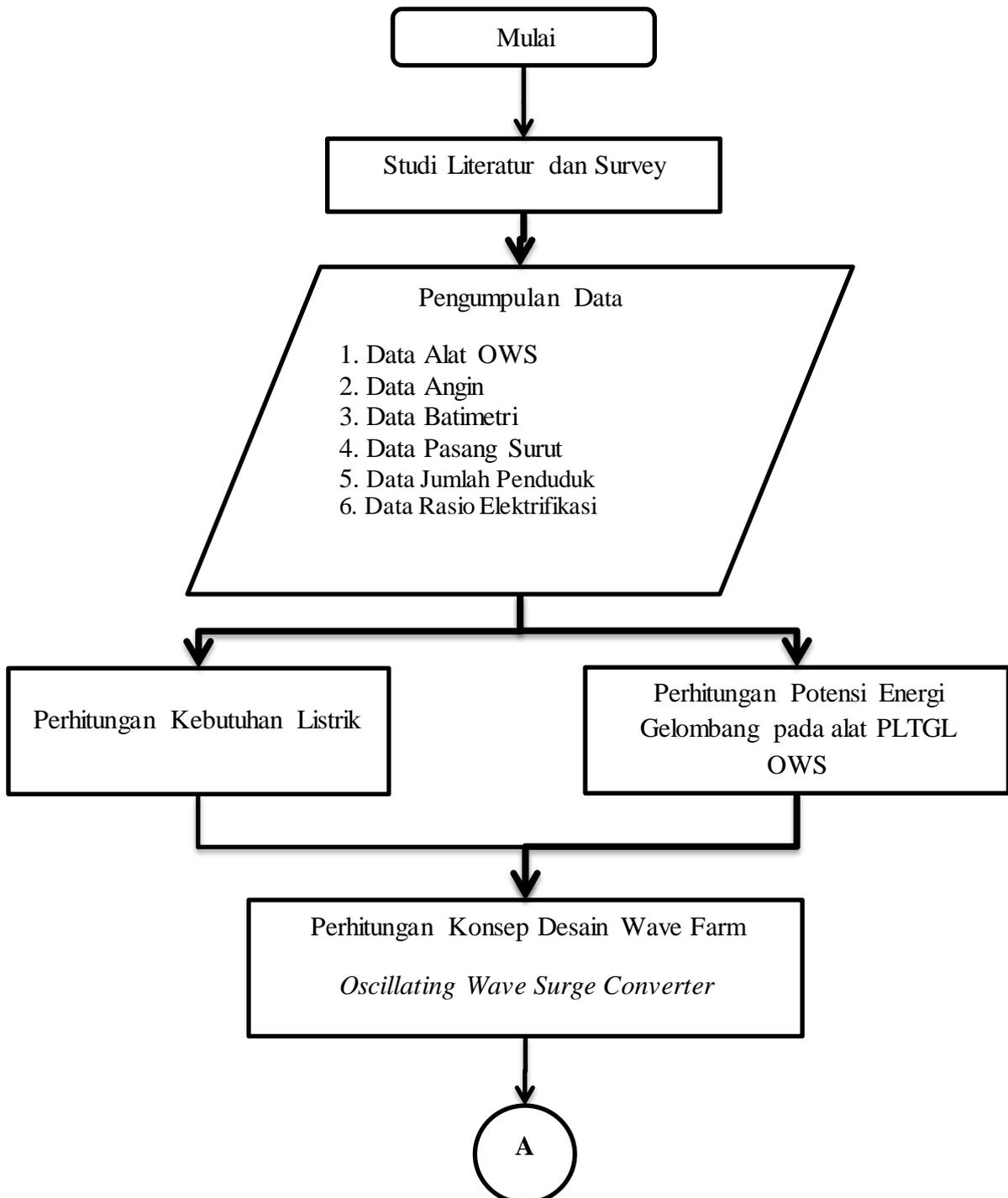
Halaman ini sengaja dikosongkan

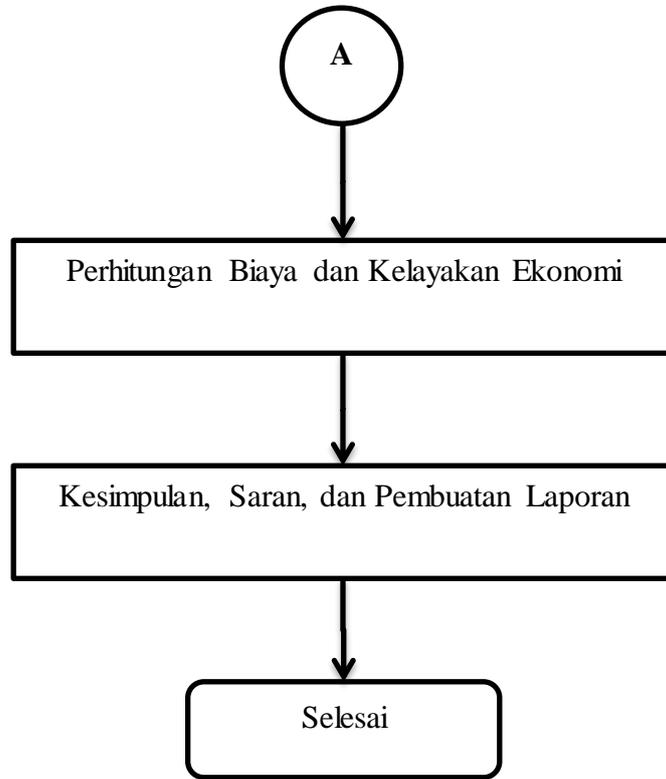
BAB 3

METODOLOGI

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini dijelaskan dalam diagram alir berikut:





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

3.2 Prosedur Peneliatian

Prosedur yang digunakan berdasarkan diagram alir diatas adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur dan survey, dilakukan untuk mengumpulkan informasi dan dasar teori mengenai pengolahan data gelombang menjadi data energi gelombang. Serta untuk mendapatkan data yang diperlukan dari lingkungan. Data lingkungan masing masing didapatkan dari BMKG untuk data angin, data pasut dan batimetri dari Dishidros TNI AL. Data kependudukan dan kelistrikan didapatkan dari BPS Kabupaten Sumba Barat dan BPS Kabupeten TTS serta data presentasi PLN Kantor Wilayah NTT tentang Kondisi Kelistrikan Nusa Tenggara Timur tahun 2017.
2. Perhitungan kebutuhan listrik. Analisa dimulai dengan pengumpulan data berupa jumlah penduduk dan kepala keluarga, rasio elektrifikasi, dan rencana pembangunan pembangkit baru di kedua kabupaten. Rasio elektrifikasi merupakan data yang menggambarkan prosentase kepala keluarga berlistrik dibandingkan jumlah keseluruhan kepala keluarga dalm satu kabupaten. Dari data jumlah penduduk, kepala keluarga dan rasio elektrifikasi, dapat diketahui jumlah kepala keluarga yang belum mendapatkan akses listrik. Selain itu diasumsikan pula jumlah konsumsi minimal listrik per keluarga masyarakat dan pengurangan jumlah kebutuhan daya karena pembangunan pembangkit baru untuk menghitung jumlah akhir kebutuhan listrik masyarakat.
3. Pengumpulan data (kondisi alam), melakukan pengumpulan data awal sebagai acuan untuk menentukan titik koordinat yang paling cocok dalam menempatkan alat PLTGL pada Kabupaten Sumba Barat dan Timor Tengah Selatan. Data yang dikumpulkan adalah data batimetri, yang kemudian digunakan untuk dikonfirmasi dengan data tabel 2.1 mengenai kondisi operasi kedalaman dari WaveRoller. Data batimetri ini kemudian dikoreksi dengan data pasang surut, sehingga dapat memenuhi standar

operasi WaveRoller berupa kondisi panel yang seluruhnya tenggelam atau sebagian muncul dipermukaan air saat air laut surut. Untuk mengantisipasi kemungkinan arah datang gelombang yang acak selama satu tahun, maka diperlukan data peta arah datang gelombang selama lima tahun (2013-2017) yang didapat dari BMKG. Hal ini perlu dilakukan agar penempatan PLTGL sesuai dengan kondisi alam yang terjadi. Kondisi alam yang mungkin terjadi adalah perbedaan arah datang gelombang yang akan mempengaruhi tingkat efektifitas PLTGL. Jika tidak ditempatkan pada lokasi yang tepat, PLTGL berpotensi untuk tidak bekerja karena gelombang yang datang terhalang oleh karakteristik pantai pada lokasi penempatan.

4. Pengumpulan data (kondisi alam), dilakukan untuk mendapatkan data awal yang nantinya akan digunakan untuk menghitung potensi energi gelombang, serta menggambarkan keteracakan dari potensi energi tersebut (dalam arah datang gelombang). Data yang digunakan adalah data angin pada masing-masing titik koordinat pada Kabupaten Sumba Barat dan Timor Tengah Selatan yang telah ditentukan. Data tersebut didapatkan dari BMKG. Data angin akan diolah untuk mengetahui arah angin dominan setiap bulannya. Dari arah angin dominan akan ditentukan F_{eff} untuk masing-masing arah datang angin. Ketika telah memiliki pemetaan data angin berupa distribusi kecepatan arah dan frekuensi, dapat dilakukan perhitungan H_s dan T_p pada masing-masing Kabupaten menggunakan persamaan (2.17) dan (2.18).
5. Perhitungan potensi energi gelombang. Potensi energi didapatkan melalui perhitungan daya yang dapat dihasilkan oleh satu alat PLTGL OWS komersial dengan spesifikasi WaveRoller, tabel 2.1 dan gambar 2.6. Perhitungan dilakukan berdasarkan keadaan gelombang, kondisi betimetri yang cocok untuk penempatan alat dan pengaruh yang dihasilkan oleh perbedaan muka air akibat pasang surut. Data yang diperlukan adalah

kemampuan alat untuk mengkonversi energi gelombang pada masing-masing kondisi laut.

6. Perhitungan konsep desain *wave farm*. Setelah mendapatkan hasil pemetaan potensi energi gelombang dan kebutuhan listrik masyarakat, dapat dilakukan perhitungan konsep desain *wave farm* dengan PLTGL tipe OWS yang tepat. Dimanan konsep ini diharapkan mampu memberikan energi yang efektif pada fungsinya untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat.
7. Perhitungan biaya dan kelayakan ekonomi, dilakukan saat sudah memiliki skema perencanaan desain *wave farm* beserta infrastruktur pendukungnya yaitu jaringan transmisi listrik. Dengan perhitungan biaya yang dibutuhkan untuk membangun keseluruhan sistem dan biaya perawatan selama umur alat.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Tabel 4.1 Jumlah Penduduk dan KK Kabupaten Sumba Barat. (BPS Sumba Barat, 2017)

No	Kecamatan	Penduduk	Rumah Tangga
1	Lamboya	17481	3749
2	Wanokaka	15706	3004
3	Laboya Barat	8262	1802
4	Loli	30519	4686
5	Kota Waikabubak	32278	5564
6	Tana Righu	19666	4012
	Sumba Barat	123912	22817

Tabel 4.2 Jumlah Penduduk dan KK Kabupaten Timor Tengah Selatan. (BPS Timor Tengah Selatan, 2017)

No	Kecamatan	Penduduk	Rumah Tangga
1	Mollo Utara	24500	5418
2	Fatumnasi	6891	1582
3	Tobu	9897	2299
4	Nunbena	5263	1304
5	Mollo Selatan	15779	3484
6	Polen	14404	3634
7	Mollo Barat	7810	1977
8	Mollo Tengah	7467	1786
9	Kota SoE	40934	8340
10	Amanuban Barat	22714	5212
11	Batu Putih	12711	3128
12	Kuatnana	15775	3840
13	Amanuban Selatan	24856	6208
14	Noebeba	11741	3140
15	Kuanfatu	19906	4758
16	Kualin	21673	5208
17	Amanuban Tengah	24856	3909
18	Kolbano	19313	5360
19	Oenino	11014	2988
20	Amanuban Timur	17756	4641
21	Fautmolo	7676	2061
22	Fatukopa	5199	1511
23	KiE	22127	6530
24	Kot'Olin	11683	2892
25	Amanatun Selatan	18427	4932
26	Boking	10334	2811
27	Nunkolo	14568	3859
28	Noebana	4881	1374
29	Santian	6743	1840
30	Amanatun Utara	17424	4549
31	Toianas	13108	3419
32	Kokbaun	3366	892
Timor Tengah Selatan		470796	114886

4.3 Data Kelistrikan Kabupaten Sumba Barat

Berdasarkan data presentasi KanWil PLN NTT berjudul Kondisi Kelistrikan Nusa Tenggara Timur, Kabupaten Sumba Barat dengan sistem kelistrikan Waikabubak- Waitabula, sudah mengalami surplus listrik saat terjadi beban puncak. Dengan beban puncak mencapai 7.32 Mw, sedangkan daya mampu sebesar 9.32 Mw. Walaupun begitu, rasio elektrifikasi dari Kabupaten Sumba Barat sendiri masih berada pada angka 34,16 persen, ini berarti walaupun sudah ada surplus listrik, namun belum semua masyarakat Sumba Barat dijangkau oleh jaringan listrik. Dengan rasio elektrifikasi tersebut berarti masih ada 15023 rumah tangga belum teraliri listrik. Kebutuhan listrik pada 2018 ditampilkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Rasio Elektrifikasi, Jumlah RT belum berlistrik dan kebutuhan listrik Kabupaten Sumba Barat per Februari 2018 (PLN KanWil NTT, 2018).

Persen Rasio Elektrifikasi (RE)	Rumah Tangga (RT)	Rumah Tangga Belum Berlistrik (RT _{NL})
34,16	22.817	15.023

- a. Jumlah Rumah Tangga non Listrik Sumba Barat (RT_{NL})

$$RT_{NL} = RT - (RE \times RT)$$

$$RT_{NL} = 15.023 - (0,34 \times 15.023)$$

$$RT_{NL} = 22.817 \text{ rumah tangga}$$

- b. Kebutuhan listrik masyarakat (W_{NT}) Sumba Barat

$$W_{NT} = RT_{NL} \times W_N$$

$$W_{NT} = 22.817 \times 1000$$

$$W_{NT} = 15,200 \text{ watt}$$

Konsumsi per keluarga (W_N) didasarkan asumsi bahwa per keluarga membutuhkan daya sebesar 1000 w. dengan asumsi tersebut Kabupaten Sumba Barat memerlukan tambahan daya hingga 15,2 Mw. Perlu diperhatikan pula pembangunan pembangkit baru yang akan dioperasikan untuk memenuhi

kebutuhan listrik di Sumba Barat. Daftar pembangkit baru beserta daya yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 4.4.

Dapat dilihat bahwa pada periode 2017 hingga 2019 telah disetujui pembangunan pembangunan satu PLTA kapasitas 1,6 Mw dan PLTBio kapasitas 1 Mw. Dengan mempertimbangkan pembangunan pembangkit tersebut, maka kebutuhan akhir di Kabupaten Sumba Barat sebesar 12,6 Mw.

Tabel 4.4 Daftar pembangkit baru yang akan dibangun pada sistem Sumba (PLN KanWil NTT, 2018).

No	Lokasi	Kabupaten	Sistem	Kap. (MW)	Milik	COD
I	PLTMG					
1	Waingapu	Sumba Timur	Waingapu	10	PLN	2019
2	Waitabula	Sumba Barat	Waitabula	10	PLN	2019
	Total PLTMG			20		
II	PLTB					
1	Hambapraing Sumba	Sumba Timur	Waingapu	1	Swasta	2019
2	Timur	Sumba Timur	Waitabula	1	Swasta	2019
	Total PLTB			2		
III	PLTM/PLTA					
1	Soru	Sumba Timur	Waingapu	0,1	PLN	2019
2	Kananggar	Sumba Timur	Waitabula	0,2	PLN	2019
3	Harunda	Sumba Timur		3,4	Swasta	2020
4	Wanokaka	Sumba Barat		1,6	Swasta	2019
	Total PLTM/PLTA			5,3		
IV	PLTBio					
	Wanokaka	Sumba Barat		1	PEMDA	2017
	Umbuwango	Sumba Timur		1	PLN	2020
	Total PLTBio			2		
Total Pembangkit				29,3		

4.4 Data Kelistrikan Kabupaten Timor Tengah Selatan

Berdasarkan data presentasi KanWil PLN NTT berjudul Kondisi Kelistrikan Nusa Tenggara Timur, Kabupaten Timor Tengah Selatan dengan sistem kelistrikan Kupang- Soe- Kefa- Atambua, sudah mengalami surplus listrik saat terjadi beban puncak. Dengan beban puncak mencapai 83.82 Mw, sedangkan daya mampu sebesar 127.69 Mw. Meskipun demikian, rasio elektrifikasi dari Kabupaten Sumba Barat sendiri masih berada pada angka 40,16 persen, ini berarti walaupun sudah terjadi surplus listrik, namun belum semua masyarakat Sumba Barat dijangkau oleh jaringan listrik. Dengan rasio elektrifikasi tersebut berarti masih ada 68713 rumah tangga belum teraliri listrik. Kebutuhan listrik pada 2018 ditampilkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Rasio Elektrifikasi, Jumlah RT belum berlistrik Kabupaten Timor Tengah Selatan per Februari 2018(PLN KanWil NTT, 2018).

Rasio Elektrifikasi	Rumah Tangga	Rumah Tangga Belum Berlistrik
40,19	114.886	68.713

- a. Jumlah Rumah Tangga non Listrik Sumba Barat (RT_{NL})

$$RT_{NL} = RT - (RE \times RT)$$

$$RT_{NL} = 15.023 - (0,34 \times 15.023)$$

$$RT_{NL} = 68.713 \text{ rumah tangga}$$

- b. Kebutuhan listrik masyarakat (W_{NT}) Sumba Barat

$$W_{NT} = RT_{NL} \times W_N$$

$$W_{NT} = 68.713 \times 1000$$

$$W_{NT} = 68,800 \text{ watt}$$

Konsumsi per keluarga diasumsikan sebesar 1000 w. Dengan asumsi tersebut Kabupaten Timor Tengah Selatan memerlukan tambahan daya hingga 68,8 MW. Perlu diperhatikan pula pembangunan pembangkit baru yang akan

dioperasikan untuk memenuhi kebutuhan listrik di Timor Tengah Selatan. Daftar pembangkit baru beserta daya yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 4.6.

Dapat dilihat bahwa pada periode 2019 hingga 2026 telah disetujui pembangunan pembangunan satu PLTB dengan kapasitas total 30 Mw di Kabupaten Timor Tengah Selatan. Dengan mempertimbangkan pembangunan pembangkit tersebut, maka kebutuhan akhir di kabupaten Timor Tengah Seltan sebesar 38,8 Mw.

Tabel 4.6 Daftar pembangkit baru yang akan dibangun pada sistem Timor (PLN KanWil NTT, 2018).

No	Lokasi	Kabupaten	Sistem	Kap. (MW)	Milik	COD
I	PLTB					
1	Oel Bubuk-1	TTS	Timor	5	Swasta	2019
2	Oel Bubuk-2	TTS	Timor	5	Swasta	2021
3	Oel Bubuk-3	TTS	Timor	10	Swasta	2022
4	Oel Bubuk-4	TTS	Timor	5	Swasta	2025
5	Oel Bubuk-5	TTS	Timor	5	Swasta	2026
	Total PLTB			30		
II	PLTP					
1	Bukapiting	Alor	Kalabahi	5	PLN	2025
	Total PLTP			5		
	Total Pembangkit			35		

4.5 Perhitungan Daya PLTGL tipe OWS

Setelah diketahui kebutuhan listrik pada kedua kabupaten, barulah dihitung besarnya energi yang dapat dihasilkan oleh PLTGL tipe OWS pada masing-masing kabupaten. Dimulai dengan mempertimbangkan potensi global dan pasang surut pada perairan selatan Indonesia untuk menentukan lokasi penempatan PLTGL pada setiap kabupaten dan dilanjutkan dengan perhitungan tinggi dan periode gelombang di laut dalam setiap kabupaten menggunakan metode *hindcast* dan *fetch*. Setelah diketahui tinggi gelombang di laut dalam, dilakukan perhitungan refraksi dan *shoaling* untuk mengetahui tinggi dan periode gelombang pada lokasi penempatan PLTGL di laut transisi (10 – 15 meter). Dengan mengetahui tinggi dan periode gelombang pada laut transisi, maka dapat dihitung daya yang terserap (P_{ab}) dan dihasilkan oleh alat (P_{prod}), menggunakan metode yang telah dibahas pada Bab 2. Hasil akhir dari sub Bab 4.5 adalah produksi energi (E_{prod}) per bulan dan per tahun.

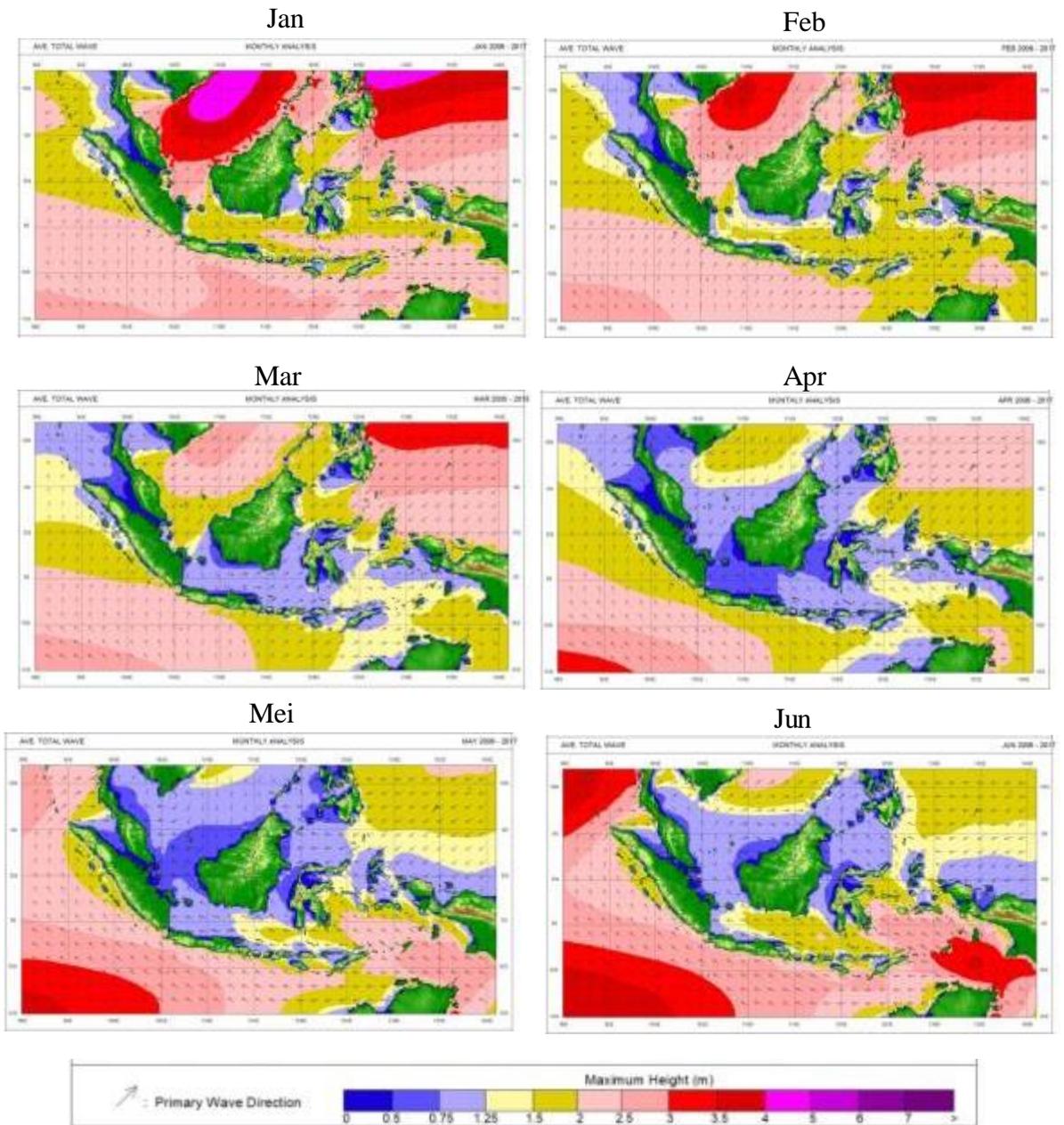
4.5.1 Analisa Pemilihan Lokasi di Kabupaten Sumba Barat dan Kabupaten Timor Tengah Selatan

Pemilihan lokasi yang berpotensi untuk dilakukan pengembangan PLTGL tipe OWS dilakukan berdasarkan data yang didapat dari BMKG. Data awal yang diperlukan adalah data yang merepresentasikan besaran tinggi gelombang dan arah datang gelombang sepanjang tahun. Dengan data tersebut, dapat dilihat secara visual kondisi lautan pada kedua kabupaten sebagai acuan awal untuk menentukan lokasi yang tepat secara tinggi gelombang dan arah datang gelombang dalam penempatan PLTGL. Kondisi tinggi gelombang dan arah datang gelombang pada kedua kabupaten dapat dilihat pada gambar 4.3 dan 4.4.

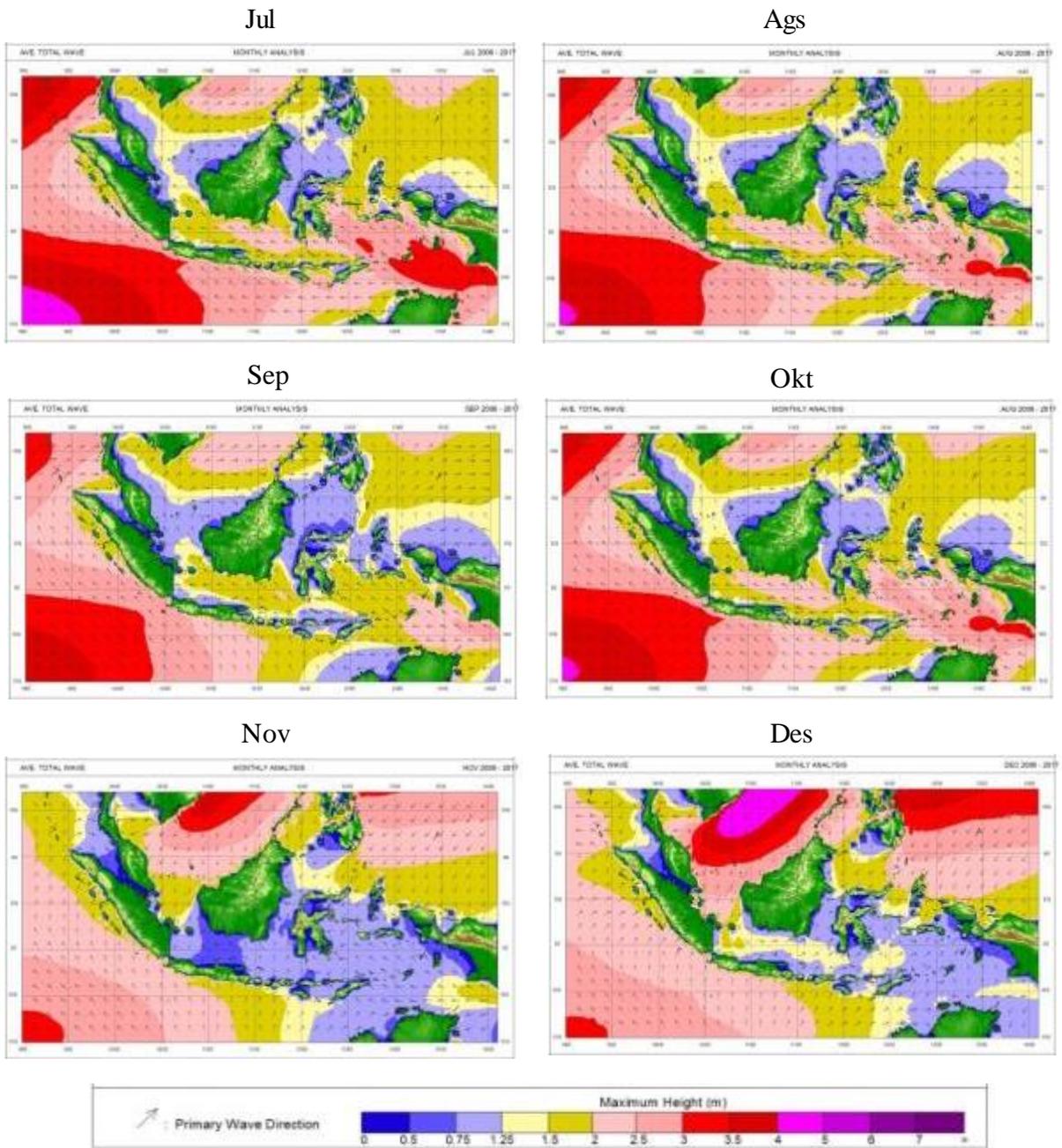
Berdasarkan perkiraan awal dari kondisi visual gelombang pada kedua Kabupaten, maka dapat ditentukan lokasi pengambilan data angin dari BMKG. Titik acuan awal pengambilan data angin ini menjadi penting karena pada sistem pengambilan data BMKG digunakan titik koordinat simulasi, dimana pada titik tersebut data angin akan disimulasikan. Perkiraan awal yang didapatkan adalah

terdapat dua arah gelombang dominan pada masing masing kabupaten, untuk itu diperlukan memilih lokasi pesisir paling selatan pada setiap kabupaten untuk mengakomodasi kebutuhan gelombang yang dapat datang dari barat dan timur, lokasi paling selatan masing- masing Kabupaten sebagai acuan titik koordinat data angin BMKG ditunjukkan pada gambar 4.5. Selain itu perlu dilakukan pemetaan batimetri pada kedua lokasi, sehingga dapat dipetakan secara jelas mengenai lokasi yang tepat dalam penempatan PLTGL tipe OWS, dimana lokasi yang layak memiliki kedalaman 10 m hingga 15 m.

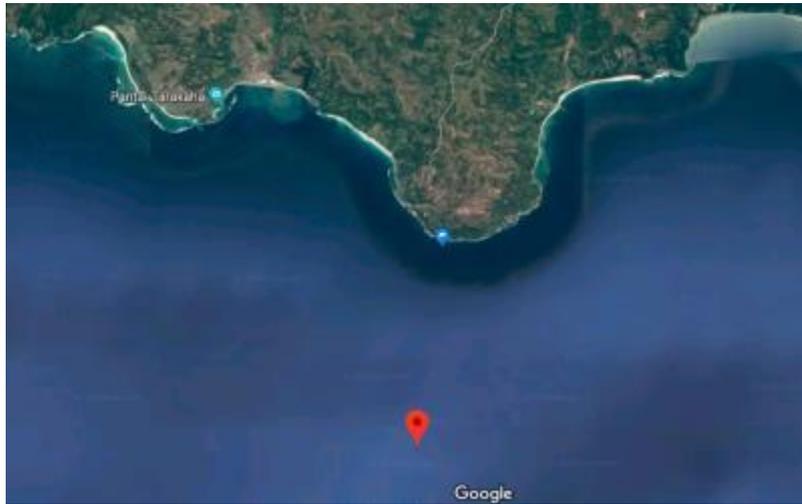
Lokasi yang dapat digunakan untuk penempatan PLTGL dijelaskan lebih lanjut dalam gambar 4.6 dan gambar 4.7 dengan disertakan batimetri pada kedua lokasi. Area lokasi yang potensial ditunjukkan dengan warna merah pada masing-masing gambar batimetri yang mewakili kedalaman 15-20 meter. Titik koordinat pengambilan data BMKG angin oleh simbol *cross* warna merah, sedangkan lokasi yang dipilih untuk penempatan PLTGL ditandai linkaran kecil merah. Dengan ditetapkannya titik pengambilan data angin dan lokasi penempatan PLTGL pada masing- masing Kabupaten maka proses selanjutnya dapat dilakukan, yaitu pengambilan data dari kantor BMKG Stasiun II, Perak, Surabaya.



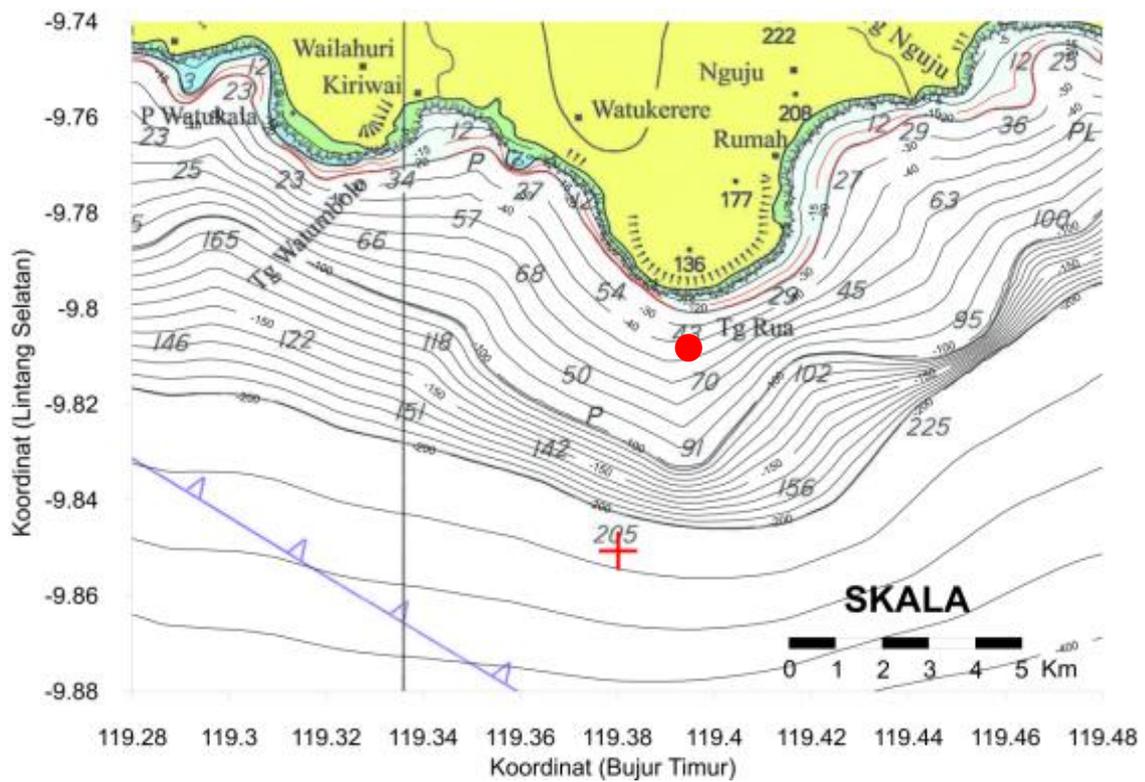
Gambar 4.3 Tinggi gelombang dan arah datang gelombang pada perairan Indonesia bulan Januari- Juni periode 2013-2017 (BMKG)



Gambar 4.4 Tinggi gelombang dan arah datang gelombang pada perairan Indonesia bulan Juli- Desember periode 2013-2017 (BMKG)



(a)

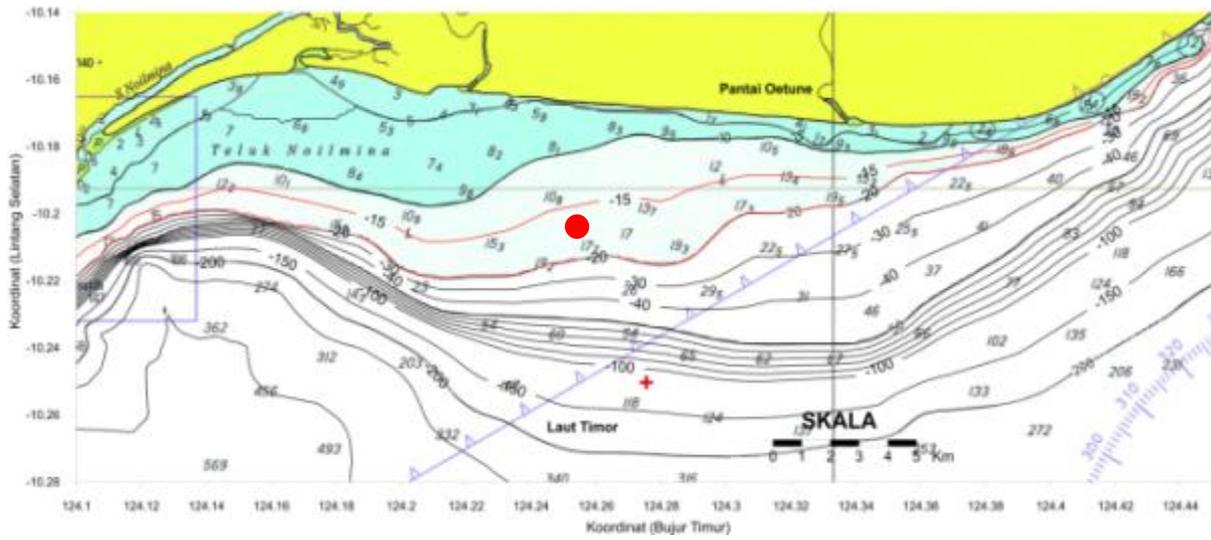


(b)

Gambar 4.6 Peta google (a) dan batimetri (b) lokasi potensial Kabupaten Sumba Barat



(a)



(b)

Gambar 4.7 Peta google (a) dan batimetri (b) lokasi potensial Kabupaten Timor Tengah Selatan.

4.5.2 Analisa Pasang Surut di Kabupaten Sumba Barat dan Timor Tengah Selatan

Data pasang surut dibutuhkan untuk memastikan kedalaman perairan masih mengakomodir persyaratan operasi WaveRoller. Karena keterbatasan data, maka data pasang surut yang digunakan adalah data pasang surut pada Kabupaten Kupang, Nusa Tenggara Timur. Menurut data yang didapat dari Kementerian Kelautan dan Perikanan 2014, tetapan pasang surut di Kabupaten Kupang adalah sebagai berikut,

Tabel 4.7 Tetapan pasang surut Kabupaten Kupang

	So	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4	K2	P1
Amplitudo	-	46	26	-	15	10	0	0	7	5
Phase		57	348	-	49	43	0	0	66	328

Data pada tabel 4.7 digunakan untuk menentukan tipe pasang surut yang terjadi. Sebagai patokan dalam penentuan lokasi sekaligus mengkonfirmasi apakah kondisi lokasi yang potensial seperti disebutkan sebelumnya memenuhi persyaratan operasi alat berupa *fully submerged or partially surface-piercing*. Untuk mengetahui tipe pasang surut dilakukan perhitungan dengan formulasi Formzahl:

$$F = \frac{K1 + O1}{M2 + S2}$$

Maka:

$$F = \frac{15 + 10}{46 + 26}$$

$$F = 0.3$$

Diketahui bahwa nilai F sebesar 0.3, maka tipe pasang surut pada perairan Kabupaten Kupang adalah tipe mixed, mainly semidiurnal. Tipe ini merupakan

tipe pasang surut campuran, yang condong terjadi dua kali pasang- surut dalam satu hari.

a. Tinggi Muka Air Rerata

$$\text{MSL} = Z_0$$

$$\text{MSL} = 179 \text{ cm} = 1,79 \text{ m}$$

b. Perhitungan MHWL (*Mean High Water Level*) dan HHWL (*Highest High Water Level*)

$$\text{MHWL} = \text{MSL} + (\text{M2} + \text{S2})$$

$$= 251 \text{ cm} = 2,51 \text{ m}$$

$$\text{HHWL} = \text{MSL} + (\text{M2} + \text{S2} + \text{O1} + \text{K1})$$

$$= 276 \text{ cm} = 2,76 \text{ m}$$

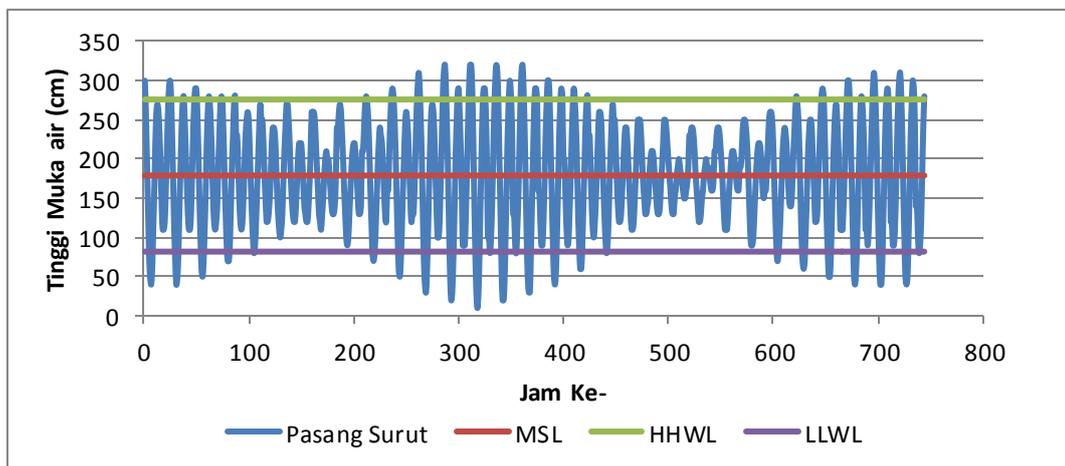
c. Perhitungan MLWL (*Mean Low Water Level*) dan LLWL (*Lowest Low Water Level*)

$$\text{MLWL} = \text{MSL} - (\text{M2} + \text{S2})$$

$$= 107 \text{ cm} = 1,07 \text{ m}$$

$$\text{LLWL} = \text{MSL} - (\text{M2} + \text{S2} + \text{O1} + \text{K1})$$

$$= 82 \text{ cm} = 0,82 \text{ m}$$



Gambar 4.8 Grafik pasang surut periode Januari 2014 di Kabupaten Kupang, NTT.

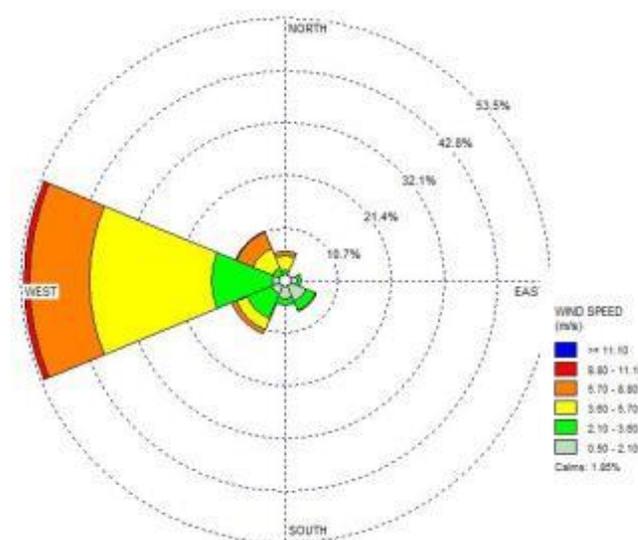
Dari perbedaan HHWL dan LLWL sebesar 1,94 m dapat diketahui bahwa kedalaman 10-15 meter telah cocok untuk digunakan sebagai penempatan alat PLTGL. Hal ini dikarenakan OWS tipe WaveRoller 100 Kw memiliki tinggi

panel sebesar 8m dan mensyaratkan kondisi operasi pada kondisi *fully submerge or partially surface piercing*. Dengan kedalaman 10- 15 meter panel akan selalu tenggelam.

4.5.3 Perhitungan Pembangkitan Gelombang

Besaran tinggi dan periode gelombang pada laut dalam di setiap kabupaten dihitung menggunakan metode pembangkitan gelombang di laut dalam. Untuk melakukan perhitungan pembangkitan gelombang diperlukan data angin yang diukur baik pada permukaan laut atau di daratan sekitar laut yang akan ditinjau. Kecepatan angin yang diukur di laut biasanya memiliki satuan dalam knot, untuk itu perlu dilakukan konversi dari satuan knot menuju satuan SI. Pada tugas akhir ini akan digunakan data dari BMKG Stasiun II, Perak, Surabaya.

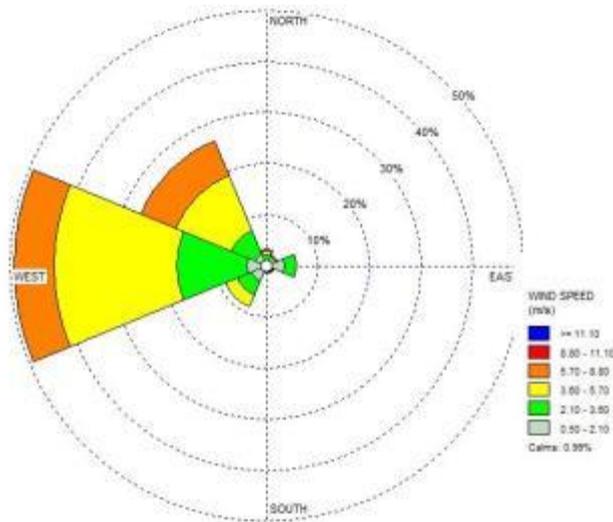
Jumlah data angin yang dicatat dalam waktu 2010- 2017 sangat besar, untuk itu diperlukan *Windrose* untuk memudahkan perhitungan data angin. *Windrose* menyediakan arah angin dominan pada periode yang ingin ditinjau. Pada gambar 4.8 dan 4.9 disajikan gambar diagram angin pada periode Januari 2010-2017.



Gambar 4.9 *Windrose* Kabupaten Sumba Barat Januari 2010-2017

Dari pemetaan *windrose* pada masing- masing kabupaten per bulan selama periode 2010-2017. Maka dapat dipetakan arah angin dominan dari masing-

masing bulan, yang mana arah angin dominan ini akan digunakan untuk memperhitungkan panjang Fetch Efektif. Pada tabel 4.9 dan 4.10 disajikan data arah angin dominan masing- masing bulan per Kabupaten selama 2010-2017.



Gambar 4.10 *Windrose* Kabupaten Timor Tengah Selatan Januari 2013-2017

Tabel 4.8 Arah angin dominan masing- masing bulan Kabupaten Sumba Barat 2010-2017.

Bulan	Arah Angin Dominan (<i>blow from</i>)
Januari	Barat
Februari	Barat
Maret	Barat
April	Timur
Mei	Timur
Juni	Timur
Juli	Tenggara
Agustus	Tenggara
September	Tenggara
Oktober	Tenggara
November	Tenggara
Desember	Barat

Tabel 4.9 Arah angin dominan masing- masing bulan Kabupaten Timor tengah selatan 2010-2017.

Bulan	Arah Angin Dominan (<i>blow from</i>)
Januari	Barat
Februari	Barat
Maret	Barat
April	Timur
Mei	Timur
Juni	Timur
Juli	Timur
Agustus	Timur
September	Timur
Oktober	Timur
November	Timur
Desember	Barat

4.5.3.1 Perhitungan Panjang Fetch Efektif

Didalam tinjauan pembangkitan gelombang laut fetch dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Didalam daerah pembentukan gelombang gelombang tidak hanya dibangkitkan oleh satu arah mata angin, tetapi juga beberapa sudut dari arah mata angin dominan.

Fetch dihitung menggunakan dua langkah:

1. Mengukur besaran fetch efektif berdasarkan peta lokasi yang ada dan mengukur panjang segmen fetch (X_i dalam Km). Panjang maksimal masing- masing garis fetch ditentukan oleh kelas angin acuan berupa tegangan angin yang terjadi.
2. Menghitung panjang Fetch Efektif menggunakan persamaan (2.16)

Dengan mengetahui kelas angin acuan per kelas per bulan maka dapat ditentukan panjang fetch efektif yang dapat terjadi per bulannya. Hal ini diperlukan

untuk menghitung tinggi gelombang dan periode gelombang representatif. Contoh perhitungan *fetch* efektif ditunjukkan pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 contoh perhitungan *fetch* efektif untuk bulan Desember, Januari, Februari dan Maret pada Kabupaten Sumba Barat tahun 2010-2017

Fetch effective (Barat)					
α	Cos (α)	X	X real	Cos (α) X real	Cos (α) X real
-	-	mm	Km	Km	Km
42	0,743	6,540	15,28	11,36	11,36
36	0,809	7,729	18,06	14,61	14,61
30	0,866	9,531	22,27	19,29	19,29
24	0,914	15,157	35,42	32,35	32,35
18	0,951	106,990	250,00	237,76	237,76
12	0,978	106,990	250,00	244,54	244,54
6	0,995	106,990	250,00	248,63	248,63
0	1	106,990	250,00	250,00	250,00
-6	0,995	106,990	250,00	248,63	248,63
-12	0,978	106,990	250,00	244,54	244,54
-18	0,951	106,990	250,00	237,76	237,76
-24	0,914	106,990	250,00	228,39	228,39
-30	0,866	106,990	250,00	216,51	216,51
-36	0,809	106,990	250,00	202,25	202,25
-42	0,743	106,990	250,00	185,79	185,79
Jumlah	13,511				2622,41
F eff	194,095	Km			
	194095	m			

Menggunakan persamaan (2.20) dapat dihiutn panjang *fetch* efektif pada bulan Desember, Januari, Februari, dan Maret di Sumba Barat.

a. Panjang *Fetch* Efektif

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

$$F_{eff} = \frac{2622,4}{13,51}$$

$$F_{eff} = 194,1 \text{ Km}$$

4.5.3.2 Perhitungan Tinggi Gelombang Signifikan dan Periode Puncak

Tinggi dan periode gelombang diitung berdasarkan persamaan (2.21) dan (2.22) yang berasal dari Shore Protection Manual (SPM) vol.1. Tinggi dan periode gelombang yang didapatkan masih perlu dilakukan perhitungan statistik untuk menghasilkan nilai *root mean square* yang dapat digunakan untuk menghitung nilai tinggi signifikan dan periode puncak gelombang.

Tabel 4.11 Perhitungan Konversi Gelombang pada Bulan Januari di Sumba Barat

Januari					
Max Average Wind speed (m/s)	U10 (m/s)	UA (m/s)	Eff. Fetch (m)	H ₀ (m)	T ₀ (s)
2,1	2,64	2,35	194095,3	0,53	4,8
3,6	4,53	4,55		1,03	6,0
5,7	7,17	8,01		1,80	7,2
8,8	11,07	13,67		3,08	8,6
11,1	13,97	18,19		4,10	9,5

Perhitungan Hrms, Trms, Ho 1/3, dan Tp					
No.	n	Ho2	Hi = n * Ho2	To2	n * To2
1	162	0,28	45,240	23,03	3731,53
2	727	1,05	764,522	35,84	26052,82
3	1457	3,26	4745,294	52,24	76107,82
4	707	9,48	6701,905	74,58	52728,76
5	74	16,78	1241,874	90,22	6676,50
Σ	3127	Σ	13498,836	Σ	165297,43
		Hrms	2,08	Trms	7,3
		Ho 1/3 (m)	2,95	Tp (s)	10,3

Perhitungan pada tabel 4.14 diatas didapatkan nilai H_s untuk arah dominan barat pada bulan Januari 2010-2017. Metode yang sama digunakan untuk menghitung H_s dan T_P pada bulan yang lain. Hasil dari perhitungan masing-masing bulan pada setiap kabupaten ditunjukkan pada tabel 4.12 dan tabel 4.13.

Tabel 4.12 Konversi perhitungan gelombang, dengan data angin 2010-2017
Kabupaten Sumba Barat.

Bulan	Hs (meter)	Ts (detik)
Januari	2,95	10,3
Februari	2,55	9,6
Maret	2,01	9,0
April	1,38	6,8
Mei	1,79	7,5
Juni	1,95	7,8
Juli	3,34	10,9
Agustus	3,11	10,7
September	2,57	10,0
Oktober	2,03	9,10
November	1,68	8,61
Desember	2,48	9,58

Tabel 4.13 Konversi perhitungan gelombang, dengan data angin 2010-2017
Timor Tengah Selatan.

Bulan	Hs (meter)	Ts (detik)
Januari	1,54	6,5
Februari	1,07	5,4
Maret	0,95	5,3
April	1,64	6,9
Mei	2,53	8,9
Juni	3,50	10,5
Juli	3,18	9,9
Agustus	2,49	8,9
September	2,10	7,7
Oktober	1,66	7,0
November	0,98	5,5
Desember	1,11	5,6

Pada tugas akhir ini akan dilakukan perhitungan energi yang dapat dihasilkan oleh alat PLTGL tipe OWS. Digunakan PLTGL tipe OWS dengan

spesifikasi WaveRoller 100Kw, sebuah alat PLTGL tipe OWS yang telah memasuki skala implementasi. Pada akhirnya diharapkan dapat dilakukan perhitungan kelayakan ekonomi pada masing- masing lokasi.

4.5.4 Perhitungan Tinggi dan Periode Gelombang di Laut Transisi

Perhitungan tinggi gelombang dan periode gelombang di laut transisi menggunakan metode refraksi dan *shoaling* yang telah dijelaskan pada BAB 2. Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui tinggi dan periode gelombang pada kedalaman operasi WaveRoller (10 -15 meter). Perhitungan diawali dengan menentukan batas laut dalam untuk masing- masing bulan. Tujuan dilakukan penentuan ini untuk menentukan kontur pertama dimana akan dimulai perhitungan efek refraksi dan *shoaling*, mengingat kedua peristiwa ini akan mempengaruhi tinggi dan energi gelombang, yang mana sangat penting untuk perhitungan daya yang dihasilkan oleh OWS. Pada tabel 4.14 dan tabel 4.15 ditunjukkan, batas laut dalam pada masing- masing bulan untuk Kabupaten Sumba Barat dan Timor Tengah Selatan. Sebagaimana yang telah disebutkan di BAB 2, batas laut dalam adalah ketika nilai d/L bernilai 0,5, sehingga dengan ketentuan ini dapat ditentukan batas laut dalam menggunakan nilai panjang gelombang.

Tabel 4.14 Batas laut dalam pada masing- masing bulan di Sumba Barat.

Bulan	Hs (meter)	Ts (detik)	Laut Dalam (m)
Januari	2,95	10,3	83
Februari	2,55	9,6	72
Maret	2,01	9,0	63
April	1,38	6,8	36
Mei	1,79	7,5	44
Juni	1,95	7,8	47
Juli	3,34	10,9	93
Agustus	3,11	10,7	88
September	2,57	10,0	78
Oktober	2,03	9,10	65
November	1,68	8,61	58
Desember	2,48	9,58	72

Tabel 4.15 Batas laut dalam pada masing- masing bulan di Timor Tengah Selatan.

Bulan	Hs (meter)	Ts (detik)	Laut Dalam
Januari	1,52	6,9	37
Februari	1,18	6,3	31
Maret	1,11	6,3	31
April	2,05	9,3	67
Mei	2,64	10,2	81
Juni	3,12	10,8	90
Juli	2,96	10,6	87
Agustus	2,66	10,3	82
September	2,29	9,6	72
Oktober	2,09	9,4	68
November	1,61	8,6	58
Desember	1,21	6,4	32

- a. Panjang gelombang di laut dalam, contoh pada Bulan Januari di Sumba Barat

$$L = \frac{gT^2}{2\pi}$$

$$L = \frac{g(10,3)^2}{2\pi}$$

$$L = 166 \text{ m}$$

- b. Batas laut dalam d/L bernilai 0,5, contoh pada Bulan Januari di Sumba Barat

$$\frac{d}{L} = 0,5$$

$$\frac{d}{166} = 0,5$$

$$d = 83 \text{ m}$$

Dengan diketahuinya nilai batas kedalaman dari masing- masing bulan dan kabupaten, perhitungan refraksi dan *shoaling* dapat dimulai. Perhitungan diawali dengan memetakan sudut masuk gelombang pada peta batimetri (dapat dilihat di

Lampiran B), serta kecepatan dan panjang gelombang di laut dalam. Sudut masuk serta kecepatan dan panjang gelombang tersebut akan menjadi dasar perhitungan refraksi, dimana akan digunakan persamaan 2.20 untuk mengetahui pembelokan gelombang dan perubahan kecepatan gelombang setelah melewati kontur batimetri. Selanjutnya dengan menggunakan perbandingan d/L_0 dimana adalah kontur yang ditinjau, dapat digunakan tabel L-1 pada buku Teknik Pantai (Triatmodjo, 1999), untuk menentukan K_S dan K_R . Dengan Didapatkannya nilai K_S dan K_R tinggi, pembelokan, serta panjang gelombang setelah melewati kontur dapat diketahui. Contoh perhitungan dari peristiwa refraksi dan *shoaling* terdapat pada tabel 4.16.

Tabel 4.16 Contoh perhitungan refraksi dan *shoaling* ketika melewati kontur batimetri pada Bulan Januari di Sumba Barat.

α_0	$H_0(m)$	$L_0(m)$	$C_0(m/s)$	$d(m)$	$L_1(m)$	$C_1(m/s)$	α_1	K_r	K_s	$H_i(m)$
32	2,950	166,28	16,106	80	165,556	16,036	32	0,999	0,989	2,915
47	2,950	166,28	16,106	70	164,687	15,951	46	0,995	0,980	2,876
48	2,876	164,69	15,951	60	161,747	15,667	47	0,989	0,968	2,754
53	2,754	161,75	15,667	50	156,128	15,122	50	0,972	0,952	2,549
52	2,549	156,13	15,122	40	146,461	14,186	48	0,956	0,934	2,276
58	2,276	146,46	14,186	30	130,810	12,670	49	0,901	0,919	1,884
55	1,884	130,81	12,670	20	107,637	10,426	42	0,881	0,913	1,516
45	1,516	107,64	10,426	15	86,147	8,344	34	0,926	0,915	1,285

- a. Langkah pertama adalah menghitung panjang gelombang laut dalam (L_0) dan kecepatan gelombang laut dalam (C_0) dengan nilai T yang konstan maka didapatkan,

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$$

$$L_0 = 166 \text{ m}$$

$$C_0 = \frac{L}{T}$$

$$C_0 = \frac{166}{10,3} = 16,1 \text{ m/s}$$

- b. Langkah kedua adalah menghitung perbandingan nilai d/L_0 , dengan diketahui nilai d/L_0 maka dapat digunakan tabel L-1 pada buku Teknik Pantai untuk menentukan nilai d/L_1 .
- c. Setelah didapatkan nilai d/L_1 dapat dihitung nilai L_1 dan C_1 karena nilai T tetap.

$$\frac{d}{L_1} = 0,48322$$

$$\frac{80}{L_1} = 0,48322$$

$$L_1 = 165,56 \text{ m}$$

$$C_1 = \frac{L_1}{T} = \frac{165,56}{10,3} = 16 \text{ m/s}$$

- d. Nilai L_1 dan C_1 telah diketahui, maka dapat dihitung pemelokan gelombang (refraksi) yang terjadi menggunakan hukum Snell.

$$\sin \alpha_1 = \left(\frac{C_1}{C_0} \right) \sin \alpha_0$$

$$\sin \alpha_1 = \left(\frac{16}{16,1} \right) 0,529$$

$$\alpha_1 = 32^\circ$$

- e. Dengan menggunakan tabel L-1 diketahui pula nilai K_R dan K_S untuk menghitung perubahan tinggi gelombang.

$$H_i = K_R K_S H_0$$

$$H_i = 0,999 \times 0,989 \times 2,95$$

$$H_i = 2,915 \text{ m}$$

Pada masing- masing Kabupaten terjadi tinggi dan periode gelombang yang berbeda- beda pula. Maka diperlukan perhitungan refraksi dan *shoaling* untuk masing- masing bulan pada kedua Kabupaten. Hal yang perlu diperhatikan dalam perhitungan Tugas Akhir ini adalah, kedua peristiwa tersebut sangat mempengaruhi perubahan tinggi gelombang ketika menjalar dari laut dalam menuju laut dangkal. Dapat diperhatikan pada tabel 4.19, bahwa terjadi penurunan nilai tinggi gelombang yang cukup besar ketika gelombang menjalar dari laut dalam menuju laut transisi. Hasil perhitungan refraksi dan *shoaling* untuk kedua kabupaten dan perbandingannya dengan gelombang laut dalam dapat dilihat pada tabel 4.17 dan 4.18.

Tabel 4.17 Perbandingan tinggi gelombang pada laut dalam dan transisi masing- masing bulan di Sumba Barat.

Bulan	Hs (m) Laut dalam	Hs (m) Laut Transisi
Januari	2,95	1,28
Februari	2,55	1,09
Maret	2,01	0,86
April	1,38	0,81
Mei	1,79	0,98
Juni	1,95	1,02
Juli	3,34	1,78
Agustus	3,11	1,73
September	2,57	1,53
Oktober	2,03	1,30
November	1,68	1,15
Desember	2,48	1,06

Tabel 4.18 Perbandingan tinggi gelombang pada laut dalam dan transisi masing-masing bulan di Timor Tengah Selatan.

Bulan	Hs (m) Laut dalam	Hs (m) Laut Transisi
Januari	1,52	0,94
Februari	1,18	0,82
Maret	1,11	0,79
April	2,05	1,04
Mei	2,64	1,17
Juni	3,12	1,33
Juli	2,96	1,27
Agustus	2,66	1,17
September	2,29	0,91
Oktober	2,09	1,05
November	1,61	0,92
Desember	1,21	0,83

4.5.5 Daya Hasil OWS per Unit di Kabupaten Sumba Barat dan Kabupaten Timor Tengah Selatan

Hasil perhitungan daya pada OWS didapatkan dengan menghitung daya yang terdapat pada gelombang dengan persamaan (2.16). Nilai daya yang didapatkan merupakan nilai daya gelombang per meter lebar gelombang, sehingga untuk menghitung daya yang didapatkan oleh sebuah struktur flap 12 meter, maka nilai daya yang didapatkan perlu dikalikan dengan lebar dari striktur flap. Pada tahap ini *Capture Width Ratio* (CWR) pada gambar 2.6 dan tabel 2.2 digunakan untuk menentukan besarnya daya yang terserap oleh alat pada masing-masing kondisi lautan. Karena kondisi lautan digambarkan oleh kombinasi tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode puncak (T_p). Namun untuk perhitungan daya yang terserap dibutuhkan parameter T_e , maka diperlukan konversi antara T_p dengan T_e , konversi yang digunakan berdasarkan penelitian yang telah ada sebelumnya. Dengan langkah perhitungan diatas, hasil daya yang terserap oleh

alat pada masing- masing kabupaten dapat dihitung, hasil tersebut diperlihatkan di tabel 4.19 dan 4.20.

Dari perhitungan daya terserap oleh alat, perlu diperhatikan bahwa alat OWS secara mekanik akan semakin berkurang tingkat efektifitasnya dengan bertambahnya tinggi gelombang dan periode gelombang. Hal ini dapat dijelaskan dengan mempertimbangkan *pitch angle* flap saat dihantam gelombang dan siklus lambaian flap ketika terhantam gelombang. Ketika gelombang datang memiliki tinggi dan periode yang besar maka energi terkandung dalam gelombang pun semakin besar, hal ini menyebabkan flap yang terhantam oleh gelombang akan mengalami *pitch angle* yang lebih besar, dan mengalami waktu siklus flap yang lebih besar didalam air, sehigga semakin banyak kolom air yang tidak terbungung oleh flap.

Tabel 4.19 Tinggi gelombang pada laut transisi, CWR dan daya mekanik pada flap untuk masing- masing bulan di Sumba Barat.

Bulan	Laut Transisi			n	P _{res} (Kw)	CWR	P _{ab} (Kw)	P _{prod} (Kw)
	Hs(m)	Tp(s)	L(m)					
Januari	1,28	10,3	86,15	0,7485	87,05	0,835	72,6	65,4
Februari	1,09	9,6	82,96	0,7368	64,07	0,835	53,5	48,1
Maret	0,86	9,0	79,66	0,7240	40,25	0,896	36,0	32,4
April	0,81	6,8	62,19	0,6466	32,78	0,982	32,2	29,0
Mei	0,98	7,5	68,95	0,6784	50,89	0,990	50,4	45,4
Juni	1,02	7,8	71,43	0,6895	55,62	0,990	55,1	49,6
Juli	1,78	10,9	87,84	0,7545	161,61	0,693	112,0	100,0
Agustus	1,73	10,7	86,99	0,7515	155,86	0,693	108,1	97,3
September	1,53	10,0	84,53	0,7426	124,01	0,745	92,3	83,1
Oktober	1,30	9,10	80,37	0,7268	92,24	0,896	82,6	74,3
November	1,15	8,61	77,93	0,7171	72,10	0,896	64,6	58,1
Desember	1,06	9,58	83,19	0,7368	61,16	0,835	51,0	45,9

Tabel 4.20 Tinggi gelombang pada laut transisi, CWR dan daya mekanik pada flap untuk masing- masing bulan di Timor Tengah Selatan.

Bulan	Laut Transisi			n	P _{res} (Kw)	CWR	P _{ab} (Kw)	P _{prod} (Kw)
	Hs(m)	Ts(s)	L(m)					
Januari	0,94	6,9	62,85	0,6498	44,48	0,835	43,7	39,3
Februari	0,82	6,3	55,81	0,6137	30,91	0,896	30,4	27,3
Maret	0,79	6,3	55,28	0,6128	28,47	0,982	28,3	25,5
April	1,04	9,3	81,46	0,7310	58,73	0,994	52,6	47,3
Mei	1,17	10,2	85,33	0,7455	71,88	0,933	54,0	48,6
Juni	1,33	10,8	87,41	0,7530	90,86	0,933	68,2	61,4
Juli	1,27	10,6	86,99	0,7515	83,87	0,693	56,4	50,7
Agustus	1,17	10,3	85,74	0,7470	72,63	0,751	54,5	49,1
September	0,91	9,6	82,96	0,7368	44,77	0,896	33,6	30,3
Oktober	1,05	9,35	81,83	0,7325	59,85	0,982	49,9	45,0
November	0,92	8,60	77,60	0,7157	46,57	0,994	41,7	37,5
Desember	0,83	6,38	56,73	0,6200	31,72	0,896	31,2	28,0

- a. Menghitung daya terserap (P_{ab}) pada panel *flap* OWS, dengan menghitung ketersediaan daya pada gelombang Bulan Januari di Sumba Barat dan dikali dengan nilai CWR pada kondisi laut tersebut. Daya tersedia (P_{res}) dihitung dengan persamaan (2.16), dengan lebar alat 12 meter, maka daya yang diperhitungkan selebar 12 meter puncak gelombang.

$$P_{ab} = CWR \times P_{res}$$

$$P_{ab} = 0,835 \times P_{res}$$

$$P_{res} = \frac{\rho g^2 (1,28)^2}{14,4} 0,7485 \frac{86,15}{10,3}$$

$$P_{res} = 87,05 \text{ Kw}$$

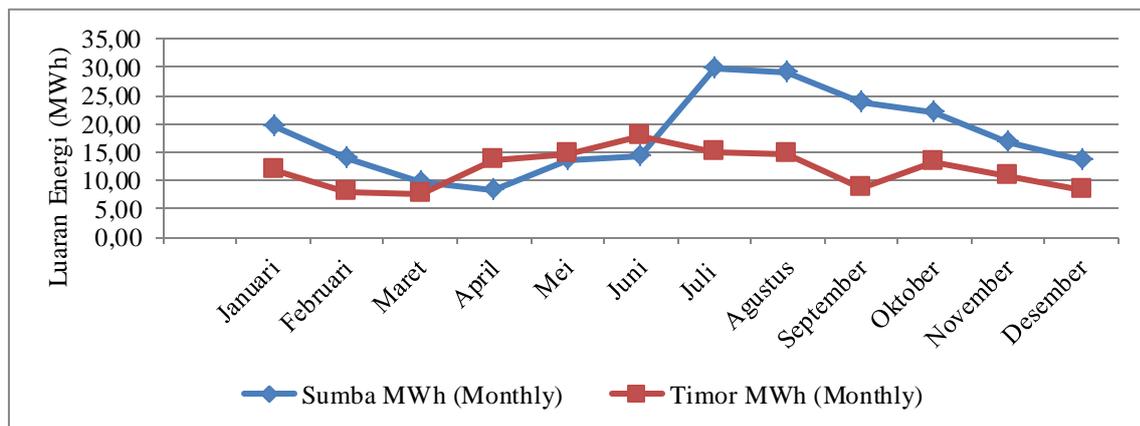
$$P_{ab} = 72,6 \text{ Kw}$$

- b. Daya dihasilkan (P_{prod}) merupakan perkalian antara daya terserap (P_{ab}) dengan efisiensi *power take-off* (η_{PTO}), yang diasumsikan sebesar 0,9. Daya dihasilkan (P_{prod}) dibatasi sebesar 100 Kw karena merupakan batas kemampuan penghasil daya dari alat PLTGL OWS.

$$P_{prod} = P_{ab} \times \eta_{PTO}$$

$$P_{prod} = 72,6 \times 0,9$$

$$P_{prod} = 65,4 \text{ Kw}$$



Gambar 4.11 Grafik luaran energi per bulan di Sumba dan Timor.

Dengan demikian dapat dihitung energi yang dapat dihasilkan per bulan dan total energi selama satu tahun (*annually*). Energi merupakan perkalian antara daya dengan waktu, dikarenakan PLTGL OWS tidak dapat beroperasi selama dua puluh empat jam penuh maka diasumsi *Capacity Factor* dari alat OWS 100 Kw sebesar 0,4. Hasil energi yang diproduksi per bulan dapat dilihat pada tabel 4.21 dan gambar 4.10.

Tabel 4.21 Produksi energi per bulan dan per tahun di Sumba dan Timor.

Bulan	Sumba MWh (Monthly)	Timor MWh (Monthly)
Januari	19,46	11,70
Februari	13,86	7,87
Maret	9,65	7,58
April	8,34	13,63
Mei	13,50	14,46
Juni	14,28	17,69
Juli	29,76	15,10
Agustus	28,94	14,61
September	23,94	8,72
Oktober	22,12	13,38
November	16,74	10,81
Desember	13,67	8,35
Total (Annually)	214,26	143,89

- a. Perhitungan energi yang terproduksi (E_{prod}), dilakukan setelah mendapatkan nilai daya terproduksi dari OWS (P_{prod}). Dihitung menggunakan asumsi bahwa nilai *Capacity Factor* sebesar 0,4 selama periode waktu jam operasi dalam satu bulan, dicontohkan perhitungan pada bulan Januari di Sumba Barat.

$$E_{prod} = P_{prod} \times CF \times T_o$$

$$E_{prod} = 65,4 \times 0,4 \times (30 \times 24)$$

$$E_{prod} = 19.460 \text{ Kwh}$$

4.6 Analisa Biaya

Perencanaan biaya pada instalasi OWS disusun berdasarkan data yang diperoleh dari beberapa sumber. Penyusunan perencanaan ini didasarkan pada komponen OWS yang diketahui terdapat pada WaveRoller 100 Kw yang diinstalasi di Peniche, Portugal. Selain itu digunakan referensi pada penelitian sebelumnya yang telah membahas mengenai tingkat kelayakan pembangunan PLTGL untuk mendapatkan komponen umum pada biaya pembangunan dan operasi.

Analisa biaya dilakukan untuk mengetahui tingkat kelayakan ekonomi diantara Kabupaten Sumba Barat dan Timor Tengah Selatan. Penyusunan biaya didasarkan pada BAB 2 sub bab 2.2.7. Perencanaan biaya tetap dan variabel dari masing masing kabupaten untuk *wavefarm* kapasitas 2 Mw. Kapasitas 2 Mw diputuskan dengan mempertimbangkan kebutuhan listrik masyarakat serta biaya pembangunan pembangkit lain di Kabupaten Sumba Barat. Pada daftar pembangunan pembangkit baru terdapat daftar pembangunan PLTA berkapasitas 1,6 Mw di Sumba Barat. Perkiraan nilai pembangunan pembangkit tersebut sebesar 53 Milyar rupiah. Perkiraan tersebut didasarkan pada pembangunan PLTA Kumbih berkapasitas 3 x 15 Mw yang memiliki nilai pembangunan sebesar 100 juta euro (Christanto. 2017. <https://bumntrack.com/berita/bangun-plta-kumbih-iii-pln-utang-85-juta-euro>. 22 desember 2018). Sehingga diputuskan untuk membangun *wavefarm* dengan nilai pembangunan mendekati nilai pembangunan PLTA 1,6 Mw di Sumba Barat.

Perhitungan biaya pembangunan *wavefarm* 2 Mw ditunjukkan pada tabel 4.22 hingga 4.25. Instalasi dari alat memerlukan satu kapal tunda yang berfungsi sebagai penarik dan kapal nelayan sebagai pompa ballast, selain itu juga diperlukan satu *support vessle*. Instalasi per alat dengan metode yang telah dijelaskan di BAB 2 diasumsikan berlangsung selama dua hari per alat. Dengan total daya terpasang 2 MW, maka diperlukan 20 alat dengan total jumlah waktu instalasi 40 hari. Instalasi kabel bawah laut diasumsikan berlangsung selama 3 hari untuk satu alat, hal ini diasumsikan berdasarkan tidak semua alat memiliki sambungan langsung

pada *sub-station* di darat, sehingga untuk beberapa alat (16 alat) diasumsikan hanya perlu waktu kurang dari satu hari. Detail biaya per hari instalasi alat dan kabel bawah laut dapat dilihat pada tabel 4.26 dan 4.27.

Biaya variabel terdiri dari biaya cicilan hutang. Cicilan hutang diasumsikan dari sumber yang telah disebutkan di BAB 2. Maka dari itu diasumsikan untuk perhitungan biaya variabel bahwa bunga yang digunakan adalah bunga efektif sebesar 2 % dengan tenor selama 20 tahun. Biaya tahunan produksi energi pada *wavefarm* 2 Mw Sumba Barat sebesar Rp 4.352.322.559, sehingga didapatkan biaya produksi energi sebesar Rp 1.016 per Kwh. Biaya tahunan produksi energi pada *wavefarm* 2MW Timor tengah Selatan sebesar Rp 4.413.761.059, sehingga didapatkan biaya produksi energi sebesar Rp 1.534 per Kwh.

Tabel 4.25. Biaya Instalasi *wavefarm* OWS kapasitas 2MW di Kabupaten Sumba Barat.

Elemen Biaya Tetap Sumba Wavefarm 2MW		
	Keterangan	Harga
1	Equipment	
	a Piston Pump (parker.com)	IDR 22.000.000,00
	b Hydraulic Motor (industrybuying.com)	IDR 22.000.000,00
	c Generator (electricgeneratordirect.com)	IDR 135.000.000,00
2	Structural Cost (Watson, 2002 dalam Dinggi, 2018)	
	a Grav. Structure	IDR 1.547.401.552,20
	b Flap Struckture	IDR 426.296.068,29
	c Ballast Struckture	IDR 233.659.941,51
3	Outfitting Equipment (Watson, 2002 dalam Dinggi, 2018)	IDR 144.803.768,00
5	Installation cost (2 hari per alat) - Terlampir	IDR 31.100.000,00
4	Transmission System(hargabangunan.org)	
	a Subsea Cable	IDR 4.500.000,00
	b Installation Cost (3 hari per alat) Terlampir	IDR 20.100.000,00
	c Shore Terminal	IDR 135.000.000,00
5	Regulation and Permit	IDR 272.186.133,00
Total Biaya per Alat Kapasitas 100 KW		IDR 2.994.047.463,00
Total Biaya Kapasitas 2 MW		IDR 54.269.412.733,07

Tabel 4.26. Biaya Variabel *wavefarm* OWS kapasitas 2MW di Kabupaten Sumba Barat.

Elemen Biaya Variabel Sumba		
	Keterangan	Harga
1	Cicilan Hutang (tenor 20 thn dengan bunga efektif 2%)	
	a Cicilan Pokok	IDR 2.713.470.637
	b Bunga thn 1	IDR 1.085.388.255
2	Biaya Perawatan (asumsi 10% dari biaya pembangunan)	IDR 296.220.246,30
3	Tenaga Kerja	
	a Kepala (1) IDR 6.000.000,- per orang	IDR 72.000.000,00
	b Teknisi (3) IDR 3.500.000,- per orang	IDR 126.000.000,00
	c Staff (2) IDR 3.000.000,- per orang	IDR 72.000.000,00
Total		IDR 4.365.079.137

Tabel 4.27. Biaya Instalasi *wavefarm* OWS kapasitas 2MW di Kabupaten Timor Tengah Selatan.

Elemen Biaya Tetap Timor <i>Wavefarm</i> 2MW		
	Keterangan	Harga
1	Equipment	
a	Piston Pump (parker.com)	IDR 22.000.000,00
b	Hydraulic Motor (industrybuying.com)	IDR 22.000.000,00
c	Generator (electricgeneratordirect.com)	IDR 135.000.000,00
2	Structural Cost (Watson, 2002 dalam Fyan, 2018)	
a	Grav. Structure	IDR 1.547.401.552,20
b	Flap Struckture	IDR 426.296.068,29
c	Ballast Struckture	IDR 233.659.941,51
3	Outfitting Equipment	IDR 144.803.768,00
5	Installation cost (2 hari per alat) - Terlampir	IDR 31.100.000,00
4	Transmission System (hargabangunan.org)	
a	Subsea Cable	IDR 45.000.000,00
b	Installation Cost (3 hari per alat) Terlampir	IDR 20.100.000,00
c	Shore Terminal	IDR 135.000.000,00
5	Regulation and Permit	IDR 276.236.133,00
Total Biaya per Alat Kapasitas 100 KW		IDR 3.038.597.463,00
Total Biaya Kapasitas 2 MW		IDR 55.083.462.733,07

Tabel 4.28. Biaya Variabel *wavefarm* OWS kapasitas 2MW di Kabupaten Timor Tengah Selatan.

Elemen Biaya Variabel Timor		
	Keterangan	Harga
1	Cicilan Hutang (tenor 20 thn dengan bunga efektif 2%)	
a	Cicilan Pokok	IDR 2.754.173.137
b	Bunga thn 1	IDR 1.101.669.255
2	Biaya Perawatan (asumsi 10% dari biaya pembangunan)	IDR 300.675.246
3	Tenaga Kerja	
a	Kepala (1) IDR 6.000.000,- per orang	IDR 72.000.000,00
b	Teknisi (3) IDR 3.500.000,- per orang	IDR 126.000.000,00
c	Staff (2) IDR 3.000.000,- per orang	IDR 72.000.000,00
Total		IDR 4.426.517.637

Tabel 4.29. Biaya Instalasi OWS per Hari.

Harga Instalasi per Hari					
No	Detail	Satuan	Jumlah	Harga	Total
	Gaji				
1	Kepala Teknis	Orang	1	IDR 200.000	IDR 200.000
2	Teknisi	Orang	6	IDR 150.000	IDR 900.000
3	Operator Tugboat	Orang	1	IDR 150.000	IDR 150.000
4	Operator kapal	Orang	3	IDR 100.000	IDR 300.000
	Alat				
5	Tugboat	unit	1	IDR 6.000.000	IDR 6.000.000
6	Compressor Boat	unit	1	IDR 2.000.000	IDR 2.000.000
7	Support Vessle	unit	1	IDR 6.000.000	IDR 6.000.000
	Total				IDR 15.550.000

Tabel 4.30. Biaya Instalasi Kabel Bawah Laut per Hari.

Harga Instalasi Per hari					
No	Detail	Satuan	Jumlah	Harga	Total
	Gaji				
1	Kepala Teknis	Orang	1	IDR 200.000	IDR 200.000
2	Teknisi	Orang	2	IDR 150.000	IDR 300.000
4	Operator kapal	Orang	2	IDR 100.000	IDR 200.000
	Alat				
7	Support Vessel	unit	1	IDR 6.000.000	IDR 6.000.000
	Total				IDR 6.700.000

Perhitungan biaya setiap struktur. Biaya dihitung menggunakan persamaan biaya per satuan berat yang disebutkan di tabel 2.3, dalam perhitungan tersebut perlu diketahui terlebih dahulu berat total struktur, dapat dilihat di Lampiran G untuk masing- masing struktur. Berikut ditampilkan perhitunga biaya per satuan berat (y) dalam US\$ untuk masing- masing struktur.

a. *Steel Gravity Structure* – 27,75 ton

$$y = -0.0000000011x^3 + 0.00003x^2 - 0.39x + 3972.12$$

$$y = -0.0000000011(27,75)^3 + 0.00003(27,75)^2 - 0.39(27,75) + 3972.12$$

$$y = \text{US\$ } 3.961,4/ \text{ ton}$$

b. *Flap Structure* – 7,66 ton

$$y = -0.0000000011x^3 + 0.00003x^2 - 0.39x + 3972.12$$

$$y = -0.0000000011(7,66)^3 + 0.00003(7,66)^2 - 0.39(7,66) + 3972.12$$

$$y = \text{US\$ } 3.972,2/ \text{ ton}$$

c. *Ballast Structure* – 4,2 ton

$$y = -0.0000000011x^3 + 0.00003x^2 - 0.39x + 3972.12$$

$$y = -0.0000000011(4,2)^3 + 0.00003(4,2)^2 - 0.39(4,2) + 3972.12$$

$$y = \text{US\$ } 3.973,8/ \text{ ton}$$

Dengan diketahuinya nilai biaya per satuan berat, dapat dihitung nilai keseluruhan struktur dengan mengkalikan biaya per satuan berat dikalikan berat total struktur. Nilai total struktur (Y) inilah yang digunakan sebagai biaya pembangunan setiap komponen struktur. Berikut ditampilkan nilai total biaya per struktur.

- a. *Steel Gravity Structure* – 27,75 ton, US\$ 3.961,4/ ton. Dengan nilai tukar rupiah sebesar 14.000 per dolar

$$Y = 3.961,4 \times 27,75$$

$$Y = \text{US\$ } 109.928$$

$$Y = \text{Rp } 1.538.992.469$$

- b. *Flap Structure* – 7,66 ton, US\$ 3.972,2/ ton. Dengan nilai tukar rupiah sebesar 14.000 per dolar

$$Y = 3.972,2 \times 7,66$$

$$Y = \text{US\$ } 30.449$$

$$Y = \text{Rp } 426.296.068$$

- c. *Ballast Structure* – 4,2 ton, US\$ 3.973,8/ ton. Dengan nilai tukar rupiah sebesar 14.000 per dolar

$$Y = 3.973,8 \times 4,2$$

$$Y = \text{US\$ } 16.689$$

$$Y = \text{Rp } 233.659.941$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan instalasi peralatan (*outfitting equipment*). Biaya instalasi peralatan dihitung berdasarkan persamaan yang dijelaskan pada bab sebelumnya, berupa biaya instalasi peralatan tongkan per satuan berat. Biaya ini didasarkan pada berat total peralatan yang harus diinstalasi, untuk detail berat setiap peralatan dapat dilihat di Lampiran G. Berikut ditampilkan perhitungan biaya *outfitting* peralatan pada struktur OWS, dengan x adalah total berat peralatan dalam ton.

- a. Biaya per Berat *Outfitting Equipment* – 0,561 ton.

$$y = -0.0000000011x^3 + 0.000049x^2 - 3.16x + 18440.66$$

$$y = -0.0000000011(0,561)^3 + 0.000049(0,561)^2 - 3.16(0,561) + 18440.66$$

$$y = \text{US\$ } 18.436 / \text{ton}$$

- b. Biaya Total *Outfitting Equipment* – 0,561 ton, US\$ 18.436/ ton.

$$y = 18.436 \times 0,561$$

$$y = \text{US\$ } 10343$$

$$y = \text{Rp } 144.803.768$$

Cicilan hutang terdiri dari cicilan pokok dan bunga. Cicilan pokok dihitung berdasarkan nilai total biaya pembangunan dibagi tenor (waktu pembayaran hutang). Bunga yang diasumsikan adalah bunga efektif sebesar 2% per tahun, bunga efektif berarti bunga dihitung berdasarkan sisa hutang yang belum terbayarkan pada waktu pembayaran hutang. Persamaan yang digunakan untuk menghitung cicilan pokok dan bunga telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

- a. Cicilan Pokok

$$C_p = \frac{P_H}{T_H}$$

$$C_p = \frac{54.100.390.175}{20} = \text{Rp } 2.705.019.509$$

b. Bunga Efektif tahun 1

$$C_B = (P_H - ((1 - y)C_P)) \times B_{eff}$$

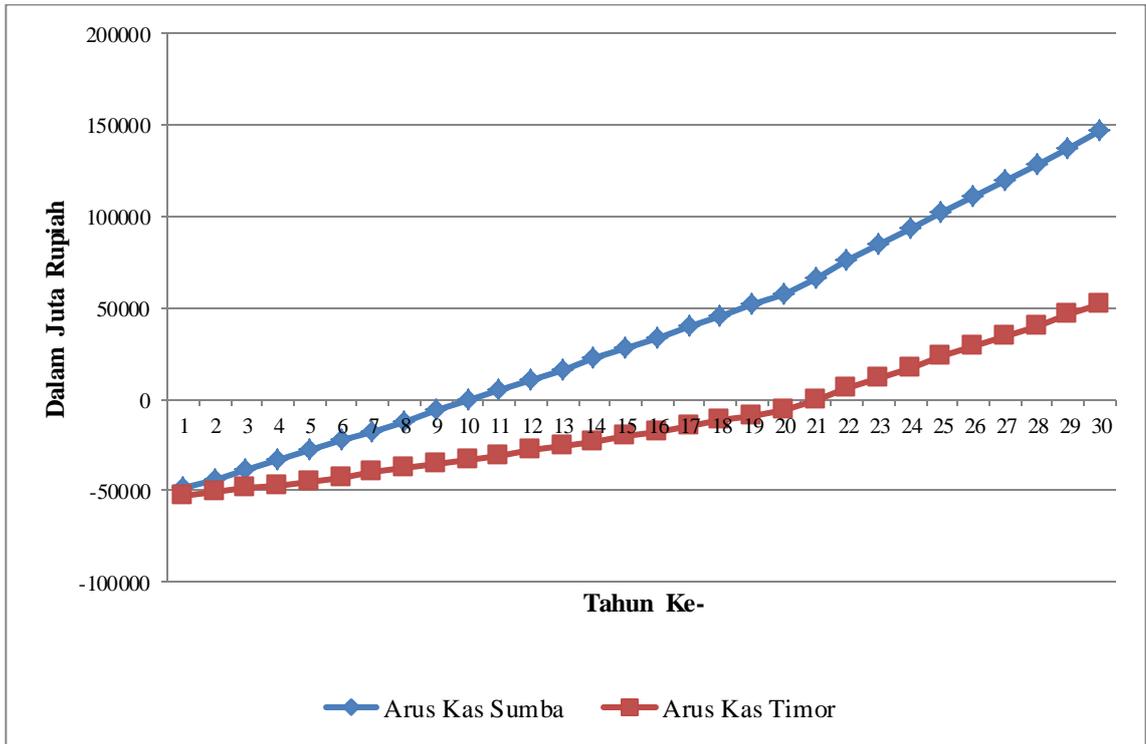
$$C_B = (54.100.390.175 - ((1 - 1)2.705.019.509)) \times 0,02$$

$$C_B = Rp\ 1.082.007.803$$

Biaya regulasi dan perizinan diasumsikan sebesar 10% dari biaya alat. Perhitungan per biaya variabel telah diselesaikan, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan *cashflow*, untuk mengetahui BEP dan *Internal Rate of Return* (IRR), IRR mengukur tingkat efisiensi dari suatu investasi. Efisiensi ini diukur berdasarkan nilai pemasukan, pengeluaran, dan nilai bersih *cashflow*.

Harga jual energi terbarukan telah ditentukan oleh Kementerian ESDM dalam PerMen ESDM no. 50 tahun 2017. Penjualan energi diasumsikan sebesar Rp 2.200 per KWh, hal ini diasumsikan berdasarkan tarif Biaya Pokok Penyediaan (BPP) listrik Sub sistem kecil NTT sebesar Rp 2.600 (KepMen ESDM nomor 1772 K/20/MEM/2018) dan berdasarkan PerMen ESDM no. 12 tahun 2017, dimana pembelian listrik dari energi terbarukan tidak melebihi 85% dari BPP lokal.

Berdasarkan tarif pembelian sebesar Rp 2.200 dan produksi energi per tahun di Sumba Barat dan Timor Tengah Selatan, maka nilai pendapatan pembangkit dapat dihitung. Secara urut Sumba Barat dan Timor Tengah Selatan menghasilkan Rp9.427.556.114 dan Rp 6.331.116.524 jika diasumsikan pembangkit berkapasitas 2MW beroperasi selama umur ekspektasi 30 thn, maka nilai IRR dai Pembangkit di Sumba Barat sebesar 9% dan Timor Tengah Selatan sebesar -4%. BEP (*break even point*) masing- masing akan dicapai pada tahun ke 11 dan 22. *Cashflow* dari pembangunan PLTGL pada masing- masing Kabupaten ditunjukkan pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 *Cashflow* Pembangunan PLTGL OWS di Kabupaten Sumba Barat dan Kabupaten Timor Tengah Selatan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Kebutuhan listrik di Kabupaten Sumba Barat dan Timor Tengah Selatan masing- masing kabupaten sebesar 15,2 MW dan 68,8 MW, setelah dikurangi oleh kapasitas pembangkit yang akan dibangun pada periode 2019- 2026 pada masing- masing kabupaten berdasarkan RUPTL PLN. Maka kebutuhan akhir per kabupaten adalah 12,6 Mw dan 38,8 Mw.
2. Energi *annually* yang dapat dihasilkan oleh alat PLTGL tipe OWS dengan spesifikasi WaveRoller 100 Kw sebesar 214,3 MWh dan 143,9 MWh pada masing- masing Kabupaten Sumba Barat dan Timor Tengah Selatan.
3. Dengan kebutuhan daya 2 MW, maka perlu dibangun 20 alat untuk menghasilkan *wavefarm* berkapasitas 2 MW. Berdasarkan produksi energi dan kapasitas daya yang diperlukan sebesar 2 MW dengan asumsi umur alat selama 30 tahun, IRR untuk pembangunan *wavefarm* 2 MW PLTGL tipe OWS di Sumba Barat sebesar 9% dan Timor Tengah Selatan sebesar - 4%, dengan asumsi PLTGL dapat bekerja secara penuh selama 40% dalam satu tahun.

5.2 Saran

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan lokasi yang lebih tepat secara teknis dan potensi energi pada masing-masing kabupaten. Termasuk didalamnya potensi energi berdasarkan perhitungan di laut transisi.
2. Penggunaan data kelautan yang lebih akurat terutama data gelombang. Serta perhitungan daya dan energi berdasarkan data gelombang lapangan dengan periode antar pengukuran lebih pendek.
3. Diperlukan pengujian alat OWS secara numerik dan fisik, untuk mengetahui karakteristik respon alat OWS terhadap kondisi kelautan alat secara lebih detail. Sehingga dapat menghasilkan angka CWR di berbagai kondisi laut dan mengetahui respon fondasi terhadap kondisi operasi.
4. Penelitian untuk mengetahui nilai efektifitas PTO yang sebenarnya pada setiap kondisi lingkungan perlu dilakukan.

Daftar Pustaka

Alvarez. 2010. *Estimation of Wave Power in the Near Shore Around Hanstholm Harbour*. Aalborg: Civil Engineering Department, Aalborg University

Anonim. 2002. *Publisahable report Islay Limpet Wave Power Plant*. Queen University of Belfast.

Cahill and Lewis.2015. "Wave Period Ratios And The Calculation Of Wave Power".Proceedings of the 2nd Marine Energy Technology Symposium

Christanto. 2017. <https://bumntrack.com/berita/bangun-plta-kumbih-iii-pln-utang-85-juta-euro>. 22 desember 2018

DitJen EBTKE ESDM. 2015. *Rencana Strategis DitJen EBTKE 2015-2019*. Jakarta: Kementerian ESDM

DitJen Ketenaga Listrikan ESDM. 2017. *Statistik Ketenagalistrikan tahun 2016*. Jakarta: Direktorat Ketenagalistrikan Kementerian ESDM.

DitJen Ketenagalistrikan ESDM. 2018. *Statistik Ketenaga Listrikan 2017*. Jakarta: Kementerian ESDM

Dinggi, Muhammad Fyan. 2018. *Studi Komparatif Pembangunan OTEC*. Surabaya: Departemen Teknik Kelautan

Kementerian ESDM. 2018. Keputusan Menteri ESDM nomor 1772 K/20/MEM/2018 tentang Besaran Biaya Pokok Pembangkitan PT Perusahaan Listrik Negara. Jakarta: Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2017

Kementerian ESDM. 2017. Peraturan Menteri ESDM nomor 50 tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik. Jakarta: Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2017

Lynn, Paul A. 2014. *Electricity from wave and tide : an introduction to marine energy*. West Sussex : Wiley

Maki et al. 2014. “WaveRoller – One of the Leading Technologies for Wave Energy Conversion”. *5th International Conference on Ocean Energy*. Halifax

Munawar, Muhammad Hasan. 2018. “Human health and environmental impacts of coal combustion and post-combustion wastes”. *Journal of Sustainable Mining* 17: 87- 96

PT PLN NTT. 2018. *Kondisi Kelistrikan NTT*. Kupang: Kantor Wilayah PLN NTT.

Sasaki, W. 2017. “Predictability of global offshore wind and wave power”. *International Journal of Marine Energy* 17 (1): 98- 109.

Schmitt et al. 2016. “Optimising power take-off of an oscillating wave surge converter using high fidelity numerical simulations”. *International Journal of Marine Energy* 16: 196–208

Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset

US Army Corps of Engineer. 1978. *Shore Protection Manual Volume 1*. Mississippi: Us Army Corps of Engineer.

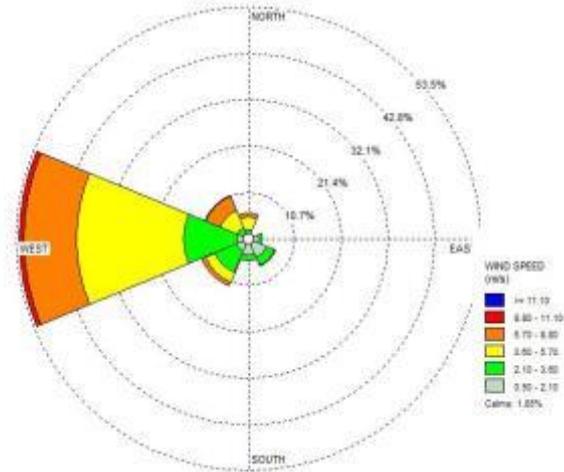
Watson. 2002. *Practical Ship Design*. Oxford: Elsevier

Widowaty, Astrid Karina. 2015. *Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Pltgl Di Pulau Bawean Gresik*. Surabaya: Departemen Teknik Kelautan

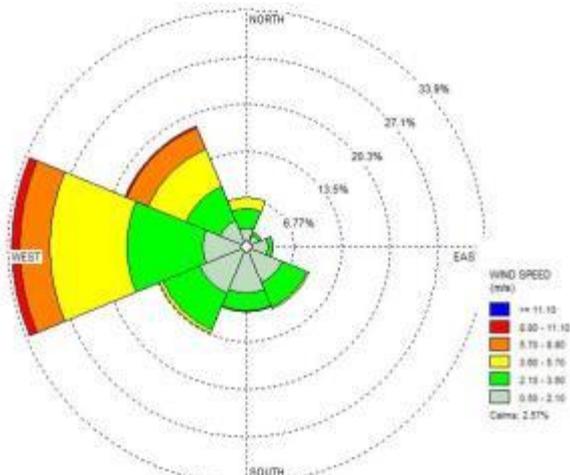
Whittaker and Folley. 2012. “Nearshore oscillating wave surge converters and the development of Oyster”. *Philosophical Transaction Royal Society A* (2012) 370: 345-364

World Meteorological Organization. 1998. *Guide to Wave Analysis and Forecasting*. Geneva:WMO

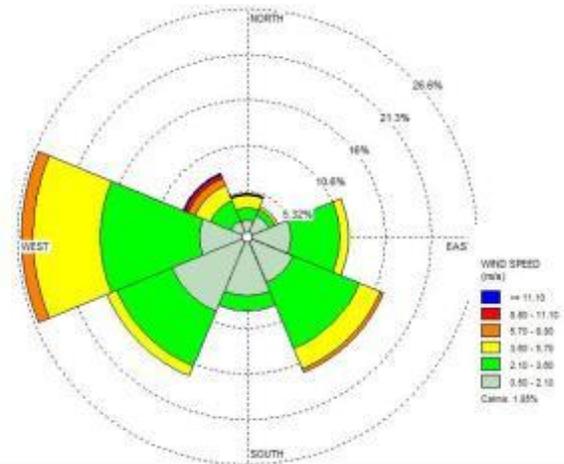
LAMPIRAN A
Windrose Sumba Barat periode tahun 2010- 2017
Januari



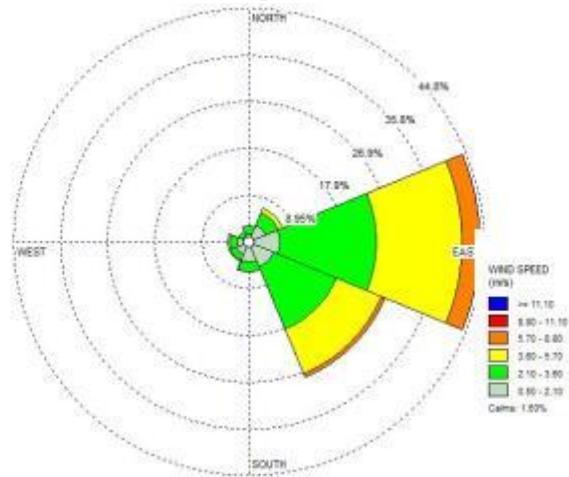
Februari



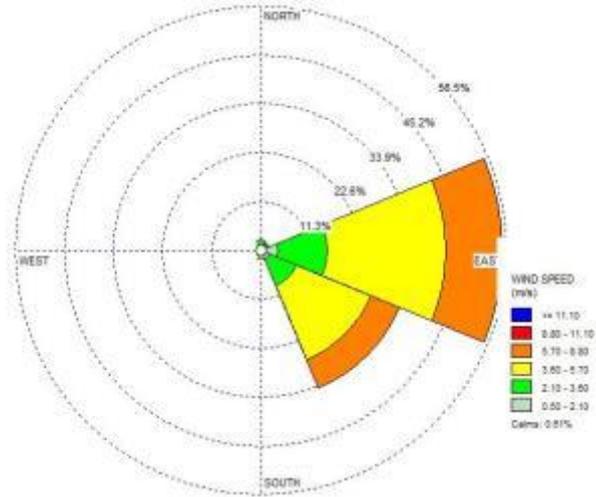
Maret



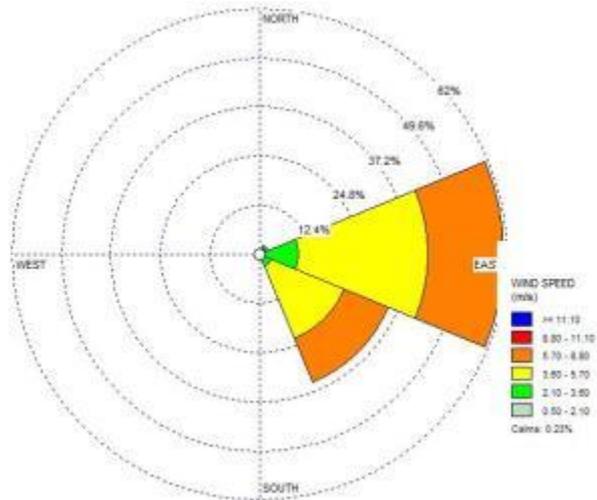
April



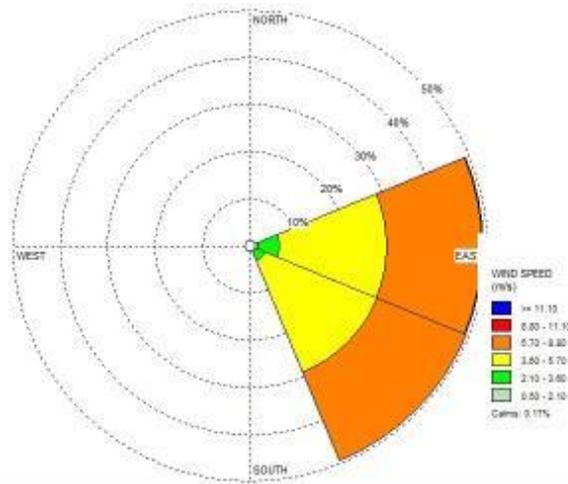
Mei



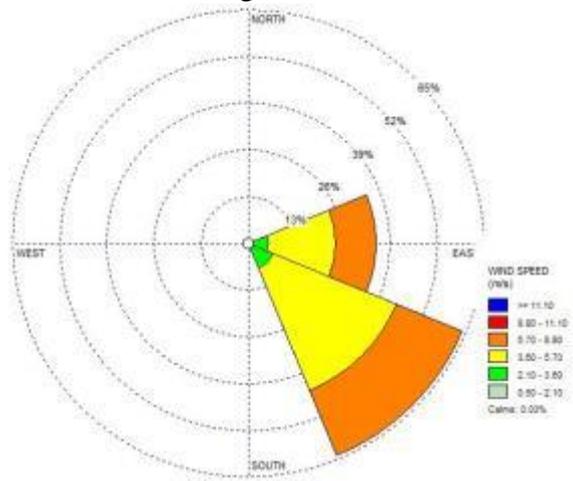
Juni



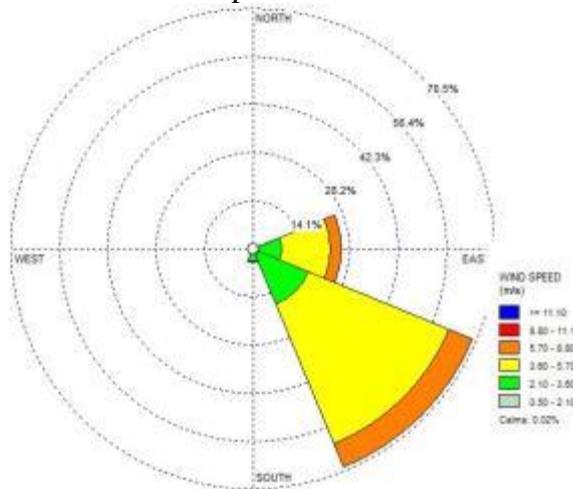
Juli



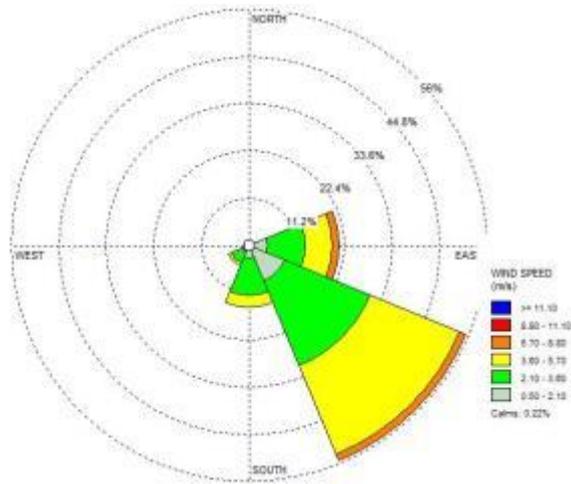
Agustus



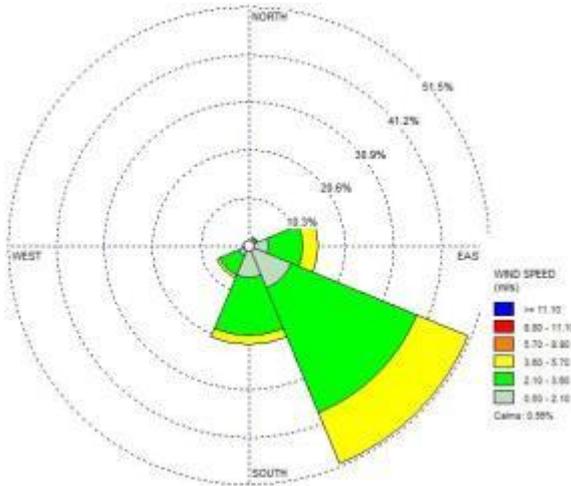
September



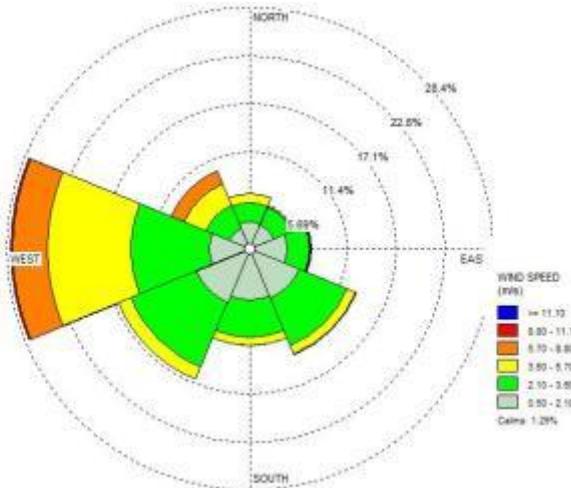
Oktober



November

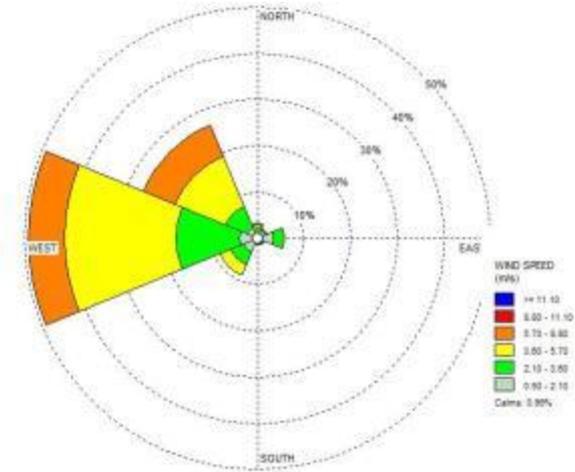


December

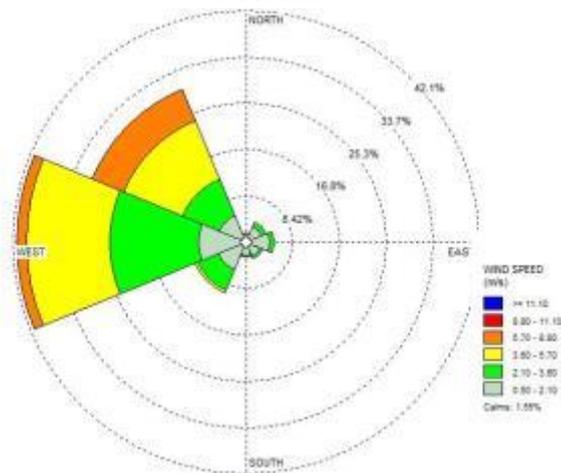


LAMPIRAN B

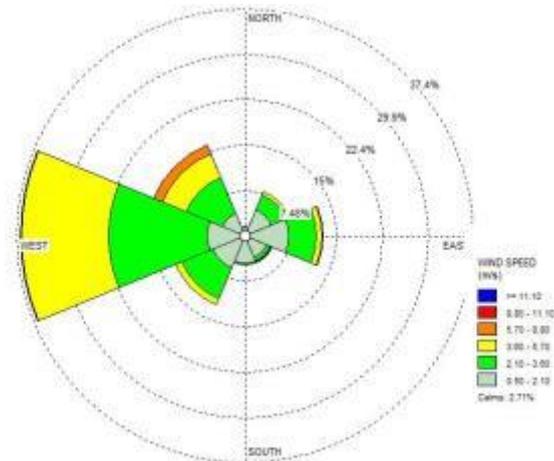
Windrose Timor Tengah Selatan periode tahun 2010- 2017
Januari



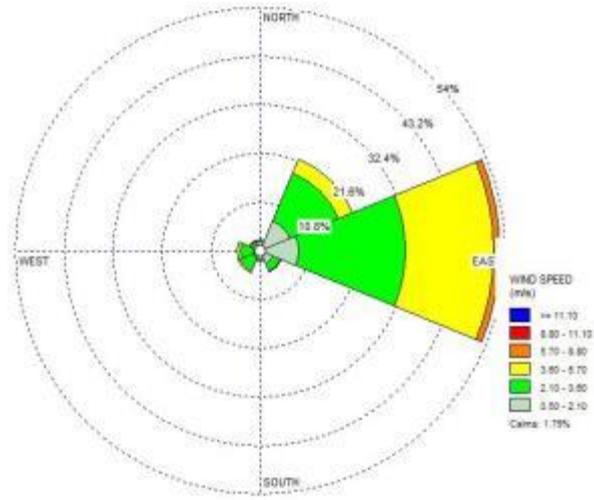
Februari



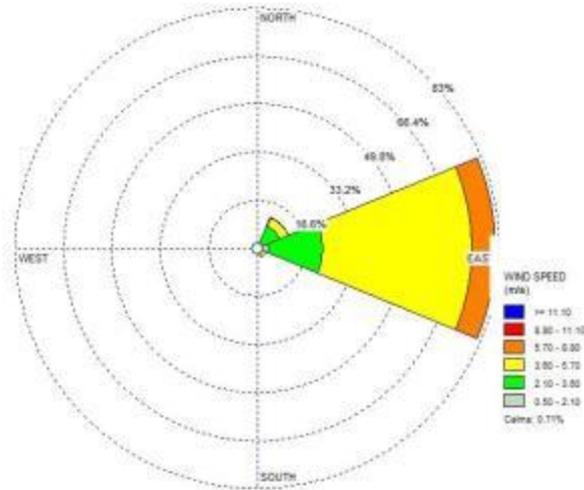
Maret



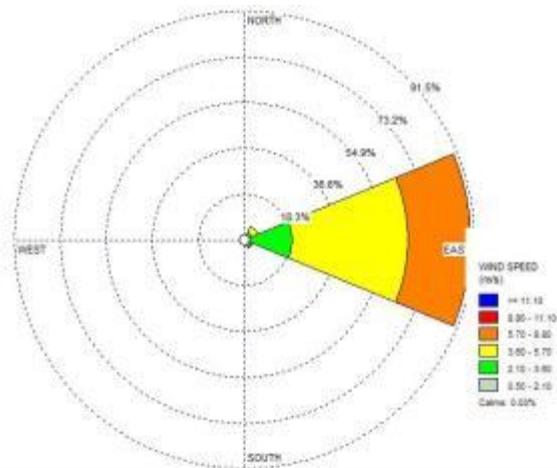
April



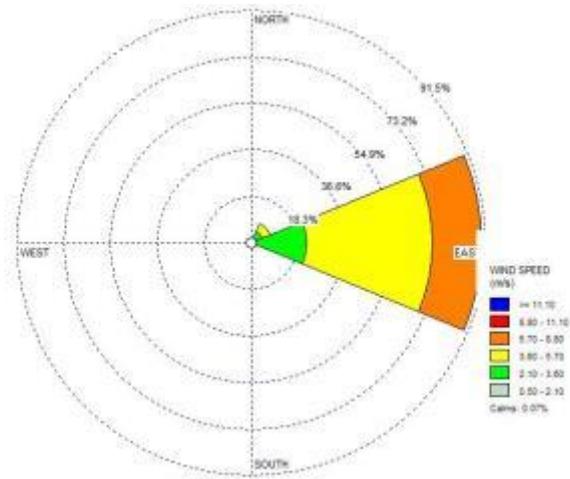
Mei



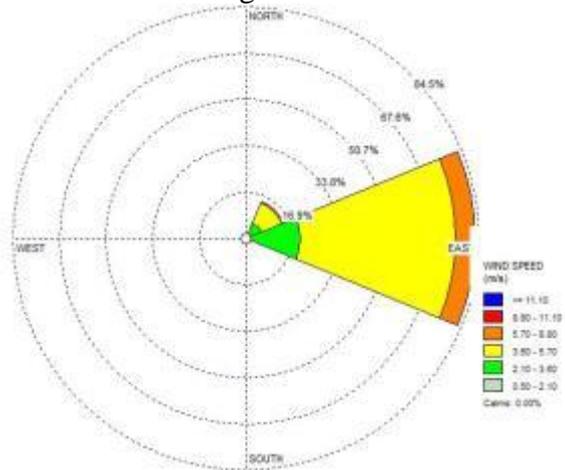
Juni



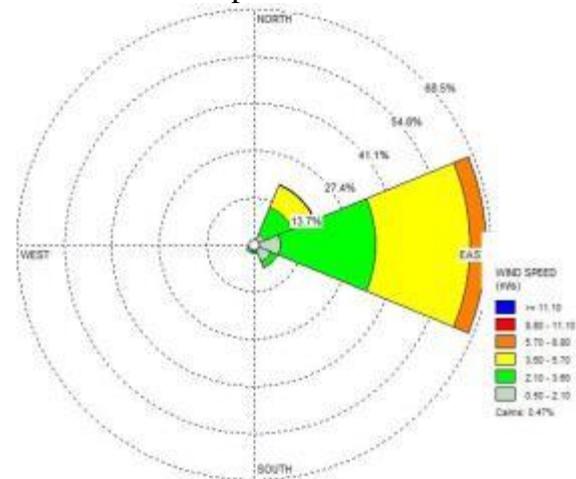
Juli



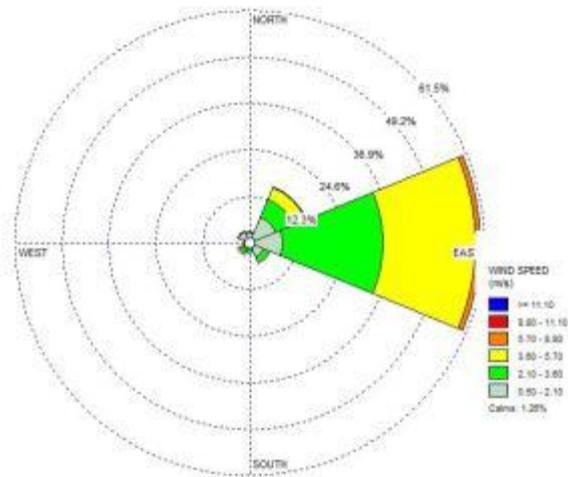
Agustus



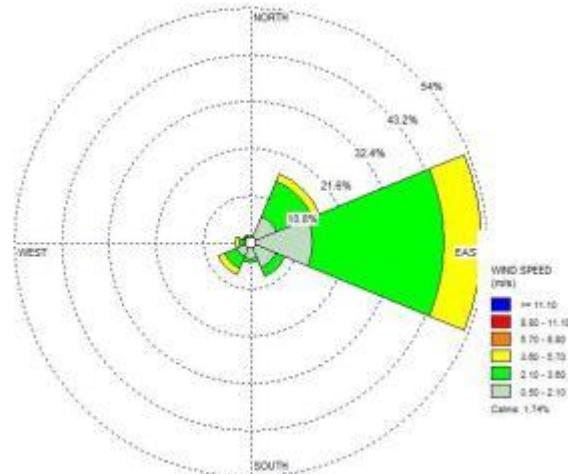
September



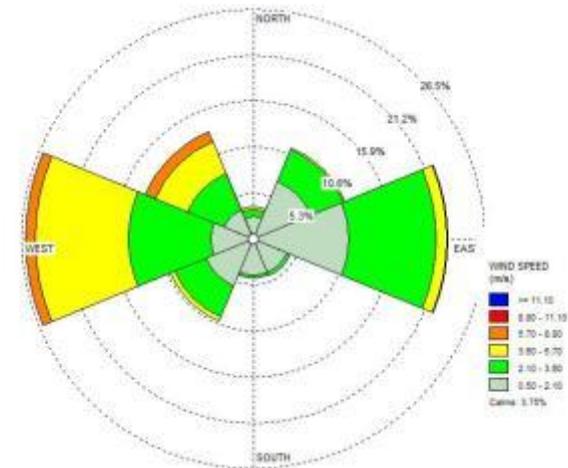
Oktober



November



Dezember



LAMPIRAN C
Panjang Segemen Fetch Sumba Barat
Bulan Desember, Januari, Februari, Maret



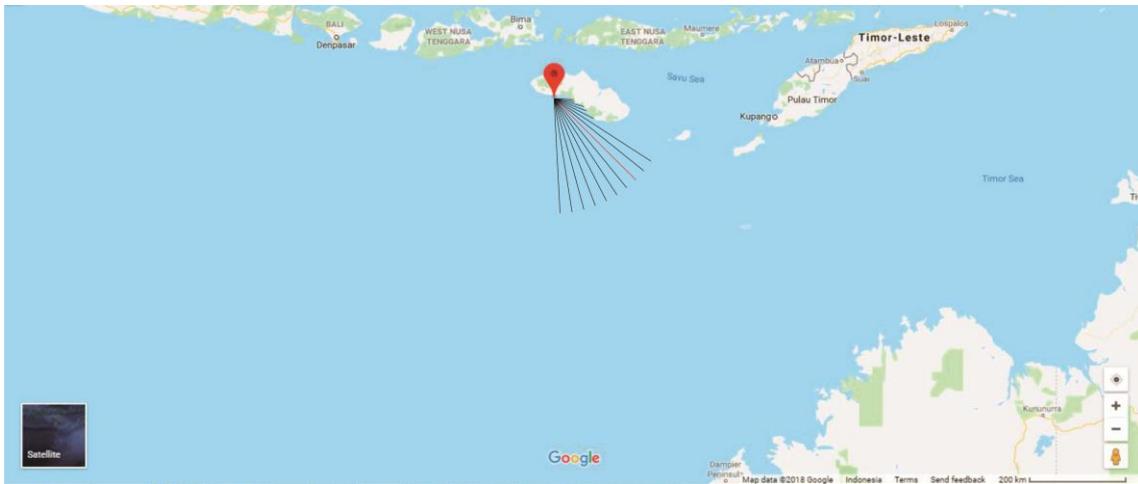
Fetch effective (Barat)					
α	$\text{Cos}(\alpha)$	X	X real	$\text{Cos}(\alpha) X$	$\text{Cos}(\alpha) X \text{ real}$
-	-	mm	Km	Km	Km
42	0,743	6,540	15,28	11,36	11,36
36	0,809	7,729	18,06	14,61	14,61
30	0,866	9,531	22,27	19,29	19,29
24	0,914	15,157	35,42	32,35	32,35
18	0,951	106,990	250,00	237,76	237,76
12	0,978	106,990	250,00	244,54	244,54
6	0,995	106,990	250,00	248,63	248,63
0	1	106,990	250,00	250,00	250,00
-6	0,995	106,990	250,00	248,63	248,63
-12	0,978	106,990	250,00	244,54	244,54
-18	0,951	106,990	250,00	237,76	237,76
-24	0,914	106,990	250,00	228,39	228,39
-30	0,866	106,990	250,00	216,51	216,51
-36	0,809	106,990	250,00	202,25	202,25
-42	0,743	106,990	250,00	185,79	185,79
Jumlah	13,511				2622,405664
F eff	194,095	Km			
	194095	m			

Bulan April, Mei, Juni



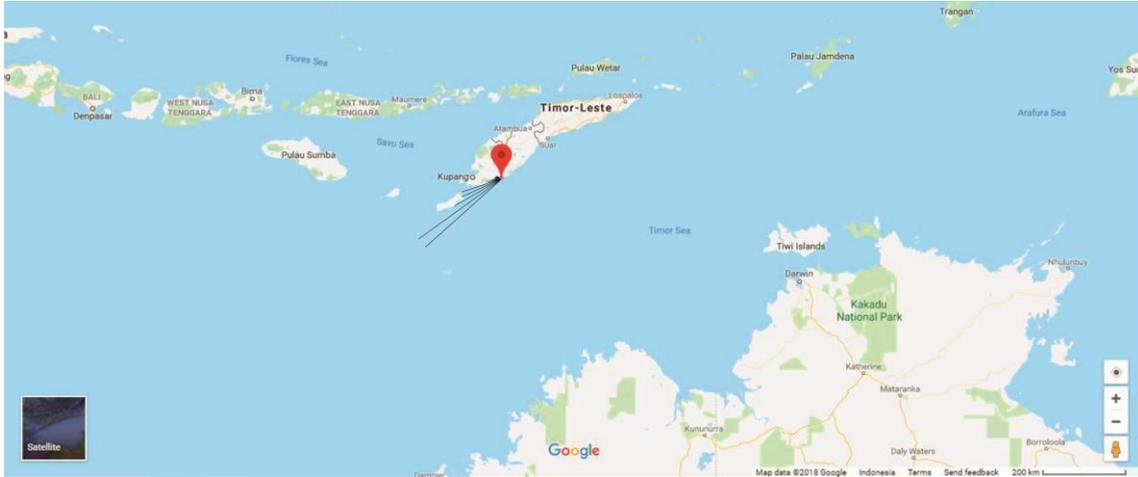
Fetch effective (Timur)					
α	$\text{Cos}(\alpha)$	X	X real	$\text{Cos}(\alpha) X \text{ real}$	$\text{Cos}(\alpha) X \text{ real}$
-	-	mm	Km	Km	Km
42	0,74314	7,046	16,46	12,24	12,24
36	0,80902	7,109	16,61	13,44	13,44
30	0,86603	8,089	18,90	16,37	16,37
24	0,91355	9,595	22,42	20,48	20,48
18	0,95106	10,885	25,43	24,19	24,19
12	0,97815	12,018	28,08	27,47	27,47
6	0,99452	15,22	35,56	35,37	35,37
0	1	14,589	34,09	34,09	34,09
-6	0,99452	17,66	41,27	41,04	41,04
-12	0,97815	24,58	57,44	56,18	56,18
-18	0,95106	31,078	72,62	69,06	69,06
-24	0,91355	33,363	77,96	71,22	71,22
-30	0,86603	106,99	250,00	216,51	216,51
-36	0,80902	106,99	250,00	202,25	202,25
-42	0,74314	106,99	250,00	185,79	185,79
Jumlah	13,5109				1025,691716
F eff	75,9158	Km			
	75915,8	m			

Bulan Juli, Agustus, September, Oktober, November



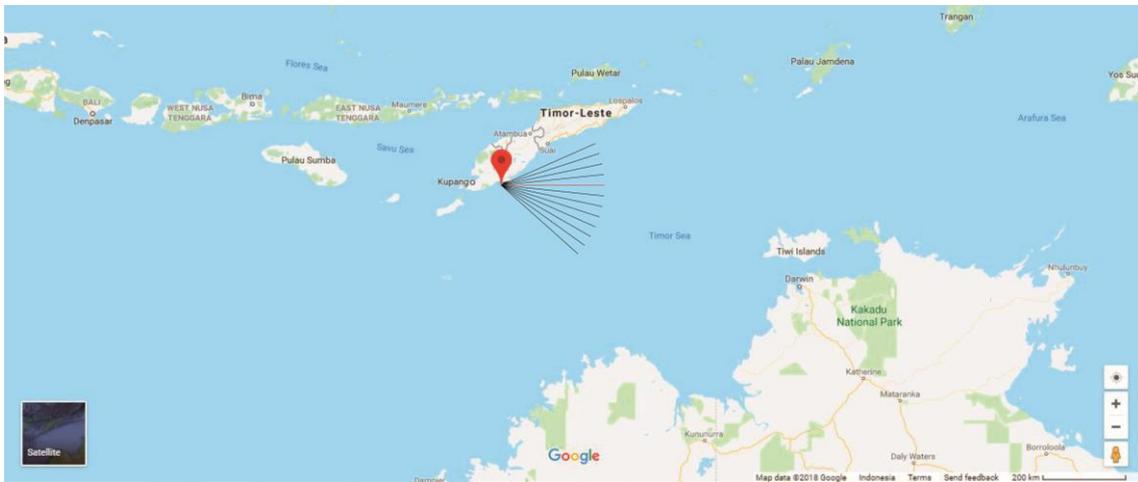
Fetch effective (Tenggara)					
α	$\text{Cos}(\alpha)$	X	X real	$\text{Cos}(\alpha) \times X$ real	$\text{Cos}(\alpha) \times X$ real
-	-	mm	Km	Km	Km
42	0,74314	15,382	35,94	26,71	26,71
36	0,80902	18,663	43,61	35,28	35,28
30	0,86603	18,569	43,39	37,58	37,58
24	0,91355	32,989	77,08	70,42	70,42
18	0,95106	42,005	98,15	93,35	93,35
12	0,97815	106,99	250,00	244,54	244,54
6	0,99452	106,99	250,00	248,63	248,63
0	1	106,99	250,00	250,00	250,00
-6	0,99452	106,99	250,00	248,63	248,63
-12	0,97815	106,99	250,00	244,54	244,54
-18	0,95106	106,99	250,00	237,76	237,76
-24	0,91355	106,99	250,00	228,39	228,39
-30	0,86603	106,99	250,00	216,51	216,51
-36	0,80902	106,99	250,00	202,25	202,25
-42	0,74314	106,99	250,00	185,79	185,79
Jumlah	13,5109				2570,367508
F eff	190,244	Km			
	190244	m			

LAMPIRAN D
Panjang Segemen Fetch Timur Tengah Selatan
Bulan Desember, Januari, Februari, Maret



Fetch effective (Barat)					
α	Cos (α)	X	X real	Cos (α) X real	Cos (α) X real
-	-	mm	Km	Km	Km
42	0,74314	4,76	13,17	9,79	9,79
36	0,80902	5,47	15,15	12,26	12,26
30	0,86603	6,01	16,64	14,41	14,41
24	0,91355	6,46	17,87	16,33	16,33
18	0,95106	6,73	18,62	17,71	17,71
12	0,97815	7,03	19,46	19,04	19,04
6	0,99452	6,91	19,12	19,01	19,01
0	1	7,40	20,47	20,47	20,47
-6	0,99452	8,26	22,88	22,75	22,75
-12	0,97815	13,69	37,89	37,06	37,06
-18	0,95106	35,38	97,95	93,16	93,16
-24	0,91355	37,67	104,29	95,28	95,28
-30	0,86603	47,83	132,41	114,67	114,67
-36	0,80902	90,30	250,00	202,25	202,25
-42	0,74314	90,30	250,00	185,79	185,79
Jumlah	13,5109				879,9757846
F eff	65,1307	Km			
	65130,7	m			

Bulan April, Mei, Juni, Juli, Agustus, September, Oktober, November

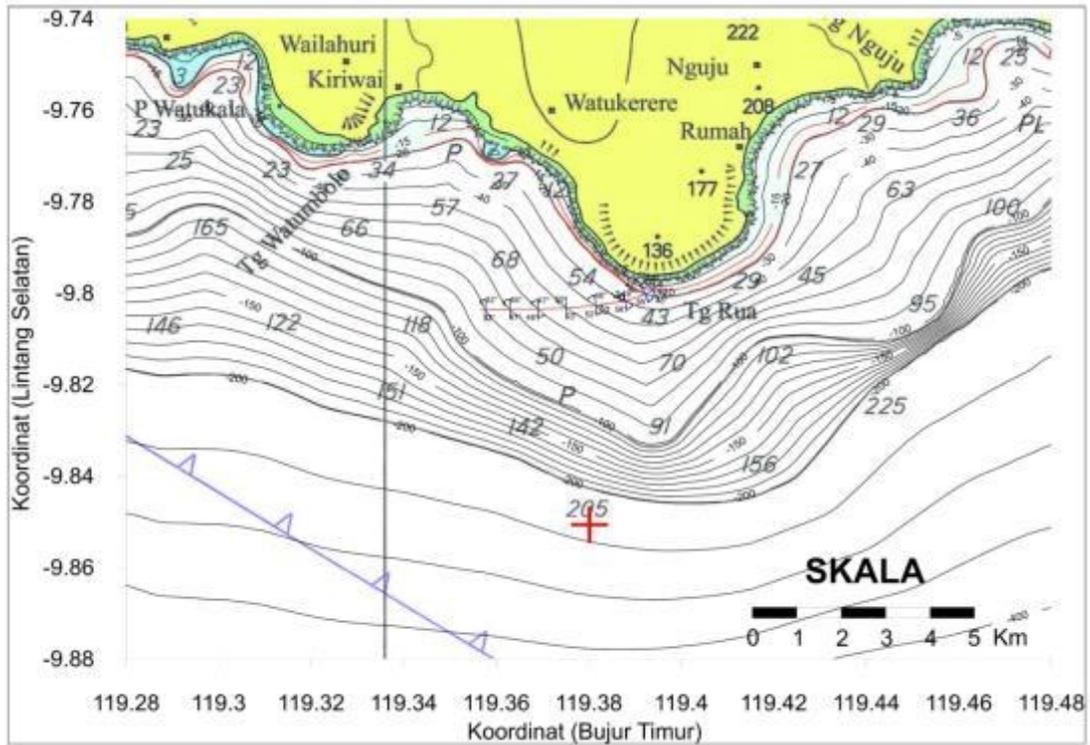


Fetch effective (Timur)					
α	$\text{Cos}(\alpha)$	X	X real	$\text{Cos}(\alpha) X \text{ real}$	$\text{Cos}(\alpha) X \text{ real}$
-	-	mm	Km	Km	Km
42	0,74314	4,19	11,60	8,62	8,62
36	0,80902	4,83	13,38	10,82	10,82
30	0,86603	5,70	15,78	13,66	13,66
24	0,91355	90,30	250,00	228,39	228,39
18	0,95106	90,30	250,00	237,76	237,76
12	0,97815	90,30	250,00	244,54	244,54
6	0,99452	90,30	250,00	248,63	248,63
0	1	90,30	250,00	250,00	250,00
-6	0,99452	90,30	250,00	248,63	248,63
-12	0,97815	90,30	250,00	244,54	244,54
-18	0,95106	90,30	250,00	237,76	237,76
-24	0,91355	90,30	250,00	228,39	228,39
-30	0,86603	90,30	250,00	216,51	216,51
-36	0,80902	90,30	250,00	202,25	202,25
-42	0,74314	90,30	250,00	185,79	185,79
Jumlah	13,5109				2806,289376
F eff	207,705	Km			
	207705	m			

LAMPIRAN E

Perhitungan Refraksi dan *Shoaling*

Sumba Barat Bulan Desember, Januari, Februari, Maret, dengan contoh gambar refraksi pada Bulan Januari



Januari

a	o	Ho(m)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	L(m)	C(m/s)	a	Kr	Ks	H'o(m)
32		2,950	166,28	16,106	80	165,556	16,036	32	0,999	0,989	2,915
47		2,950	166,28	16,106	70	164,687	15,951	46	0,995	0,980	2,876
48		2,876	164,69	15,951	60	161,747	15,667	47	0,989	0,968	2,754
53		2,754	161,75	15,667	50	156,128	15,122	50	0,972	0,952	2,549
52		2,549	156,13	15,122	40	146,461	14,186	48	0,956	0,934	2,276
58		2,276	146,46	14,186	30	130,810	12,670	49	0,901	0,919	1,884
55		1,884	130,81	12,670	20	107,637	10,426	42	0,881	0,913	1,516
45		1,516	107,64	10,426	15	86,147	8,344	34	0,926	0,915	1,285

Februari

a o	Ho(m)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	L(m)	C(m/s)	a	Kr	Ks	H'o(m)
47	2,551	143,38	14,956	70	142,837	14,899	47	0,998	0,989	2,518
49	2,518	142,84	14,899	60	141,479	14,758	48	0,994	0,980	2,452
54	2,452	141,48	14,758	50	138,627	14,460	52	0,982	0,965	2,324
59	2,324	138,63	14,460	40	132,341	13,804	55	0,947	0,945	2,079
60	2,079	132,34	13,804	30	120,948	12,616	52	0,904	0,925	1,739
58	1,739	120,95	12,616	20	102,140	10,654	46	0,871	0,913	1,383
57	1,383	102,14	10,654	15	82,965	8,654	43	0,863	0,914	1,091

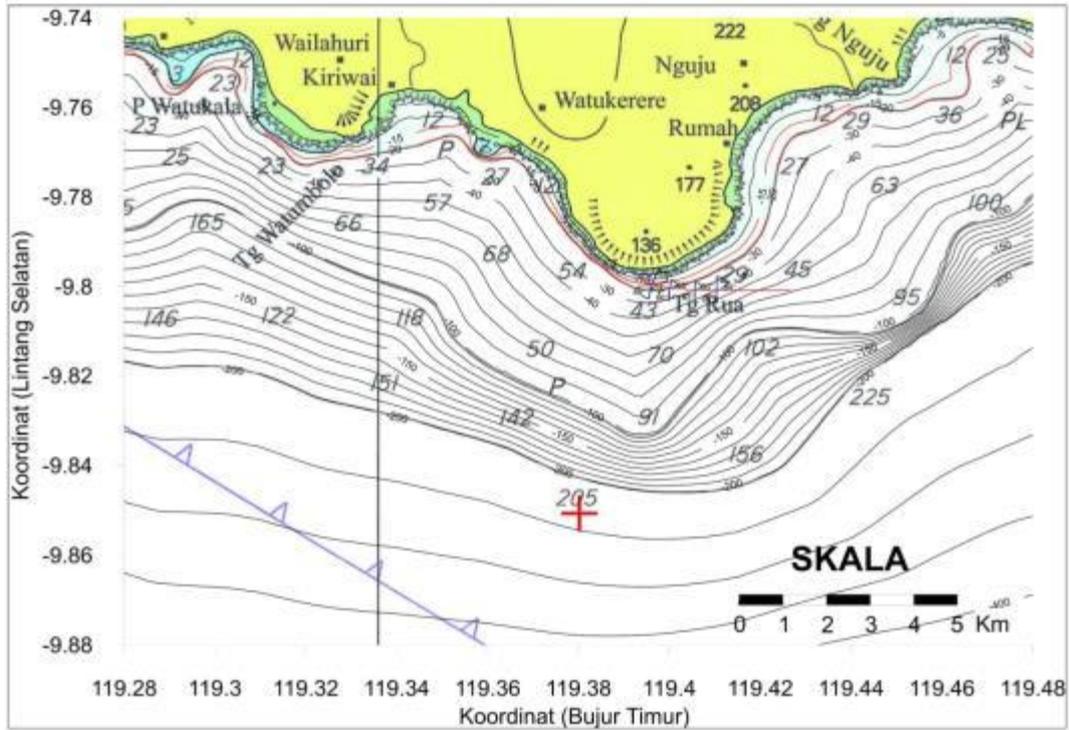
Maret

a o	Ho(m)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	L(m)	C(m/s)	a	Kr	Ks	H'o(m)
49	2,005	126,02	14,021	60	125,434	13,956	49	0,997	0,988	1,975
55	1,975	125,43	13,956	50	123,759	13,769	54	0,987	0,976	1,902
61	1,902	123,76	13,769	40	120,124	13,365	58	0,958	0,956	1,742
63	1,742	120,12	13,365	30	111,990	12,460	56	0,903	0,932	1,466
63	1,466	111,99	12,460	20	96,390	10,724	50	0,841	0,914	1,127
61	1,127	96,39	10,724	15	79,656	8,863	46	0,838	0,913	0,862

Desember

a o	Ho(m)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	L(m)	C(m/s)	a	Kr	Ks	H'o(m)
47	2,479	143,08	14,940	70	142,552	14,885	47	0,998	0,989	2,447
49	2,447	142,55	14,885	60	141,160	14,740	48	0,994	0,980	2,383
54	2,383	141,16	14,740	50	138,271	14,438	52	0,982	0,965	2,257
59	2,257	138,27	14,438	40	132,341	13,819	55	0,949	0,945	2,025
60	2,025	132,34	13,819	30	120,948	12,629	52	0,904	0,925	1,694
58	1,694	120,95	12,629	20	102,140	10,665	46	0,871	0,913	1,348
57	1,348	102,14	10,665	15	83,195	8,687	43	0,864	0,914	1,064

Sumba Barat Bulan April, Mei, Juni dengan contoh gambar refraksi pada Bulan Mei



April

a o	Ho(m)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	L(m)	C(m/s)	a	Kr	Ks	H'o(m)
64	1,379	72,61	10,643	30	71,877	10,536	63	0,980	0,979	1,323
69	1,323	71,88	7,997	20	68,385	7,609	63	0,883	0,942	1,101
71	1,101	68,39	7,609	15	62,186	6,919	59	0,798	0,923	0,811

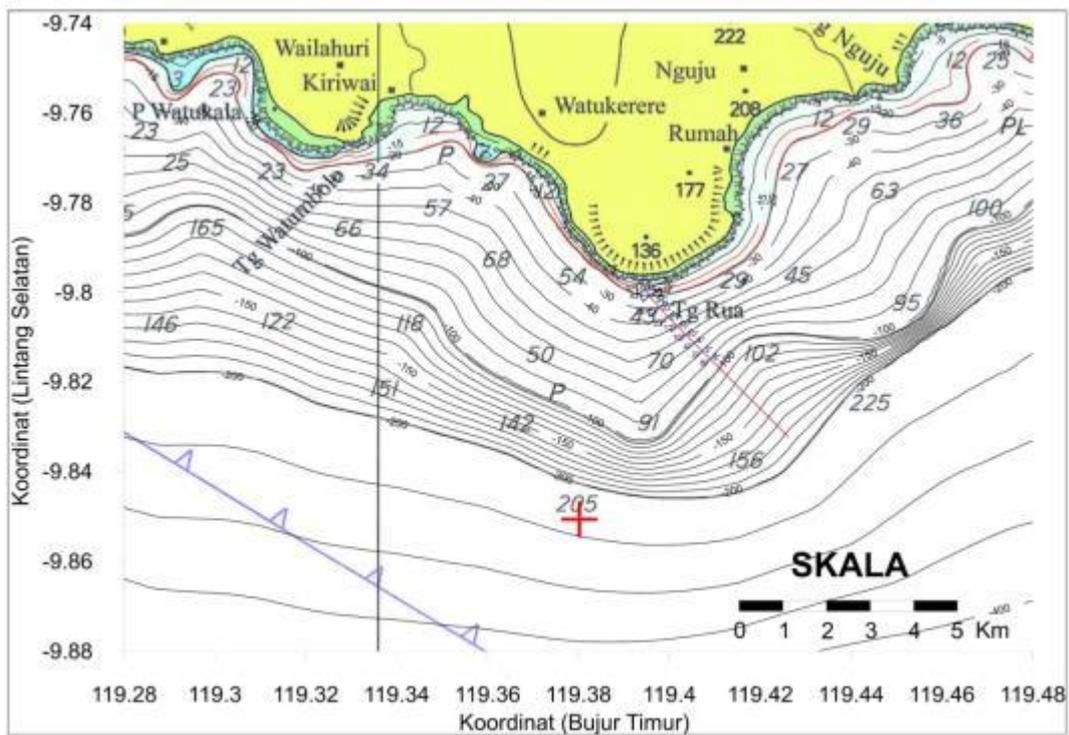
Mei

a o	Ho(m)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	L(m)	C(m/s)	a	Kr	Ks	H'o(m)
65	1,786	87,49	11,683	40	86,989	11,616	64	0,987	0,986	1,739
63	1,739	86,99	11,616	30	84,928	11,340	60	0,959	0,963	1,606
66	1,606	84,93	11,340	20	78,459	10,477	58	0,871	0,928	1,298
66	1,298	78,46	10,477	15	68,950	9,207	53	0,826	0,916	0,982

Juni

a	o	Ho(m)	Lo(m)	Co(m/s)	d	(m)	L(m)	C(m/s)	a	Kr	Ks	H'o(m)
65		1,947	94,62	12,149	40		93,683	12,029	64	0,979	0,980	1,868
63		1,868	93,68	12,029	30		90,840	11,664	60	0,950	0,955	1,693
66		1,693	90,84	11,664	20		82,624	10,609	56	0,855	0,923	1,336
64		1,336	82,62	10,609	15		71,429	9,172	51	0,834	0,915	1,020

Sumba Barat Bulan Juli, Agustus, September, Oktober, November dengan contoh gambar refraksi pada Bulan Juli



Juli

a	o	Ho(m)	Lo(m)	Co(m/s)	d	(m)	L(m)	C(m/s)	a	Kr	Ks	H'o(m)
8		3,340	186,47	17,055	90		185,510	16,968	8	1,000	0,989	3,303
2		3,303	185,51	16,968	80		184,048	16,834	2	1,000	0,982	3,244
4		3,244	184,05	16,834	70		181,352	16,588	4	1,000	0,972	3,153
10		3,153	181,35	16,588	60		176,305	16,126	10	1,000	0,959	3,022
17		3,022	176,30	16,126	50		167,904	15,358	16	0,998	0,944	2,847
23		2,847	167,90	15,358	40		155,346	14,209	21	0,994	0,928	2,625
25		2,625	155,35	14,209	30		136,843	12,517	22	0,988	0,917	2,379
43		2,379	136,84	12,517	20		111,130	10,165	34	0,937	0,914	2,038
37		2,038	111,13	10,165	15		87,837	8,034	28	0,953	0,915	1,777

Agustus

a o	Ho(m)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	L(m)	C(m/s)	a	Kr	Ks	H'o(m)
2	3,111	176,95	16,614	80	175,832	16,510	2	1,000	0,985	3,064
4	3,064	175,83	16,510	70	173,671	16,307	4	1,000	0,976	2,991
10	2,991	173,67	16,307	60	169,856	15,949	10	1,000	0,963	2,879
17	2,879	169,86	15,949	50	163,010	15,306	16	0,998	0,948	2,724
23	2,724	163,01	15,306	40	151,780	14,251	21	0,994	0,931	2,521
25	2,521	151,78	14,251	30	134,270	12,607	22	0,989	0,918	2,288
43	2,288	134,27	12,607	20	109,607	10,292	34	0,938	0,913	1,960
32	1,960	109,61	10,292	15	86,987	8,168	25	0,967	0,915	1,734

September

a o	Ho(m)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	L(m)	C(m/s)	a	Kr	Ks	H'o(m)
4	2,569	155,34	15,567	70	154,182	15,451	4	1,000	0,985	2,530
10	2,530	154,18	15,451	60	152,087	15,241	10	1,000	0,974	2,464
17	2,464	152,09	15,241	50	147,715	14,803	16	0,999	0,958	2,357
23	2,357	147,71	14,803	40	139,728	14,002	22	0,995	0,939	2,203
25	2,203	139,73	14,002	30	126,151	12,642	22	0,990	0,922	2,011
43	2,011	126,15	12,642	20	104,816	10,504	35	0,942	0,913	1,730
33	1,730	104,82	10,504	15	84,526	8,470	26	0,966	0,914	1,528

Oktober

a o	Ho(m)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	L(m)	C(m/s)	a	Kr	Ks	H'o(m)
10	2,029	129,22	14,198	60	128,579	14,128	10	1,000	0,987	2,003
17	2,003	128,58	14,128	50	126,739	13,926	17	0,999	0,974	1,949
23	1,949	126,74	13,926	40	122,474	13,457	22	0,997	0,954	1,854
25	1,854	122,47	13,457	30	113,835	12,508	23	0,993	0,931	1,714
44	1,714	113,83	12,508	20	97,566	10,720	37	0,946	0,914	1,482
35	1,482	97,57	10,720	15	80,369	8,831	28	0,964	0,913	1,304

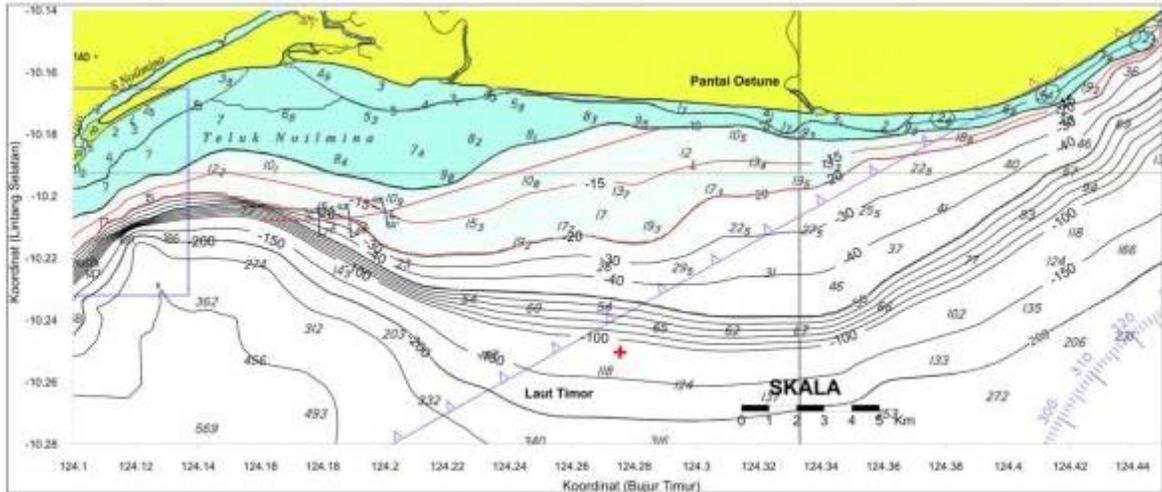
November

a o	Ho(m)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	L(m)	C(m/s)	a	Kr	Ks	H'o(m)
17	1,680	115,60	13,429	50	115,314	13,396	17	1,000	0,982	1,650
23	1,650	115,31	13,396	40	112,644	13,086	22	0,998	0,963	1,586
25	1,586	112,64	13,086	30	106,436	12,365	24	0,994	0,938	1,479
42	1,479	106,44	12,365	20	93,010	10,805	36	0,957	0,916	1,297
34	1,297	93,01	10,805	15	77,930	9,053	28	0,969	0,913	1,147

LAMPIRAN F

Perhitungan Refraksi dan Shoaling

Timor Tengah Selatan Bulan Desember, Januari, Februari, Maret, dengan contoh gambar refraksi pada Bulan Januari



Januari

a o	Ho(m)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	L(m)	C(m/s)	a	Kr	Ks	H'o(m)
77	1,520	74,35	10,770	30	73,391	10,631	74	0,907	0,977	1,347
69	1,347	73,39	10,631	20	69,437	10,058	62	0,874	0,940	1,107
55	1,107	69,44	10,058	15	62,851	9,104	48	0,925	0,922	0,943

Februari

a o	Ho(m)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	L(m)	C(m/s)	a	Kr	Ks	H'o(m)
77	1,176	61,91	9,827	30	61,585	9,776	76	0,957	0,989	1,113
69	1,113	61,59	9,776	20	59,734	9,482	65	0,919	0,957	0,978
64	0,978	59,73	9,482	15	55,814	8,860	57	0,899	0,933	0,820

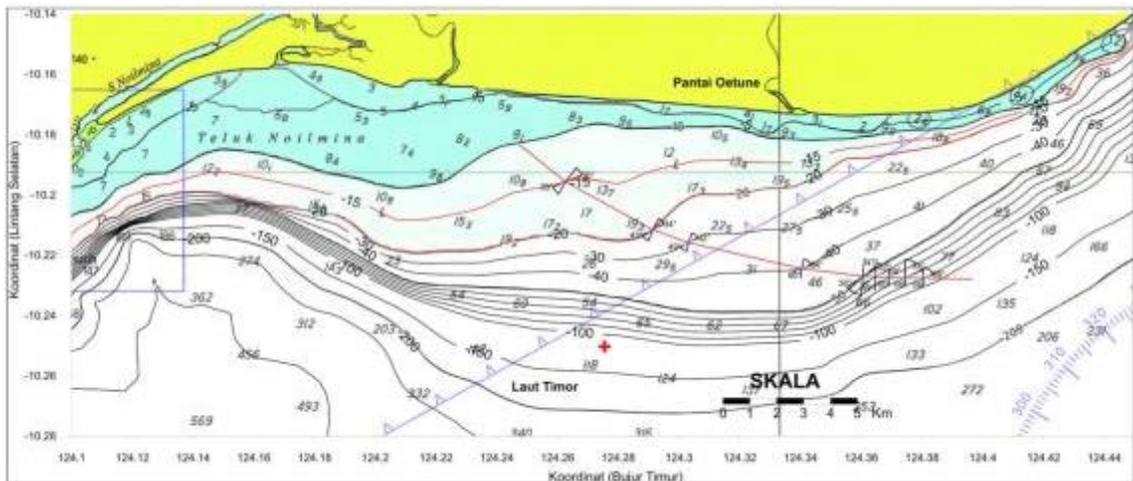
Maret

a o	Ho(m)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	L(m)	C(m/s)	a	Kr	Ks	H'o(m)
77	1,108	61,07	9,761	30	60,852	9,726	76	0,969	0,990	1,064
69	1,064	60,85	9,726	20	59,086	9,444	65	0,921	0,958	0,939
64	0,939	59,09	9,444	15	55,277	8,835	57	0,900	0,934	0,789

Desember

a o	Ho(m)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	L(m)	C(m/s)	a	Kr	Ks	H'o(m)
77	1,211	63,45	9,949	30	63,064	9,888	76	0,950	0,988	1,137
69	1,137	63,06	9,888	20	61,065	9,575	65	0,916	0,954	0,993
64	0,993	61,06	9,575	15	56,730	8,895	57	0,893	0,931	0,825

Timor Tengah Selatan Bulan April, Mei, Juni, Juli, Agustus, September, Oktober, November dengan contoh gambar refraksi pada Bulan Juni



April

a o	Ho(m)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	L(m)	C(m/s)	a	Kr	Ks	H'o(m)
61	2,051	134,19	14,468	60	133,295	14,372	60	0,990	0,984	1,997
53	1,997	133,29	14,372	50	131,137	14,140	52	0,986	0,970	1,911
56	1,911	131,14	14,140	40	126,330	13,621	53	0,964	0,951	1,752
53	1,752	126,33	13,621	30	116,900	12,604	48	0,945	0,934	1,546
49	1,546	116,90	12,604	20	99,597	10,739	40	0,926	0,913	1,307
56	1,307	99,60	10,739	15	81,460	8,783	43	0,872	0,913	1,041

November

a o	Ho(m)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	L(m)	C(m/s)	a	Kr	Ks	H'o(m)
54	1,609	115,30	13,411	50	114,267	13,292	53	0,992	0,982	1,567
51	1,567	114,27	13,292	40	111,769	13,001	49	0,984	0,964	1,487
59	1,487	111,77	13,001	30	105,775	12,304	54	0,938	0,938	1,309
54	1,309	105,78	12,304	20	92,648	10,777	45	0,913	0,916	1,094
48	1,094	92,65	10,777	15	77,596	9,026	38	0,925	0,913	0,924

Mei

a o	Ho(m)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	L(m)	C(m/s)	a	Kr	Ks	H'o(m)
66	2,640	162,23	15,909	80	161,629	15,849	66	0,991	0,990	2,589
61	2,589	161,63	15,849	70	160,330	15,722	60	0,987	0,982	2,511
60	2,511	160,33	15,722	60	157,754	15,469	58	0,977	0,970	2,380
51	2,380	157,75	15,469	50	152,662	14,970	49	0,977	0,954	2,219
58	2,219	152,66	14,970	40	143,704	14,092	53	0,938	0,936	1,948
52	1,948	143,70	14,092	30	128,910	12,641	45	0,933	0,920	1,672
45	1,672	128,91	12,641	20	106,684	10,461	36	0,934	0,913	1,426
51	1,426	106,68	10,461	15	85,329	8,367	38	0,896	0,914	1,168

Juni

a o	Ho(m)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	L(m)	C(m/s)	a	Kr	Ks	H'o(m)
66	3,120	180,30	16,771	90	179,698	16,715	66	0,992	0,990	3,063
66	3,063	179,70	16,715	80	178,492	16,603	65	0,984	0,984	2,965
60	2,965	178,49	16,603	70	176,167	16,387	59	0,981	0,974	2,835
59	2,835	176,17	16,387	60	171,654	15,967	57	0,968	0,962	2,639
50	2,639	171,65	15,967	50	164,452	15,297	47	0,973	0,946	2,428
60	2,428	164,45	15,297	40	152,783	14,211	54	0,918	0,930	2,072
49	2,072	152,78	14,211	30	135,287	12,584	42	0,939	0,917	1,785
43	1,785	135,29	12,584	20	110,108	10,242	34	0,938	0,914	1,529
39	1,529	110,11	10,242	15	87,413	8,131	30	0,947	0,915	1,326

Juli

a o	Ho(m)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	L(m)	C(m/s)	a	Kr	Ks	H'o(m)
66	2,956	174,18	16,484	80	173,243	16,395	65	0,987	0,986	2,876
60	2,876	173,24	16,395	70	171,245	16,206	59	0,984	0,977	2,764
59	2,764	171,25	16,206	60	167,654	15,866	57	0,973	0,964	2,593
50	2,593	167,65	15,866	50	161,124	15,248	47	0,975	0,948	2,395
63	2,395	161,12	15,248	40	150,297	14,224	56	0,904	0,932	2,017
48	2,017	150,30	14,224	30	133,262	12,612	41	0,943	0,918	1,747
25	1,747	133,26	12,612	20	109,111	10,326	20	0,983	0,913	1,567
53	1,567	109,11	10,326	15	86,987	8,232	40	0,883	0,915	1,267

Agustus

a o	Ho(m)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	L(m)	C(m/s)	a	Kr	Ks	H'o(m)
66	2,656	164,68	16,028	80	163,897	15,952	65	0,988	0,989	2,596
60	2,596	163,90	15,952	70	162,481	15,814	59	0,987	0,981	2,515
59	2,515	162,48	15,814	60	159,727	15,546	57	0,978	0,969	2,383
50	2,383	159,73	15,546	50	154,378	15,025	48	0,978	0,953	2,221
64	2,221	154,38	15,025	40	145,069	14,119	58	0,905	0,935	1,879
49	1,879	145,07	14,119	30	129,853	12,638	42	0,943	0,920	1,631
26	1,631	129,85	12,638	20	107,158	10,430	21	0,982	0,913	1,462
54	1,462	107,16	10,430	15	85,739	8,345	40	0,878	0,915	1,174

September

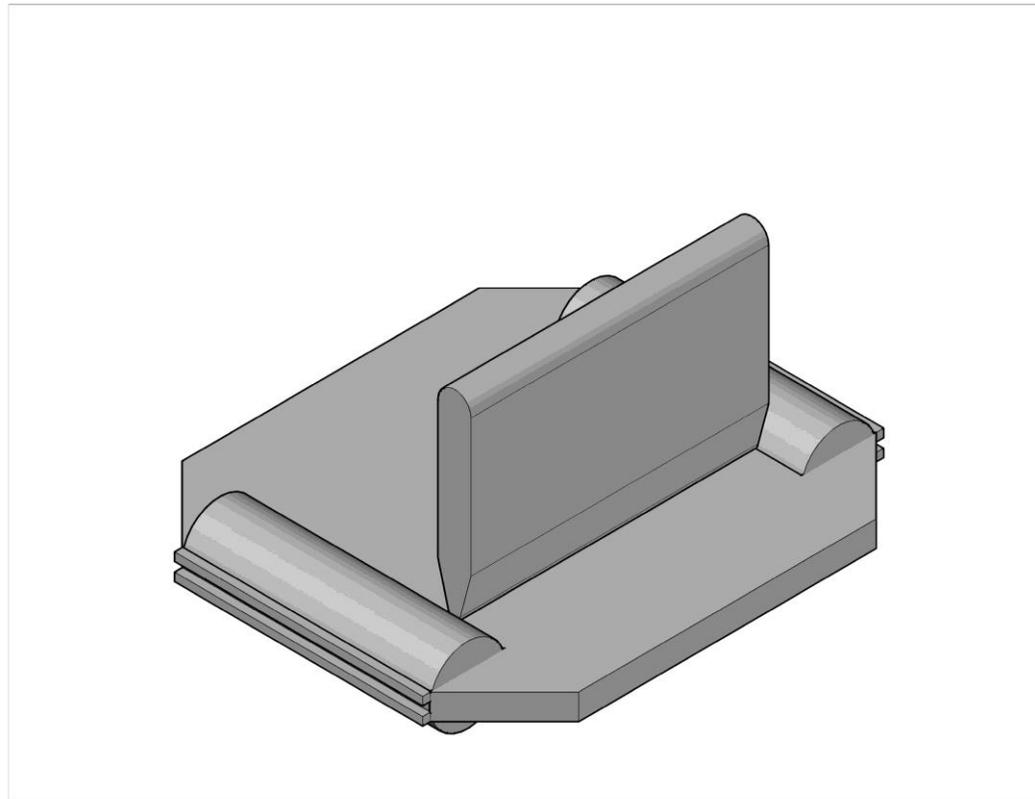
a o	Ho(m)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	L(m)	C(m/s)	a	Kr	Ks	H'o(m)
61	2,294	143,77	14,976	70	143,123	14,909	61	0,993	0,987	2,248
61	2,248	143,12	14,909	60	141,800	14,771	60	0,986	0,980	2,171
53	2,171	141,80	14,771	50	138,627	14,441	51	0,981	0,965	2,056
60	2,056	138,63	14,441	40	132,341	13,786	56	0,943	0,945	1,832
55	1,832	132,34	13,786	30	120,948	12,599	48	0,930	0,925	1,576
70	1,576	120,95	12,599	20	102,140	10,640	53	0,750	0,913	1,079
46	1,079	102,14	10,640	15	82,965	8,642	36	0,925	0,914	0,912

Oktober

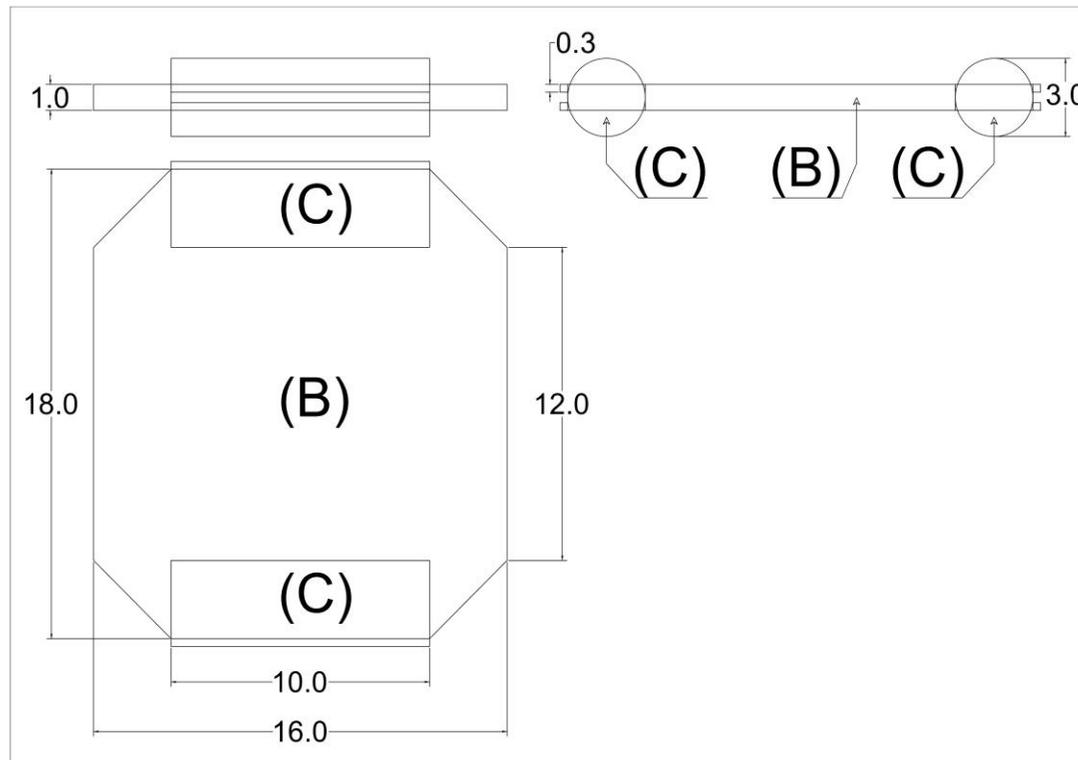
a o	Ho(m)	Lo(m)	Co(m/s)	d (m)	L(m)	C(m/s)	a	Kr	Ks	H'o(m)
61	2,086	136,39	14,586	60	135,330	14,473	60	0,988	0,983	2,026
53	2,026	135,33	14,473	50	133,106	14,236	52	0,986	0,969	1,936
56	1,936	133,11	14,236	40	127,787	13,667	53	0,961	0,949	1,766
53	1,766	127,79	13,667	30	117,689	12,587	47	0,942	0,928	1,544
48	1,544	117,69	12,587	20	100,010	10,696	39	0,929	0,913	1,310
55	1,310	100,01	10,696	15	81,833	8,752	42	0,879	0,913	1,051

LAMPIRAN G

Sketsa dan Dimensi Alat PLTGL tipe OWS dan Berat per Komponen WaveRoller 100 KW



Dimensi *Steel Gravity Foundation* dan *Ballast* (dalam meter)



Keterangan :

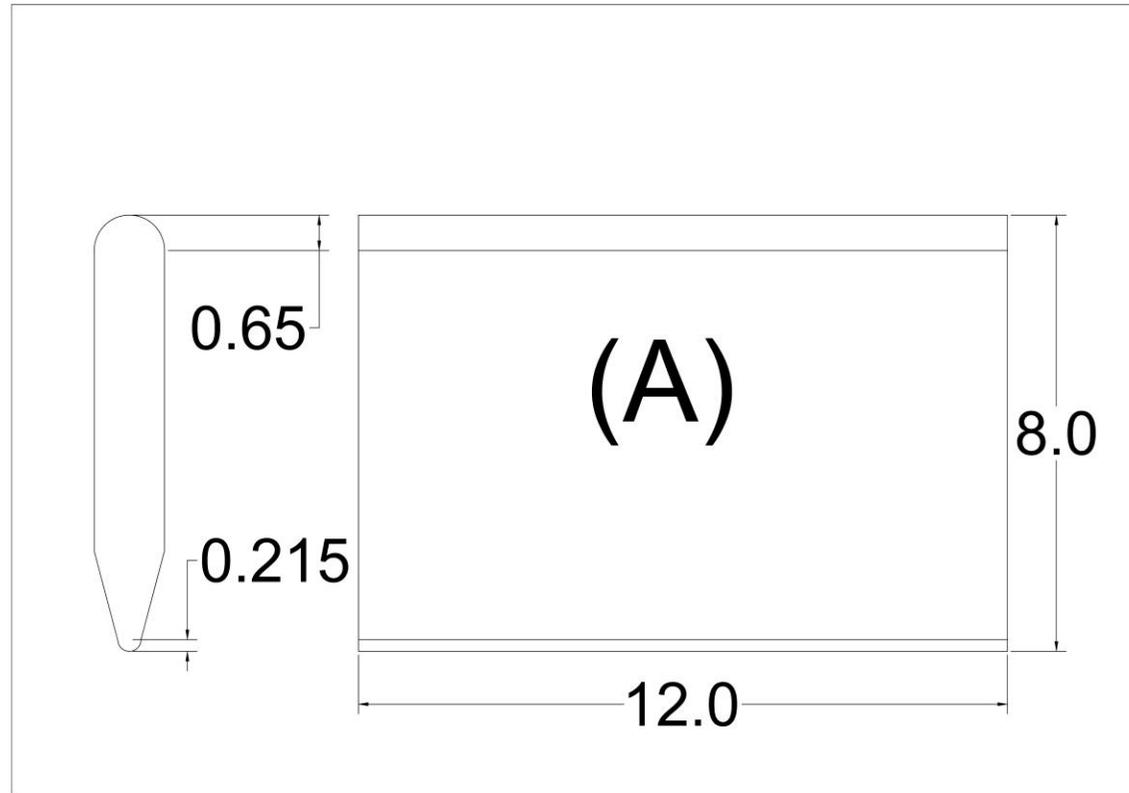
(B) : *Steel Gravity Foundation* (Tebal Plat 5mm- DNV No. 72.1)

(C) : *Tangki Ballast* (Tebal Plat 5mm- DNV No. 72.1)

Steel Gravity Structure					
No.	Struckture	Dimension	amount	Volume of steel	
1	Deck and bottom hull	(180+72+18) x 0,005	2	2,97	m ³
2	Front and Aft hull	18.4 x 1 x 0,005	2	0,202	m ³
3	Front and Aft inner hull	18 x 1 x 0,005	2	0,198	m ³
4	Side inner hull	10 x 1 x 0,005	2	0,11	m ³
5	Steel ballast protection	0,3 x 0,005 x 10	16	0,264	m ³
Volume total of steel				3,535	m ³
Weight total of steel				27,75	ton
Cost per Unit Weight ton				3.961,37	US Dollar
Cost per Unit Weight ton				55.459.188,10	IDR
Cost Total				1.538.992.469,70	IDR

Ballast Structure					
No.	Struckture	Dimension	amount	Volume of steel	
1	Circular front and aft hull	3.14 x 1.5 x 1.5 x 0,005	4	0,071	m ³
2	Front and Aft hull	3.14 x 3 x 10 x 0,005	2	0,464	m ³
Volume total of steel				0,535	m ³
Weight total of steel				4,2	ton
Cost per Unit Weight ton				3.973,81	US Dollar
Cost per Unit Weight ton				55.633.319,41	IDR
Cost Total				233.659.941,51	IDR

Dimensi *Flap* (dalam meter)



Keterangan :

(B) : Flap ukuran 12 m x 8 m (Tebal Plat 5mm- DNV No. 72.1)

Flap Structure					
No.	Structure	Dimension	amount	Volume of steel	
1	Side hull	(8.925) x 0,005	4	0,178	m ³
2	Front and Aft hull	(195.11) x 0,005	1	0,976	m ³
Volume total of steel				10,11	m ³
Weight total of steel				7,66	ton
Cost per Unit Weight ton				3.975,16	US Dollar
Cost per Unit Weight ton				55.652.228,24	IDR
Cost Total				426.296.068,29	IDR

LAMPIRAN H

Perhitungan *Cashflow* Pembangunan PLTGL di Sumba Barat dan Timor Tengah Selatan

Cashflow Pembangunan PLTGL 2 MW Kabupaten Sumba Barat (dalam Juta Rupiah)

Uraian Aliran Kas <i>Wavefarm 2 MW</i>	Pembangunan	Tahun					Tahun				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Saldo		-54100,39	-49025,16	-43895,82	-38712,39	-33474,85	-28183,22	-22837,48	-17437,65	-11983,71	-6475,67
Investasi	54100,39										
Pendapatan		9427,56	9427,56	9427,56	9427,56	9427,56	9427,56	9427,56	9427,56	9427,56	9427,56
Biaya Variabel:											
Cicilan Hutang (pokok)		-2705,02	-2705,02	-2705,02	-2705,02	-2705,02	-2705,02	-2705,02	-2705,02	-2705,02	-2705,02
Cicilan Hutang (bunga)		-1082,01	-1027,91	-973,81	-919,71	-865,61	-811,51	-757,41	-703,31	-649,20	-595,10
Biaya Perawatan		-295,30	-295,30	-295,30	-295,30	-295,30	-295,30	-295,30	-295,30	-295,30	-295,30
Tenaga Kerja		-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00
Arus Kas		-49025,16	-43895,82	-38712,39	-33474,85	-28183,22	-22837,48	-17437,65	-11983,71	-6475,67	-913,54

Uraian Aliran Kas <i>Wavefarm 2 MW</i>	Tahun					Tahun				
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Saldo	-913,54	4702,70	10373,04	16097,48	21876,02	27708,65	33595,39	39536,23	45531,17	51580,21
Investasi										
Pendapatan	9427,56	9427,56	9427,56	9427,56	9427,56	9427,56	9427,56	9427,56	9427,56	9427,56
Biaya Variabel:										
Cicilan Hutang (pokok)	-2705,02	-2705,02	-2705,02	-2705,02	-2705,02	-2705,02	-2705,02	-2705,02	-2705,02	-2705,02
Cicilan Hutang (bunga)	-541,00	-486,90	-432,80	-378,70	-324,60	-270,50	-216,40	-162,30	-108,20	-54,10
Biaya Perawatan	-295,30	-295,30	-295,30	-295,30	-295,30	-295,30	-295,30	-295,30	-295,30	-295,30
Tenaga Kerja	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00
Arus Kas	4702,70	10373,04	16097,48	21876,02	27708,65	33595,39	39536,23	45531,17	51580,21	57683,36

Uraian Aliran Kas <i>Wavefarm 2 MW</i>	Tahun					Tahun				
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Saldo	57683,36	66545,62	75407,88	84270,14	93132,40	101994,66	110856,92	119719,18	128581,44	137443,70
Investasi										
Pendapatan	9427,56	9427,56	9427,56	9427,56	9427,56	9427,56	9427,56	9427,56	9427,56	9427,56
Biaya Variabel:										
Cicilan Hutang (pokok)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cicilan Hutang (bunga)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biaya Perawatan	-295,30	-295,30	-295,30	-295,30	-295,30	-295,30	-295,30	-295,30	-295,30	-295,30
Tenaga Kerja	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00
Arus Kas	66545,62	75407,88	84270,14	93132,40	101994,66	110856,92	119719,18	128581,44	137443,70	146305,96

Cashflow Pembangunan PLTGL 2 MW Kabupaten Timor Tengah Selatan (dalam Juta Rupiah)

Uraian Aliran Kas Wavefarm 2 MW	Pembangunan	Tahun					Tahun				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Saldo		-54914,44	-52997,08	-51024,81	-48997,63	-46899,25	-44745,96	-42537,75	-40274,62	-37956,59	-35583,64
Investasi	54914,44										
Pendapatan		6331,12	6331,12	6331,12	6331,12	6331,12	6331,12	6331,12	6331,12	6331,12	6331,12
Biaya Variabel:											
Cicilan Hutang (pokok)		-2745,72	-2745,72	-2745,72	-2745,72	-2745,72	-2745,72	-2745,72	-2745,72	-2745,72	-2745,72
Cicilan Hutang (bunga)		-1098,29	-1043,37	-988,46	-917,26	-862,35	-807,44	-752,52	-697,61	-642,69	-587,78
Biaya Perawatan		-299,75	-299,75	-299,75	-299,75	-299,75	-299,75	-299,75	-299,75	-299,75	-299,75
Tenaga Kerja		-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00
Arus Kas		-52997,08	-51024,81	-48997,63	-46899,25	-44745,96	-42537,75	-40274,62	-37956,59	-35583,64	-33155,77

Uraian Aliran Kas Wavefarm 2 MW	Tahun					Tahun				
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Saldo	-33155,77	-30672,99	-28135,29	-25542,68	-22895,16	-20192,72	-17435,37	-14623,10	-11755,92	-8833,82
Investasi										
Pendapatan	6331,12	6331,12	6331,12	6331,12	6331,12	6331,12	6331,12	6331,12	6331,12	6331,12
Biaya Variabel:										
Cicilan Hutang (pokok)	-2745,72	-2745,72	-2745,72	-2745,72	-2745,72	-2745,72	-2745,72	-2745,72	-2745,72	-2745,72
Cicilan Hutang (bunga)	-532,86	-477,95	-423,03	-368,12	-313,21	-258,29	-203,38	-148,46	-93,55	-38,63
Biaya Perawatan	-299,75	-299,75	-299,75	-299,75	-299,75	-299,75	-299,75	-299,75	-299,75	-299,75
Tenaga Kerja	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00
Arus Kas	-30672,99	-28135,29	-25542,68	-22895,16	-20192,72	-17435,37	-14623,10	-11755,92	-8833,82	-5856,81

Uraian Aliran Kas <i>Wavefarm 2 MW</i>	Tahun					Tahun				
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Saldo	-5856,81	-95,44	5665,92	11427,29	17188,65	22950,02	28711,39	34472,75	40234,12	45995,49
Investasi										
Pendapatan	6331,12	6331,12	6331,12	6331,12	6331,12	6331,12	6331,12	6331,12	6331,12	6331,12
Biaya Variabel:										
Cicilan Hutang (pokok)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cicilan Hutang (bunga)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biaya Perawatan	-299,75	-299,75	-299,75	-299,75	-299,75	-299,75	-299,75	-299,75	-299,75	-299,75
Tenaga Kerja	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00	-270,00
Arus Kas	-95,44	5665,92	11427,29	17188,65	22950,02	28711,39	34472,75	40234,12	45995,49	51756,85

BIODATA PENULIS



Muhammad Luthfi Priambodo adalah nama lengkap dari penulis laporan tugas akhir ini. Penulis lahir pada tanggal 25 Maret 1996 di Kota Yogyakarta. Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara, dari pasangan Bapak Anung Karyadi dan Ibu Siti Mahsanah Budijati. Penulis mengawali pendidikan formal di TK ABA Ngijon, Yogyakarta, kemudian dilanjutkan di SD Muhammadiyah Ngijon 1

Sleman, Yogyakarta. Setelah lulus dari sekolah dasar, kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 3 Godean dan SMA Negeri 4 Yogyakarta. Setelah lulus dari bangku SMA, penulis melanjutkan ke perguruan tinggi yaitu di Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur Ujian SBMPTN.

Di dalam dunia kampus, penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan pelatihan, organisasi dan kepanitiaan. Pelatihan manajerial dan ilmu perkuliahan pernah diikuti oleh penulis diantaranya LKMM Pra-TD FTK-ITS dan beberapa pelatihan *software* yang digunakan di perkuliahan Teknik Kelautan. Untuk organisasi, penulis tergabung dalam Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Maritime Challenge, pada tahun 2014 menjabat sebagai staff Sosial Budaya, pada tahun 2015 sebagai wakil koordinator Sosial Budaya dan pada tahun 2016 menjabat sebagai Koordinator UKM Maritime Challenge. Untuk Kepanitiaan, penulis pada tahun 2015-2016 diberi amanah sebagai Wakil Internal Indonesia Maritime Challenge, yang dilaksanakan di Pulau Bawan, Kabupaten Gresik.

Penulis sempat melakukan kerja praktek di PT. Lentera Bumi Nusantara selama 2 bulan. Dari kerja praktek tersebut, penulis mendapatkan pengalaman tentang pendesainan dan cara kerja generator linier, untuk diterapkan pada pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL). Pesan dari penulis adalah bahwa ilmu merupakan tempat persemaian setiap kemuliaan yang tak akan didapat oleh seseorang yang cita-cita hidupnya hanya demi makanan dan

pakaian. Dengan ilmu kebahagiaan akan didapat, dan dengan ilmu manusia dipandang mulia walaupun sumber ilmu terlihat kotor dimata.

Email: luthfi.priam@gmail.com